

**MAREES TERRESTRES**

**BULLETIN D'INFORMATIONS**

**N°71**

1 juin 1975

**Association Internationale de Géodésie  
Commission Permanente des Marées Terrestres**

*Éditeur Prof. Paul MELCHIOR  
Observatoire Royal de Belgique  
3. Avenue Circulaire  
1180 Bruxelles*



TABLE DES MATIERES

	P.
I.A. DITCHKO, P.S. KORBA (Traduction) Sur le ralentissement de la rotation de la Terre dû aux marées	4002
V.G. BOULATSEN, V.I. TOKAR (Traduction) Résultats des observations extensométriques de marées en Crimée (Abrégé)	4008
A.L. BAGMET, A.M. KOUTNII (Traduction) Etalonnage des clinomètres avec agrandissement photoélectrique sur les petits angles d'inclinaison	4024
P.S. MATVEYEV, V.G. GOLOUBITSKII, B.B. DOUBIK, E.A. SLAVINSKAYA (Traduction) Résultats de l'analyse harmonique des observations clinométriques à Mourakhovka	4035
V.G. BALENKO, A.M. KOUTNII, A.N. NOVIKOVA, N.M. ALEXANDROV (Traduction) Observations clinométriques dans la mine I "Artemsol" (salle 2) (Abrégé)	4047
D.G. GRIDNIEV (Traduction) L'étalonnage des gravimètres "Askania" et la détermination de l'échelle d'enregistrement des marées de la pesanteur par inclinaison (Abrégé)	4056
C. THIRY Capteurs de déplacement électro-mécaniques employés pour mesurer des microdéplacements	4074

Sur le ralentissement de la rotation de la Terre  
dû aux marées

---

I.A. Ditchko, P.S. Korba

Rotation et déformations de marées de la Terre - VI - pp92-95, 1973

-----

Dès 1695 E. Halley a comparé les éclipses solaires de l'Antiquité avec les calculs et il a découvert une différence en temps de deux heures. On a pu expliquer ce fait soit par une augmentation de la vitesse de la Lune sur son orbite de 10" par siècle, soit par un ralentissement correspondant de la rotation de la Terre.

En 1754 I. Kant a émis l'hypothèse qu'il se produit dans l'océan, à cause du forttement des marées, une perte d'énergie à la suite de laquelle la rotation de la Terre doit être freinée. Ce point de vue a été admis à la fin du XIXe siècle (travaux de Darwin).

Les courants de marées sont faibles dans les océans c'est pourquoi la dissipation de l'énergie n'est importante que dans quelques mers peu profondes. En 1919, G. Taylor a étudié la dissipation de marée dans la mer d'Irlande et il a obtenu 5,1 à 6,4 -  $10^{17}$  erg/sec. H. Jeffreys [14], W. Heiskanen [15] et G. Miller [16] ont généralisé cette estimation pour tous les océans, Les résultats obtenus par ces auteurs sont donnés dans la table 1.

Cependant les valeurs trouvées ne sont pas sûres en raison de la connaissance insuffisante de la répartition des courants de marées. Jeffreys considère que la valeur de dissipation dans la mer de Behring, qui à son avis constitue les  $3/4$  de la dissipation globale, a été obtenue avec une erreur de 50 %.

Récemment N.N. Pariiskii et M.V. Kouznetzov [2,3] ont essayé de contourner cette difficulté en déterminant non pas la dissipation de l'énergie dans les courants de marées mais la valeur du freinage d'après les cartes cotidales. Le ralentissement séculaire de la rotation de la Terre était ainsi de 2,6 et 3,1 m.sec/siècle d'après les cartes de K. Bogdanov et V. Zahel respectivement. Cela dépasse le ralentissement séculaire obtenu par les observations astronomiques. La marée atmosphérique thermique constitue un moment d'accélération qui compense dans un faible degré cette augmentation (voir table 1) devant le potentiel générateur de marée de 2 heures [1,4] .

Les marées terrestres fournissent un apport déterminé. On peut déterminer le retard de phase de la marée terrestre, la valeur de la viscosité et par conséquent la dissipation d'énergie due aux marées terrestres.

Les observations extensométriques sont favorables par le fait qu'elles donnent immédiatement la déformation alors que les gravimètres et les clinomètres enregistrent les variations provoquées aussi bien par la force génératrice de marée que par les déformations.

Le retard de phase obtenu par les observations extensométriques est à peu près 6,9 fois la valeur obtenue avec les gravimètres ou de 2,3 fois plus grande que celle des clinomètres [18] . Cela donne la possibilité d'obtenir le retard de phase de la marée terrestre par les extensomètres avec la précision relative plus grande.

TABLE 1

Ralentissement séculaire de la rotation de la Terre obtenu par les différentes méthodes

Auteur	Méthode	Dissipation d'énergie $\frac{dE}{dt} \cdot 10^{19} \frac{\text{erg}}{\text{sec}}$	Moment de freinage $L \cdot 10^{23} \text{ dyn.cm}^2$	Variation de la vitesse angulaire de la rotation de la Terre $\frac{d\Omega}{dt} \cdot 10^{-24} \frac{\Omega}{\Omega} \cdot 10^{-10} \text{ rad s}^{-2}$	Variation de la durée des jours m.sec/siècle	
Munk, MacDonald [1]	Observations astronomiques	-3,2	-4,3	-5,3	-2,3	+1,9
A. Stoyko [17]	Données paléontologiques	-3,2	-4,5	-5,6	-2,4	+2,0
Jeffreys [14]	Dissipation dans l'océan	-1,1	-1,9	-2,3	-1,0	+0,9
Heiskanen [15]	Idem	-1,9	-2,6	-3,2	-1,4	+1,2
Miller [16]	Idem	-1,7	-2,3	-2,7	-1,1	+1,0
Pariiskii Kouznetzov [2]	Epoque de freinage d'après les cartes cotidiales de Bogdanov	-4,1	-5,7	-7,0	-3,0	+2,6
Kouznetzov [3]	Idem d'après les cartes de Zahel	-4,9	-7,0	-8,6	-3,7	+3,2
Munk, MacDonald [1]	Marée de l'atmosphère	+0,2	+0,3	+0,4	+0,2	-0,1
Pariiskii et Kouznetzov [2]	Marées terrestres $\Delta\psi(M_2) = -0,2$	-0,9	-1,3	-1,6	-0,7	+0,6

TABLE 2

Retard de la marée terrestre d'après certaines observations

Auteur	Lieu des observations	Instrument	$\Delta\psi$		$\theta$	
I.A. Ditchko [5]	Poltava	GS -11	+0°25	±0°22	+1°72	±1°52
P.S. Korba [6]	Simféropol	GS -11	-0,19	±0,12	-1,32	±0,86
P.S. Korba [7]	Yalta	GS -11	+0,13	±0,11	+0,90	±0,76
P.S. Korba [8]	Bakhtchisarai	GS -11 12	+0,09	±0,12	+0,62	±0,86
N.N. Pariiskii et autres [9]	Talgar (Alma-Ata)	GS -11	-0,15	±0,01	-1,04	±0,07
S. Smith et Jungels [19]	Amérique du Nord et du Sud	Extensomètres	-	-	-3,0	±1,0
V.G. Boulatsen [10]	Sébastopol	id.	-	-	+2,6	+0,5

Le signe moins en  $\Delta\psi$  et  $\theta$  correspond au retard.

Ces observations ainsi que les observations clinométriques sont fortement perturbées par les particularités géologiques locales et par d'autres influences. Apparemment les observations des marées terrestres avec les gravimètres sont les plus représentatives pour la Terre. En tout cas le désaccord dans les résultats de ces observations d'un point à l'autre est le plus faible.

Il y a environ dix ans on a fait des observations régulières à Poltava à l'aide des gravimètres "Askania". La première série de ces observations a été faite à Poltava [5] ensuite les gravimètres ont été installés à Simféropol [6], Yalta [7] et Bakhtchisarai [8].

Nous donnons dans la table 2 les valeurs moyennes pondérées du retard de phase de la marée terrestre obtenues d'après les ondes lunaires  $M_2$ ,  $N_2$  et  $O_1$  dans ces points. Les autres ondes n'ont pas été prises en considération à cause de leur perturbation possible par l'influence météorologique diurne. Nous rappellerons que tous les résultats sont corrigés du retard instrumental [11].

Le retard de phase dans ces stations était dans les limites des erreurs des observations (voir table 2). Nous donnons pour comparaison les résultats (onde  $M_2$ ) à Talgar (Alma-Ata) et avec les extensomètres en Amérique et en Crimée. Les résultats de Talgar sont corrigés du retard instrumental et les observations extensométriques de S. Smith et P. Jungels sont corrigées de la marée dans l'océan.

Les calculs de B.P. Pertsev [12,13] ont montré que la valeur du retard de phase obtenue avec les gravimètres dépend fortement de la marée dans l'océan même au centre des continents. Cependant le calcul de cette influence n'est pas encore résolu à cause des données incomplètes sur la répartition de la marée dans l'océan : il n'y a pas de données pour une partie importante du bassin polaire, des mers Méditerranée et de Béring.

Dans un premier essai, le calcul de l'influence de l'océan [12] donne des corrections de phase négatives dans les stations gravimétriques européennes.

Dans le second, utilisant des cartes cotidiales plus détaillées [13] on a obtenu presque les mêmes corrections en valeur absolue mais de signe positif. C'est pourquoi l'introduction de ces corrections et l'examen des résultats obtenus dans toutes les stations du monde sont à présent prématurés.

Ainsi le retard de la marée terrestre, s'il existe, a une valeur très faible ce qui rend difficile sa détermination expérimentale. Il faut des observations de longue durée, une isolation soignée des appareils de toute espèce de perturbations, le calcul des erreurs instrumentales et de l'influence de la marée dans l'océan. Dans ce but on se propose de faire à l'Observatoire Gravimétrique de Poltava des observations avec deux gravimètres dans une salle spéciale avec isolation thermique.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 Munk W., MacDonald G. - Rotation de la Terre "Mir" M. 1964
- 2 Pariiskii N.N. et autres. Izv. Ac. des Sc. URSS - Physique de la Terre
- 3 N° 2, 1972
- 3 Kouznetzov M.V.-Izv. Ac. des Sc. URSS - Physique de la Terre N° 12, 1972
- 4 Tchepmen S., Lindsen R.-Marées atmosphériques "Mir" M. 1972
- 5 Ditchko I.A. - Dans le livre : Rotation et déformations de marées de la Terre, Volume I, Naoukova Doumka K, 1970
- 6 Korba P.S. - Idem
- 7 Korba P.S., Korba S.N. - Dans le livre : Rotation et déformations de marées de la Terre. Volume 2 Naoukova Doumka, L. 1970
- 8 Korba P.S. - Dans le livre : Rotation et déformations de marées de la Terre. Volume 5 Naoukova Doumka, K. 1973
- 9 Pariiskii N.N. et autres - Izv. Ac. des Sc. URSS. Physique de la Terre N° 2, 1967
- 10 Boulatsen V.G., Tokar V.Y. - Ce livre
- 11 Korba P.S., Ditchko I.A. - Dan. Ukraine N° 8, 1965
- 12 Pertsev B.P. - Izv. Ac. des Sc. URSS. Physique de la Terre N° 10, 1966
- 13 Pertsev B.P. - Dans le livre : Mouvements lents de l'écorce terrestre "Naouka" M. 1972
- 14 Jeffreys H. - Phil. Trans. Roy. Soc., London, A 221, 1921
- 15 Heiskanen W. - Ann. Acad. Sci., Fennicae, A, 18, 1921
- 16 Miller G. - J. Geoph. Res., 71 (10), 1966
- 17 Stoyko A. - Annales Guebbard, 46, 1970
- 18 Slichter L. Note concerning a common large error in estimating the energy dissipation associated with gravity tides
- 19 Smith S. und Jungels P. - Phys. Earth Planet. Interiors, 2, 1970

## Résultats des observations extensométriques de marées en Crimée

V.G. BOULATSEN, V.I. TOKAR

-----

Rotation et déformations de marées de la Terre - VI - pp 16-28 1974

Abrégé

Il convient de souligner l'efficacité particulière des extensomètres pour déterminer la phase de la déformation de la marée terrestre. Sous ce rapport, les extensomètres ont des avantages par rapport aux clinomètres et aux gravimètres.

Nous donnons ici les résultats obtenus à Inkerman près de Sébastopol. Le choix du lieu n'est pas accidentel. L'Observatoire Gravimétrique de Poltava a exécuté en Crimée des observations de variations de marées de la force de pesanteur et des inclinaisons de marées au point même où est située la station extensométrique.

La description de la station, des appareils, des conditions d'observations et de la méthode de réduction est donnée en détail dans le travail [1].

Les observations ont été faites à l'aide d'un extensomètre horizontal en quartz avec une partie sensible du type à torsion. L'azimut de l'appareil est N 6°29'W; la base est de 12,46 m.

Cette situation dans la direction voisine du méridien convient bien pour la latitude de Inkerman car l'amplitude de la déformation dans le méridien pour l'onde  $M_2$  dépasse presque de 5 fois son amplitude dans la direction du ler vertical.

TABLE 1

N° de la série	Enregistrement photoélectrique		Enregistrement optique		Diamètre de la bille, mm
	Sensibilité en déplacements MKM/mm	Sensibilité en déformation, $10^{-9}$ /mm	Sensibilité en déplacements MKM/mm	Sensibilité en déformation $10^{-9}$ /mm	
1	0,0261	2,097	0,1405	11,281	1,475
2	0,0171	1,371			
3	-	-			
4	0,0220	1,768			
5	-	-			
6	-	-	0,0932	7,483	0,979
7	0,0108	0,865			
8	0,0154	1,234			
9	0,0138	1,112			
10	0,0132	1,061			
11	0,0134	1,079			
12	0,0092	0,739	0,0654	5,251	0,687
13	-	-			
14	-	-			
15	0,0122	0,976			
16	0,0116	0,930			
17	0,0152	1,217			
18	0,0178	1,430			

TABLE 2

N° de la série	Epoque centrale TU	Type d'enregistrement	M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		K <sub>1</sub>		O <sub>1</sub>	
			Amplitude	Δφ°	Amplitude	Δφ°	Amplitude	Δφ°	Amplitude	Δφ°	Amplitude	Δφ°
1	20 <sup>б</sup> 31. VII 1969 г.	Фотосам.	0,8559	+3,51	-12,46	0,5668	+1,84	0,1317	0,4095	-32,66	0,3059	-1,97
2	1 23. IX	Оптич.	0,8398	+4,86	-9,15	0,5452	-8,04	0,1895	0,3669	-26,99	0,2858	-1,73
3	6 30. X	Фотосам.	0,7908	+5,88	-9,04	0,5195	+0,84	0,1156	0,1333	-42,84	0,2417	+2,36
4	21 26. XI	Оптич.	0,7989	+6,54	-11,00	0,5307	-8,85	0,1012	0,0955	-47,03	0,1469	+13,33
5	21 26. XII	Фотосам.	0,8021	+2,93	-8,66	0,5677	+5,66	0,0980	0,2425	-11,58	0,2312	+12,98
6	8 5. II 1970 г.	Фотосам.	0,7740	-2,99	-17,18	0,4633	+31,67	0,1413	0,3749	-18,70	0,2951	-20,47
7	6 I. III	Оптич.	0,8230	+0,65	-7,58	0,3685	+20,34	0,1317	0,3284	0,40	0,2513	-3,56
8	21 4. IV	Фотосам.	0,7973	+1,32	-4,10	0,5371	+17,47	0,1116	0,1590	-25,50	0,2296	+18,87
9	13 5. Y	Оптич.	0,7973	+4,28	-5,18	0,5869	+8,93	0,1943	0,1116	-46,22	0,3733	+57,14
10	9 7. VI	Фотосам.	0,8695	+4,69	-4,28	0,6182	+3,06	0,1903	0,2280	+12,05	0,2690	+0,86
11	9 21. VI	Фотосам.	0,8631	+1,51	-16,72	0,5508	+3,74	0,1180	0,2625	+27,47	0,2690	+13,23
12	7 9. XII	Оптич.	0,8286	+2,87	-17,09	0,5797	-1,17	0,1739	0,2280	+57,73	0,2690	-8,71
13	8 5. I 1971 г.	Фотосам.	0,8173	+1,17	-11,67	0,4239	-1,67	0,1188	0,3661	+13,29	0,1895	-10,28
14	7 5. II 28. II	Оптич.	0,8109	-0,23	-14,20	0,4588	-1,20	0,1718	0,2746	+13,29	0,1895	+9,31
15	9 28. II	Фотосам.	0,8021	+3,54	-18,97	0,2770	-8,99	0,1354	0,4199	+0,47	0,1939	+12,49
16	11 9. IV	Оптич.	0,8356	+4,73	-17,95	0,2529	-1,52	0,1534	0,3322	+0,57	0,2441	+7,73
17	21 6. Y	Фотосам.	0,8214	+4,09	-21,06	0,2650	-8,07	0,1774	0,4705	+15,24	0,2874	+2,81
18	15 3. VI	Фотосам.	0,8800	+5,08	-14,24	0,3171	+13,99	0,1863	0,2914	-10,22	0,3019	-10,24
		Оптич.	0,7997	+2,97	-14,35	0,3153	-1,45	0,1285	0,2810	-4,70	0,2890	+12,75
		Фотосам.	0,7716	+3,63	-8,42	0,3653	+11,99	0,1542	0,3083	-14,91	0,3019	-9,65
		Оптич.	0,8414	+4,08	-5,46	0,5420	-8,63	0,1509	0,2674	-19,19	0,2807	+2,75
		Фотосам.	0,8157	+2,91	-4,34	0,6230	+4,95	0,2192	0,0955	+37,76	0,3337	-3,65
		Оптич.	0,8792	+1,44	-3,54	0,5974	-4,82	0,2449	0,2071	-19,19	0,2807	+5,35
		Фотосам.	0,8117	+3,06	-4,17	0,5018	+4,92	0,1871	0,2011	+23,14	0,3019	-12,01
		Оптич.	0,8607	+2,51	-8,18	0,4584	-1,77	0,1927	0,4038	+16,80	0,3337	-5,35
		Фотосам.	0,8045	+0,05	-15,32	0,3204	+9,24	0,1959	0,3926	+23,14	0,3019	-12,01
		Оптич.	0,8663	-4,01	-38,69	0,2770	+2,01	0,1590	0,4705	+16,80	0,3337	-5,35
		Фотосам.	0,8222	+2,57	-39,27	0,2360	+5,23	0,1469	0,4657	-7,07	0,3337	-5,35

TABLE 3

N° de la série	Epoque centrale de la série (UT)	$(H_{AN}/10^{-9})^2$				
		$M_2$	$S_2$	$N_2$	$R_2$	$D_2$
1	20/31.VIII 1969 r.	349,588 h <sup>2</sup>	-55,803 h	127,191 h <sup>2</sup>	13,373 h <sup>2</sup>	+5,331 l <sup>2</sup>
2	1/28.IX	347,946	-55,512	145,367	9,955	+3,856
3	1/30.X	335,501	-53,558	107,558	8,560	+3,257
4	21/26.XI	335,432	-53,536	57,609	10,903	+4,199
5	21/26.XII	339,932	-54,261	40,579	15,687	+6,203
6	5.II 1970 r.	334,698	-53,428	103,119	15,643	+7,339
7	1.III	334,144	-53,340	142,221	11,643	+6,196
8	1.IV	358,772	-57,270	137,373	11,029	+4,089
9	1.V	350,457	-55,944	82,549	11,430	+3,587
10	7.VI	342,667	-54,701	33,930	9,413	+3,662
11	21.VII	342,739	-54,712	29,833	12,573	+4,854
12	9.XIII	349,437	-55,779	43,994	12,406	+3,307
13	8.VIII 1971 r.	352,715	-56,302	107,531	10,491	+5,927
14	5.II	336,336	-53,690	134,804	15,931	+7,010
15	28.II	319,432	-55,789	141,227	17,723	+6,601
16	9.IV	349,900	-55,856	141,409	13,301	+5,291
17	11.6.V	355,667	-56,773	142,989	10,175	+4,103
18	15.13.VI	330,327	-57,521	36,117	10,175	+4,103

TABLE 4

N° de la série	Epoque centrale	$(H_{AN}/10^{-9})^2$				
		$M_1$	$S_1$	$N_1$	$R_1$	$D_1$
1	20/31.VIII 1969 r.	3269,439 h <sup>2</sup>	-3269,439 h	354,691 h <sup>2</sup>	-2319,673 h	+5640,271 l <sup>2</sup>
2	1/28.IX	-2614,524	+5229,673	337,894	-2636,002	+5372,008
3	1/30.X	-4676,848	+9344,902	360,551	-2856,255	+5733,818
4	21/26.XI	-7168,200	+14340,463	345,506	-2746,555	+5494,148
5	21/26.XII	-8163,934	+15331,871	354,310	-2816,637	+5623,030
6	5.II 1970 r.	-5268,054	+10538,157	333,335	-2649,893	+5299,735
7	1.III	-3127,021	+ 6232,945	368,036	-2925,764	+5351,448
8	4.IV	-2913,436	+ 5825,864	323,430	-2571,154	+5143,381
9	5.V	-5330,157	+10631,102	332,177	-2640,685	+5280,700
10	7.VI	-7317,395	+14639,484	348,473	-2770,233	+5540,667
11	21.VII	-7511,237	+15036,193	341,551	-2713,613	+5427,151
12	9.XIII	-7945,050	+15832,817	337,719	-2684,743	+5370,674
13	5.II 1971 r.	-7634,890	+15333,057	361,651	-2874,988	+5750,051
14	28.II	-5003,890	+10009,633	345,061	-2745,118	+5193,561
15	9.IV	-3144,362	+ 6290,610	320,395	-2531,714	+5104,633
16	11.6.V	-5353,516	+10703,621	322,022	-2559,956	+4810,036
17	15.13.VI	-7249,791	+14630,134	341,423	-2714,191	+5120,372

TABLE 5

	$M_2$	$S_2$	$N_2$	$R_1$	$D_1$
Erreur relative des amplitudes en %	1,4	1,3	9,9	4,8	3,8
Ecart de phases et leurs erreurs en degré	+2,62	+1,31	+2,64	-2,74	+1,78
	+0,52	+1,88	+2,22	+4,47	+2,53

Les ondes diurnes sont maximales pour la latitude de  $45^\circ$  (latitude d'Inkerman :  $44^\circ 5'$ ). L'amplitude de l'onde diurne principale  $O_1$  dans le méridien est 25% inférieure à son amplitude dans le 1er vertical. La valeur théorique de l'amplitude est pour l'onde  $M_2 = 1.14 \cdot 10^{-8}$  et pour l'onde  $O_1 = 0.57 \cdot 10^{-8}$  (pour  $h$  et  $l$  correspondant au modèle 3 de Molodenskii [2]).

L'erreur relative de la détermination de la sensibilité est de 2,0%. La description détaillée de l'étalonnage, de l'étude de la sensibilité et de certaines erreurs instrumentales des extensomètres avec transformateur du type à torsion est présentée dans le travail [3]. Les valeurs moyennes mensuelles de la sensibilité de l'extensomètre d'Inkerman sont données dans la table 1. Pour l'enregistrement photoélectrique elles ont été déterminées d'après les valeurs de déplacements d'étalonnage de la tige (un courant était injecté dans la bobine du générateur deux fois par jour).

#### Analyse harmonique des observations

Les données expérimentales analysées couvrent deux années d'observations (VIII 1969 à VII 1971).

Elles comprennent 18 séries mensuelles d'enregistrement optique et 13 séries de photoélectrique. Presque toutes les séries sont indépendantes ou faiblement dépendantes. L'analyse harmonique a été faite d'après le schéma proposé par Lecolazet 13-14 ; les calculs sont faits sur EVM d'après le programme composé par K.N. Datsenko.

Nous donnons à la table 2 les résultats de l'analyse harmonique des données pour les cinq ondes fondamentales. Les expressions correspondantes des équations homologues pour chaque époque centrale des séries analysées sont indiquées dans les tables 3 et 4. Nous donnons dans la table 5 les erreurs relatives sur les amplitudes et les écarts des phases de la déformation observée par rapport à la théorie (le signe moins désigne le retard). Nous noterons que l'estimation de la précision avec laquelle les amplitudes des ondes de marées est obtenue, est déduite des différences des valeurs observées et théoriques et non d'après la convergence intérieure. Cette

méthode d'estimation de la précision est dictée par les particularités de l'analyse harmonique de Lecolazet que nous avons appliquée. Les amplitudes et phases théoriques sont calculées en prenant  $h$  et  $\ell$  correspondant au modèle 3 de Molodenskii.

On a fait la séparation des ondes diurnes  $K_1$ ,  $P_1$  et  $S_1$  [15]. L'utilité de cette opération réside uniquement dans l'obtention des ondes  $P_1$  et  $S_1$ . En ce qui concerne l'onde  $K_1$  les résultats avant et après la séparation doivent être identiques. Bien que la séparation des ondes  $P_1$  et  $S_1$  ne présente pas d'intérêt propre, leur obtention a un sens précis. D'abord, la comparaison des paramètres  $h$  et  $\ell$  obtenus pour les rapports  $M_2/K_1$  et  $M_2/P_1$  permet de juger de la qualité des données expérimentales. Ensuite, la valeur moyenne de l'onde météorologique  $S_1$  caractérisant les conditions d'observations présente un intérêt pour l'estimation de la qualité des observations et naturellement de la sûreté des résultats obtenus.

Les valeurs  $h/\ell$ ,  $h$  et  $\ell$  obtenues par les rapports des déformations pour les ondes  $M_2$  et  $O_1$ ,  $M_2$  et  $K_1$  se trouvent dans les tables 6 et 7. Nous donnons dans la dernière les valeurs  $h/\ell$ ,  $\ell$  et  $h$  trouvées par le rapport  $M_2/K_1$  après l'élimination de la valeur  $h/\ell$  d'une onde annuelle de la forme

$$0,790 \cos (30^\circ t + 23^\circ 9)$$

$$\pm 143 \qquad \pm 9,3$$

La comparaison des données des tables 7 et 8 confirme nos remarques concernant l'utilité de la séparation de  $K_1$ ,  $P_1$  et  $S_1$ . En effet, les paramètres  $h$  et  $\ell$  calculés d'après les rapports d'amplitudes des ondes  $M_2$  et  $K_1$  avant et après la séparation convergent dans les limites des erreurs bien que la valeur  $\ell$  obtenue par le rapport  $M_2/P_1$  soit un peu diminuée. Ce résultat s'explique par la petitesse de l'amplitude de l'onde  $P_1$ .

L'onde météorologique  $S_1$  était assez importante mais la petite erreur avec laquelle on l'a obtenue montre son caractère relativement constant. La grande valeur de l'écart de phase de cette onde s'explique par le retard

de la déformation diurne de température à cause de l'éloignement du site d'observation par rapport à la surface physique de la Terre.

TABLE 6

Numéro de la série	$M_2 / O_1$					
	Enregistrement photoélectrique			Enregistrement optique		
	$h/l$	$h$	$l$	$h/l$	$h$	$l$
1	6,094	0,4619	0,0757	5,937	0,4524	0,0762
2	5,700	0,4275	0,0750	4,805	0,4315	0,0898
3	-	-	-	6,020	0,4268	0,0709
4	5,484	0,4415	0,0805	6,281	0,4259	0,0678
5	-	-	-	5,610	0,4499	0,0802
6	-	-	-	5,526	0,4393	0,0795
7	7,243	0,4295	0,0593	6,768	0,4392	0,0649
8	5,835	0,4627	0,0793	5,766	0,4596	0,0797
9	4,985	0,4462	0,0895	5,153	0,4400	0,0854
10	5,129	0,4416	0,0861	5,177	0,4369	0,0844
11	5,427	0,4553	0,0839	5,597	0,4472	0,0799
12	5,892	0,4743	0,0805	5,366	0,4314	0,0804
13	-	-	-	6,412	0,4142	0,0646
14	-	-	-	6,405	0,4234	0,0661
15	6,136	0,4534	0,0739	5,671	0,4395	0,0775
16	7,038	0,4735	0,0668	7,093	0,4369	0,0616
17	6,235	0,4601	0,0738	5,853	0,4302	0,0735
18	6,900	0,4595	0,0666	6,933	0,4361	0,0629
Moyenne	6,011	0,4528	0,0762	5,910	0,4367	0,0747
Erreur quadra- tique moyenne	±195	± 40	± 26	± 152	± 30	± 19

### Examen des résultats

Les résultats des observations extensométriques de marées sont donnés dans la table 9.

Même l'examen rapide de la table décèle l'hétérogénéité des observations. Cela concerne en premier lieu les appareils et particulièrement leur sensibilité, les méthodes de réduction des observations et enfin le volume des données expérimentales.

Dans la plupart des points, les résultats sont obtenus pour des séries de 1 à 3 mois mais à Kamitakara pour un intervalle de 20 jours seulement. D'après la durée des observations faites, la préférence ira aux résultats des stations d'Ozakayama, Talgar, Inkerman et Tbilissi.

TABLE 7

Numéro de la série	$N_2 / K_1$						Moyenne des deux enre- gistrements (après élimination de l'onde annuelle de $h/\ell$ )			
	Enregistrement photoélectrique			Enregistrement optique			poids	$h/\ell$	$h$	$\ell$
	$h/\ell$	$h$	$\ell$	$h/\ell$	$h$	$\ell$				
1	7,036	0,4610	0,0655	6,594	0,4523	0,0686	1	6,195	0,4566	0,0737
2	4,721	0,4272	0,0905	4,409	0,4316	0,0979	1	4,254	0,4292	-
3	-	-	-	5,132	0,4270	0,0832	0,5	5,242	0,4267	0,0814
4	5,493	0,4416	0,0804	5,294	0,4262	0,0805	1	5,844	0,4336	0,0742
5	-	-	-	5,359	0,4502	0,0840	0,5	6,066	0,4500	0,0742
6	-	-	-	4,523	0,4392	0,0971	0,5	5,292	0,4392	0,0830
7	4,468	0,4294	0,0961	4,612	0,4395	0,0953	1	5,155	0,4346	0,0843
8	5,600	0,4628	0,0826	5,310	0,4593	0,0865	1	5,693	0,4611	0,0810
9	5,778	0,4461	0,0722	5,181	0,4404	0,0850	1	5,297	0,4434	0,0837
10	5,746	0,4418	0,0769	5,540	0,4366	0,0788	1	5,092	0,4391	0,0864
11	6,092	0,4557	0,0748	6,003	0,4472	0,0745	1	5,369	0,4515	0,0841
12	4,865	0,4746	0,0975	4,942	0,4314	0,0873	1	5,319	0,4532	0,0852
13	-	-	-	5,171	0,4142	0,0801	0,5	5,848	-	0,0708
14	-	-	-	5,261	0,4235	0,0805	0,5	6,030	0,4233	0,0702
15	4,311	0,4535	0,1052	4,354	0,4398	0,1010	1	4,952	0,4467	0,0902
16	5,033	0,4738	0,0941	5,146	0,4374	0,0850	1	5,248	0,4561	0,0869
17	5,968	0,4601	0,0771	6,098	0,4299	0,0705	1	5,834	0,4451	0,0763
18	5,976	0,4602	0,0770	6,106	0,4366	0,0715	1	5,520	0,4488	0,0813
Moyenne	5,468	0,4529	0,0842	5,280	0,4368	0,0837		5,500	0,4446	0,0812
Erreur quadra- tique moyenne	$\pm 236$	$\pm 41$	$\pm 34$	$\pm 149$	$\pm 30$	$\pm 22$		$\pm 83$	$\pm 26$	$\pm 14$

TABLE 8

Onde	Amplitude $\mu m$	$\Delta \varphi^\circ$	$h/\ell$	$\ell$	$h$
$R_1$	0,0312	-6,34	5,127	0,0847	0,4343
	$\pm 11$	$\pm 2,00$	$\pm 120$	$\pm 20$	$\pm 100$
$\rho_1$	0,0188	-4,68	7,545	0,0575	0,4338
	$\pm 11$	$\pm 3,35$	$\pm 268$	$\pm 20$	$\pm 154$
$S_1$	0,0100	-36,10	-	-	-
	$\pm 11$	$\pm 6,33$	-	-	-

Les observations à Djerino ont été faites dans la proximité immédiate d'une fracture active de l'écorce terrestre. On a découvert dans cette station une valeur anormale de  $\ell$  : l'appareil sectionnant la ligne de fracture donne  $\ell = 0,272$  tandis que l'extensomètre installé le long de la ligne a donné  $\ell = 0,128$ .

TABLE 2

Auteur	Point des observations	Type d'appareil et sensibilité pour 1 mm d'enregistrement	Méthode d'analyse	Intervalle analyse des observations	h	h-3l
Sassa, Ozawa, Yoshikawa [16]	Mizubissi (Japon)	Une composante horizontale, à fil d'invar du type Sassa, 1.04x10 <sup>-8</sup>	IX-X-1943	0,051	-	-
Ozakayama		Sept composantes à fil d'invar du type Sassa, à tige de quartz H-59 et V-59, 0,41-0,8x10 <sup>-8</sup>	Analyse harmonique	7 séries mensuelles	-	-
Ozawa [17]	Kuchi (Japon)	Trois composantes, horizontal, à fil d'invar du type H-53 1,22 - 1,67 x 10 <sup>-8</sup>	Analyse harmonique	Trois séries mensuelles	0,055 ± 9	0,434 ± 26
	(Japon)	Trois composantes, horizontal, à fil d'invar du type H-53 2,1 - 10,1 x 10 <sup>-8</sup>	Analyse harmonique	Trois séries mensuelles		4016
Hierseman [18]	Freiberg (Saxe) RDA	Une composante à tige de quartz avec un générateur à induction 1,0 x 10 <sup>-9</sup>	Analyse harmonique de Doodson-Lennon, Doodson	XI-XII-1960	0,072	-
Latinina Karmaliev [4]	Talgar (URSS)	Une composante, horizontal, tige en quartz avec générateur du type à torsion 10 <sup>-8</sup> - 10 <sup>-9</sup>	Analyse harmonique de Pertsev (1 appr)	Sept séries mensuelles	0,048 ± 3	0,357 ± 15

Balavadze Karmaliev Kartvelichvilli Latinina [5]	Tbilissi (URSS)	Une composante, à tige de quartz, horizontal, avec générateur du type à torsion 0,7 x 10 <sup>-8</sup>	Analyse harmonique de Pertsev (1 appr)	VI-IX-1963	0,063	0,406	-
Ozawa [19]	Ozakayama (Japon)	Cinq composantes à tige de quartz du type H-59 et V-59 0,064 - 0,562x10 <sup>-8</sup>	Analyse harmonique Darwin, Doodson	1-4,5 mois (en tout 24 séries mensuelles)	0,073 + 11	0,556 + 45	(0,334)M2 (0,435)O1
Smith, Jungels [20]	Isabella (USA)	Deux composantes, horizontal, tige en quartz du type Benioff	Spectral	X-XII-1966 VI-VII-1968			(0,563)M2 (0,388)O1
Kuo [21]	Ogdensburg (USA)	Trois composantes, horizontal, tige de quartz avec un générateur de capacité -2 x 10 <sup>-11</sup>	Procédé des moindres carrés	II-III-1966			(0,392)M2 (0,331)O1
Latinina Starkova Karmaliev Risaeva [6]	Djerino (URSS)	Trois composantes, horizontal, à tige de quartz avec générateur du type à torsion 1,64x10 <sup>-8</sup> -0,5x10 <sup>-9</sup>	Analyse harmonique de Pertsev (1er approx.)	I-III-1967	0,128 + 4 - 0,272 + 8	0,637 + 14 - 0,528 + 9	4017
Nakagawa, Doi, Oike [22]	Kamitakara (Japon)	Trois composantes, tige horizontale quartz avec générateur de types de puissance de pendule 1,66 - 4,66 x 10 <sup>-9</sup>	Procédé des moindres carrés	IX-1968	-	-	(0,98)M2
Boulatsen, Tokar (ce livre)	Inkerman	Une composante, horizontal, tige en quartz avec générateur du type à torsion 1,128 x 10 <sup>-8</sup> - 0,739x10 <sup>-9</sup>	Analyse harmonique Lecolazet	VIII-1969 VII-1971	0,0752 + 15 - 8	0,4425 + 24	-

Les observations d'Ogdensburg ont été faites également près d'une fracture qui passe près du local où sont installés les appareils.

En ce qui concerne les résultats pour les stations japonaises, avec l'élimination de l'influence de l'effet indirect des marées dans l'océan, les déterminations du rapport  $h - 3\ell$  affranchi de l'action de cet effet méritent (à notre point de vue) la plus grande confiance.

Nos remarques touchant les observations extensométriques japonaises doivent être étendues aussi aux stations américaines d'Isabella et Ogdensburg. La première de celles-ci est située à 250 km des rives de l'océan Pacifique, dans une région séismiquement active (Sud de la Californie) et la seconde se trouve seulement à 100 km des rives de l'océan Atlantique.

Ainsi une courte analyse des résultats publiés des observations extensométriques des déformations de marées montre qu'à présent on a extrêmement peu de résultats qui serviraient de base pour des estimations sûres sur les valeurs des paramètres fondamentaux de la déformation de marée obtenus par les enregistrements extensométriques. Pour une plus grande sécurité, on se sert des observations à Talgar, Tbilissi, Ozakayama et Inkerman. Les enregistrements ont été faits dans les conditions de structures géologiques non perturbées, à de grandes profondeurs (de plus de 50 m) avec la sensibilité optimale des appareils. La comparaison des résultats en ces points montre qu'on a tout de même des différences sensibles dans les valeurs des nombres de Love et de Shida (voir table 9).

Il convient de rappeler que pour les marées statiques du second ordre les paramètres  $\ell$  et  $h$  obtenus par l'intégration numérique des équations de la théorie de l'élasticité pour les modèles les plus réels de la structure interne de la Terre sont respectivement de 0,068 à 0,107 et 0,567 à 0,662 [2].

En comparant avec ces valeurs les résultats pour les quatre stations on peut noter que les résultats pour Tbilissi, Ozakayama et Inkerman concordent le mieux avec les valeurs théoriques de  $\ell$ . La valeur du nombre  $h$  est diminuée par rapport à la valeur théorique. D'après les observations gravimétriques et clinométriques, ce paramètre est sensiblement plus grand.

Les divergences dans les valeurs  $h$  et  $\ell$  pour les différentes stations, la présence de certains désaccords avec leurs valeurs théoriques et également avec les résultats des observations clinométriques et gravimétriques peuvent s'expliquer par des facteurs instrumentaux et locaux de différents genres.

M.S. Molodenskii a montré [7] que la variation des propriétés élastiques et de la densité dans l'écorce terrestre n'agit presque pas sur la valeur de  $h$  mais  $\ell$  peut varier de 7 %.

A Talgar, Tbilissi et Inkerman, les paramètres  $h$  et  $\ell$  sont déduits par les relations des déformations  $M_2$  et  $O_1$  c'est-à-dire que leurs déterminations sont réciproquement indépendantes.

Après avoir calculé la valeur  $h/\ell$ , la détermination des nombres  $h$  et  $\ell$  se fait en utilisant les expressions correspondantes des déformations théoriques  $M_2$  et des valeurs précédemment trouvées  $h/\ell$ . Pour trouver des valeurs indépendantes de ces nombres, il faut disposer de données de deux appareils.

Supposons que l'erreur dans la valeur  $\ell$ , déterminée par les particularités de la structure de l'écorce terrestre soit égale à sa valeur maximale (7% d'après Molodenskii). Si on suppose que outre cette erreur systématique il y a encore une erreur de détermination de  $\ell$  (d'après la convergence intérieure des résultats) alors dans ce cas l'erreur relative sur  $h$  peut atteindre 10 %.

On a obtenu d'après les données des observations de marées extensométriques à Inkerman les valeurs suivantes des nombres  $\ell$  et  $h$  :

1) par le rapport des amplitudes de déformations pour les ondes  $M_2$  et  $O_1$   
 $\ell = 0,0752 \pm 0,0015, \quad h = 0,4425 \pm 0,0024$

2) par le rapport des amplitudes de déformations pour les ondes  $M_2$  et  $K_1$   
 $\ell = 0,0838 \pm 0,0018, \quad h = 0,4424 \pm 0,0025$

Après l'élimination de l'onde annuelle dans la valeur  $(h/\ell) M_2/K_1$   $\ell$  était égal à  $0,0812 \pm 0,0014$  et  $h = 0,4446 \pm 0,0026$ .

La faible divergence entre les nombres  $h$  et  $\ell$  obtenus par les rapports des amplitudes des déformations pour les ondes  $M_2$  et  $O_1$ ,  $M_2$  et  $K_1$  témoigne de la faible influence de l'onde de température diurne  $S_1$  sur les enregistrements de marées à Inkerman. Ceci est également confirmé par les résultats de la séparation de  $K_1$ ,  $P_1$  et  $S_1$  (voir table 8).

L'influence de l'onde  $S_1$  se fait sentir surtout sur l'onde  $S_2$  en perturbant sa phase (voir table 5). Cependant pour la station d'Inkerman, il faut prendre les valeurs  $h$  et  $\ell$  calculées d'après les ondes  $M_2$  et  $O_1$ .

Les erreurs relatives des paramètres  $\ell$  et  $h$  obtenues d'après les observations d'Inkerman sont respectivement de 2,0 et 0,5 % et pour les stations de Talgar, Tbilissi et Ozakayama elles sont de 6,3 à 17,5 % sur  $\ell$  et 3,7 à 8,1 % sur  $h$ .

Si le nombre de Shida  $\ell$  coïncide bien d'après nos observations avec sa valeur théorique, par contre le nombre de Love  $h$  est plus petit d'à peu près 20 % que sa valeur théorique.

Nous avons déjà abordé le problème de l'influence sur les paramètres  $h$  et  $\ell$  des particularités de la structure de l'écorce terrestre.

Les hypothèses sur la possibilité de l'influence sur les valeurs  $h$  et surtout sur  $\ell$  de la structure de l'écorce terrestre dans les conditions de Crimée ne sont pas sans fondements. Si on se tourne vers les indications que donnent les géologues et les géophysiciens alors on peut noter le caractère propre de la structure tectonique de la région de Crimée et des régions contiguës formant la dépression de la mer Noire. L'extrémité sud de la Crimée où est située la station extensométrique d'Inkerman caractérise un type propre d'écorce terrestre différant du type continental ou océanique. L'épaisseur de l'écorce terrestre  $y$  est d'environ 22 à 25 km et la couche de granit manque. C'est uniquement à mesure qu'on s'approche de la rive sud de la Crimée que sa puissance croît et l'épaisseur de l'écorce terrestre sous la presqu'île de Crimée augmente presque de deux fois. La vitesse moyenne des ondes longitudinales dans la couche de dépôt de la dépression de la Mer Noire est de 3,0 km/sec ce qui donne une raison de considérer une densité qui ne dépasse pas  $2,3 \text{ cm}^{-3}$  [8]. A côté de cela on remarque dans le massif de Crimée une intense anomalie positive de pesanteur en relation avec la densité élevée [8].

Dans cette région et dans les régions voisines on observe des zones de profondes perturbations et de fractures de l'écorce terrestre [8]. Il convient de noter la prédominance des importantes fractures qui ont des directions est et sud-est en formant des zones de contreforts et des profondes fractures de la Crimée et du Caucase.

La présence de fractures profondes peut amener à d'importantes anomalies dans les déformations de marées linéaires (et par cela même dans les valeurs  $h$  et  $\ell$ ) comme cela a été observé à Djerino.

Considérons les caractéristiques d'amplitude et de phase de l'onde  $M_2$ . La valeur théorique de l'amplitude de cette onde est d'environ  $1,1 \times 10^{-8}$ ; on a obtenu par l'analyse des observations  $0,8 \times 10^{-8}$ ; on a découvert une avance de la déformation observée de  $2^{\circ}6 \pm 0^{\circ}5$ . Or les propriétés élastico-visqueuses de la Terre ne peuvent conduire qu'à des retards de la déformation de sorte que l'avance constitue un indice de perturbation. Les particularités dont nous avons parlé précédemment peuvent être la cause la plus réelle de ces perturbations.

La présence de zones profondes tectoniquement actives peut conduire à une diminution des tensions dans l'écorce terrestre, créées par les forces génératrices de marées. A la suite de cela il y a une diminution des déformations proportionnelles à ces tensions. La présence de zones de l'écorce terrestre affranchies de tensions peut expliquer ainsi la perturbation de phase des déformations enregistrées par l'extensomètre.

### Conclusions fondamentales

1. Les nombres de Shida  $\ell$  et Love  $h$  obtenus par les observations de marées extensométriques en Crimée se caractérisent par les erreurs correspondant à la précision de l'étalonnage.
2. Le nombre de Shida  $\ell$ , égal à  $0,0752 \pm 0,0015$  se trouve dans les limites de ses valeurs théoriques et le résultat de la détermination du nombre de Love  $h = 0,4425 \pm 0,0024$  est diminué en comparaison avec la valeur théorique et les valeurs obtenues par les observations gravimétriques et clinométriques.
3. On a découvert une faible influence de l'onde météorologique diurne  $S_1$  sur les observations de marées extensométriques (Inkerman). Cette influence se fait fortement sentir sur l'onde  $S_2$  et en perturbe la phase.
4. Il existe une réelle possibilité de l'influence des particularités de la structure géologo-tectonique de la structure du massif de Crimée.
5. Pour trouver les valeurs globales des paramètres de marées déterminés par les observations des déformations de marées linéaires, il faut une extension des observations extensométriques dans des régions loin des océans.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 Boulatsen V.G. - Dans le livre : Rotation et déformations de marées de la Terre, publ. 4 "Naoukova Doumka" K, 1972
- 2 Molodenskii L.A., Kramer M.V. - Marées terrestres et nutation de la Terre. Edit. Ac. des Sc. URSS, M. 1961
- 3 Boulatsen V.G. - Etalonnage et sensibilité des extensomètres en quartz à tige avec un transformateur du type à torsion. Notre publication.
- 4 Latinina L.A., Karmaliev R.M. - Dans le livre : Mouvements actuels de l'écorce terrestre. Publ. 2, Tarta, 1965
- 5 Balavadze B.K. et autres. Izv. Ac. des Sc. URSS, Physique de la Terre N° 2, 1965
- 6 Latinina L.A. et autres. - Dans le livre : Rotation et déformations de marées de la Terre. Publ. 1 "Naoukova Doumka" K, 1970
- 7 Molodenskii M.S. - Travaux de l'Institut de Géophys. Ac. des Sc. URSS N° 19 (146) Edit. Ac. des Sc. URSS, M. 1953
- 8 Schlesinger A.E. - Dans le livre : Méthode et résultats des recherches de l'écorce terrestre et du manteau supérieur N° 8 "Naouka" M. 1972
- 9 Blayney J.L., Gilman R. - Bull. Seism. Soc. Am., 55, N° 5, 1965
- 10 Hade G., Conner M., Kuo J.T. - Bull. Seism. Soc. Am., 58, N° 5, 1968
- 11 Smolker S., Kline J.V. - Bull. Seism. Soc. Am., 61, N° 4, 1971
- 12 Vali Y. - Scienc. Amer., 220 (6), 89, 1969
- 13 Lecolazet R. - BIM, N° 10, 1958
- 14 Lecolazet R. - BIM, N° 31, 1963
- 15 Lecolazet R. - BIM N° 19, 1960
- 16 Sassa K., Ozawa I., Yoshikawa S. - Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ. N° 2, 1949
- 17 Ozawa I. - Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., N° 15, 1957
- 18 Hiersemann L. - Freiburger Forschungshefte, C 135, 1962
- 19 Ozawa I. - Spec. Contrib. Geophys. Inst. Kyoto Univ., N° 6, 1966
- 20 Smith S.W., Jungels P. - Phys. Earth Planet. Interiors, 2, N° 4, 1970
- 21 Kuo J.T. - Journ. Geoph. Res., 74, N° 6, 1969
- 22 Nakagawa I., Doi H., Oike K. - Comm. Obs. Roy. Belg., S.G., N° 96, 1970

Etalonnage des clinomètres avec agrandissement photoélectrique  
sur les petits angles d'inclinaison

---

A.L. BAGMET, A.M. KOUTNII

Rotation et déformations de marées de la Terre pp 50-55 - V - 1973

---

Le paramètre le plus important du clinomètre est sa sensibilité. De la précision de sa détermination dépendent les erreurs de mesure des inclinaisons lentes et de marées de l'écorce terrestre.

Ce sont à présent les méthodes directes d'étalonnage des appareils qui sont les plus répandues.

La méthode directe d'étalonnage consiste à ce que le pendule horizontal s'incline d'un angle connu de valeur comparable avec les angles pour la mesure desquels le clinomètre est destiné.

Pour résoudre les problèmes de la structure interne de la Terre, il faut déterminer les amplitudes des ondes principales de la marée terrestre avec une erreur qui ne dépasse pas 0,5 %. Par conséquent, l'étalonnage des clinomètres doit se faire avec la même erreur sur des angles d'inclinaison d'environ 0°02 ce qui constitue un problème complexe. Or on étalonne les appareils sur de grands angles d'inclinaison en supposant que la constante d'étalonnage reste invariable sur les petits angles. La justesse de cette hypothèse n'est pas évidente.

Comme on le sait, la sensibilité du clinomètre Verbaandert-Melchior est déterminée à l'aide d'une crapaudine dilatable qui déplace verticalement une des vis de réglage du clinomètre <sup>1</sup>. La constante de la crapaudine dilatable se calcule par des déplacements de sa partie supérieure, équivalents aux inclinaisons du pendule d'un angle d'environ 0"2 sec.d'arc c'est-à-dire d'un ordre plus grand que les inclinaisons de marées <sup>2</sup>.

L'étalonnage du clinomètre avec agrandissement photoélectrique consiste dans la recherche de la constante fondamentale  $I_0$  caractérisant la sensibilité du pendule aux inclinaisons et au courant passant par sa bobine placée dans le champ magnétique constant. La formule pour la détermination de cette constante a la forme

$$I_0 = \frac{I}{\psi} \quad (1)$$

Ici  $I$  est le courant compensant l'écart du pendule sous l'effet de l'inclinaison de la base de l'appareil d'un angle  $\psi$ .

La détermination de  $I_0$  se fait à l'aide d'une plate-forme tournante avec un levier dont le déplacement terminal se mesure par un interféromètre [3].

A.E. Ostrovskii a montré que la valeur  $I_0$  reste constante dans les limites des erreurs de mesure (0,5 %) pour des angles d'inclinaison de  $\pm 500''$  à  $\pm 20''$  [3].

I.A. Chirokov après avoir perfectionné la plate-forme a fait l'étalonnage de tous les clinomètres sur des angles sensiblement plus petits - jusqu'à  $\pm 1''0$ . Et sur ces angles d'oscillation les valeurs  $I_0$  ne sortaient pas des limites des erreurs de mesure, bien que sur des angles d'environ  $1''0$  on a noté comme une petite augmentation de  $I_0$  (de 0,5 à 0,7 %) par rapport à la valeur déterminée sur  $20''$  [4].

Le but de notre travail est d'essayer d'obtenir la valeur de  $I_0$  avec une erreur ne dépassant pas 0,5 % sur les angles d'inclinaison allant jusqu'à  $\pm 0''02$  comparables à l'amplitude des inclinaisons de marées et d'étudier si la valeur  $I_0$  varie dans le domaine des inclinaisons allant de  $2''0$  à  $0''02$ .

Avant d'entreprendre l'étalonnage des clinomètres sur les petits angles d'inclinaison, il faut éliminer les erreurs instrumentales : la non-linéarité du canal enregistreur, la variation de la sensibilité du clinomètre, la détermination des courants des impulsions de contrôle.

La non-linéarité du canal enregistreur du clinomètre (pendule-amplificateur photo-galvanomètre) a été éliminée d'après la méthode proposée en [5], par un réglage soigneux du système optique du pendule et par l'application pour l'enregistrement d'un galvanomètre à échelle linéaire. La non-linéarité ne dépassait pas 0,3 % pour un déplacement de la tache lumineuse de 50 mm sur l'enregistrement.

La variation de la sensibilité du clinomètre en fonction de la position de l'enregistrement découverte à l'Observatoire Gravimétrique de Poltava 6 a été éliminée par la modernisation du système optique du clinomètre 7 et la stabilisation de la sensibilité a été réalisée d'après la méthode décrite dans ce même travail. Les variations de la sensibilité du clinomètre, sur la largeur de l'enregistrement, ont été trouvées dans les limites des erreurs de la mesure de la valeur des impulsions de contrôle (0,2 à 0,4 %).

Les valeurs des courants des impulsions de contrôle ont été mesurées avec une erreur qui ne dépasse pas 2 % à l'aide d'un potentiomètre de précision [8].

L'installation pour l'étalonnage a été faite dans la mine d'Obninsk (la profondeur depuis la surface est d'environ 30 m) et se composait d'une plate-forme pour l'étalonnage avec un levier d'une longueur de 2026,5 mm et de l'interféromètre.

La plate-forme et l'interféromètre ont été protégés des courants d'air. Pour compenser les déformations de température de la plate-forme et de l'installation sur laquelle s'appuyait l'extrémité du levier près de la tablette de mesure de l'interféromètre on a choisi de façon expérimentale la longueur optimale des vis de réglage de la plate-forme. En conséquence, les clinomètres ayant une sensibilité de 2000 à 2500 mm/sec d'arc installés sur la plate-forme avaient pour un cycle de huit heures de mesures une dérive du zéro de 0"02 à 0"04 et cela à cause de la présence de l'expérimentateur. La température de l'air a varié à ce moment pour l'interféromètre en moyenne de 0,5°C et pour la plate-forme de 0,1°C. La température a été mesurée par un thermographe à résistance avec enregistrement photographique.

La valeur moyenne de division de l'interféromètre était égale à 0,02 micron.

On peut juger de la précision des déplacements de l'extrémité du levier par la vis micrométrique de l'interféromètre d'après les résultats de mesure des inclinaisons de la plate-forme enregistrées à l'aide du clinomètre. Les erreurs quadratiques moyennes des séries d'inclinaisons ne dépassent pas 0,1 à 0,3 %.

La méthode d'étalonnage sur des angles d'inclinaison de 2"0 à 0"5 ne différait pas de celle décrite dans le travail [4] et ce n'est que pour augmenter la précision de la mesure que la sensibilité des clinomètres a été maintenue à un niveau de 2000 à 2500 mm/sec d'arc. Cependant sur les plus petits angles d'inclinaison cette méthode n'est pas acceptable puisque pour atteindre la précision de 0,5 % il faudrait augmenter la sensibilité du clinomètre jusqu'à 8000 mm/sec d'arc ce qui est impossible étant donné la présence de l'expérimentateur dans le voisinage immédiat de l'appareil.

C'est pourquoi l'étalonnage sur les petits angles (de 0"2 à 0"02) a été fait d'après la méthode décrite en [10]. Le clinomètre a été installé sur la plate-forme et son pendule a été mis dans la position de travail. L'enregistrement des inclinaisons a été fait sur enregistreur standard mais avec le galvanomètre M 17/10.

L'amortissement du galvanomètre a été choisi voisin de 3 afin de diminuer les perturbations provenant des mouvements de haute fréquence (période allant jusqu'à 15 sec.) du socle. Le temps d'installation (avec précision jusqu'à 0,1 %) du système pendule-galvanomètre dans la nouvelle position d'équilibre lors du déplacement a été évalué d'après la méthode décrite dans le travail [9]. Ensuite on a enregistré une série de 20 à 40 écarts donnés par le courant de l'impulsion de contrôle. Ensuite on a enregistré 20 à 40 inclinaisons obtenues par le déplacement de l'extrémité du levier de plate-forme d'une valeur connue.

On peut maintenant déterminer la constante électrodynamique du clinomètre  $I_0$  de la façon suivante. La sensibilité  $K$  du clinomètre peut être trouvée d'après les impulsions de contrôle du courant :

$$K = Z \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

Ici  $h$  est le déplacement de l'indicateur lumineux du galvanomètre sur l'enregistrement sous l'action de l'inclinaison de la plate-forme d'un angle donné par la vis micrométrique de l'interféromètre, mm;  $I$  est la valeur du courant de l'impulsion de contrôle, Mka. Cependant

$$K = \frac{h}{\psi} \quad (3)$$

Ici  $h$  est le déplacement de l'indicateur lumineux du galvanomètre sur l'enregistrement sous l'effet de l'inclinaison de la plate-forme d'un angle donné par la vis micrométrique de l'interféromètre.

En comparant (2) et (3), nous obtenons

$$I_0 = \frac{Ih}{Z\psi} \quad (4)$$

Pour diminuer les erreurs de température de détermination des valeurs des courants des impulsions de contrôle on a fait leurs mesures directement dans la mine, pour cela le potentiomètre P306 a été placé dans une gaine imperméable à l'eau avec un desséchant.

Les erreurs quadratiques moyennes de la détermination de  $I_0$  sur des grands angles ont été calculées d'après la formule

$$\sigma_{I_0} = \pm \sqrt{\left[ \frac{\psi(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_1 R_K)}{UR_3} \frac{\sigma_{R_1}}{R_1} \right]^2 + \left[ \frac{\psi(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_2 R_K)}{UR_3 R_2} \sigma_{R_2} \right]^2 + \left[ \frac{\psi(R_1 R_3 + R_2 R_3)}{UR_3^2} \sigma_{R_3} \right]^2 + \left[ \frac{\psi(R_1 R_K + R_2 R_K)}{UR_3 R_K} \sigma_{R_K} \right]^2 + \left[ \frac{\sigma_U}{U} \right]^2 + \left[ \frac{\sigma_\psi}{\psi} \right]^2} \quad (5)$$

où  $\sigma_{R_i}$  sont les erreurs quadratiques moyennes des résistors correspondants du schéma électrique (leurs notations correspondent ici à celles prises dans [4]),  $\sigma_U$ ,  $\sigma_\psi$  sont les erreurs quadratiques moyennes de la détermination de la tension de la batterie et de l'angle d'inclinaison de la plate forme

$$\sigma_\psi = \pm \sqrt{\left( \frac{\sigma_\lambda}{\lambda} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_n}{n} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_L}{L} \right)^2} \quad (6)$$

$\sigma_\lambda, \sigma_n, \sigma_L$  sont les erreurs quadratiques moyennes de la détermination de la longueur de l'onde de la lumière qui passe par le filtre lumineux de l'interféromètre, de l'étalonnage de l'échelle de l'interféromètre et de la mesure de la longueur du levier de la plate-forme.

L'erreur de détermination  $I_0$  sur les petits angles d'inclinaison a été déterminée par l'expression

$$\sigma_{I_0} = \pm \sqrt{\left( \frac{\sigma_I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_h}{h} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_z}{z} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_\psi}{\psi} \right)^2} \quad (7)$$

où  $\sigma_I, \sigma_h, \sigma_z$  sont les erreurs quadratiques moyennes de la détermination des valeurs des courants des impulsions de contrôle, du groupe des inclinaisons de la plate-forme et des valeurs des impulsions de contrôle sur l'enregistrement.

Les erreurs quadratiques moyennes de l'étalonnage des clinomètres sur les grands et petits angles d'inclinaison ont été obtenues presque les mêmes et ne dépassent 0,5 à 0,6 % (tables 1 et 2).

Pour diminuer les déformations possibles du fil lors du déplacement de l'extrémité du levier, il a été détendu par un poids d'environ 0,5 suspendu de telle façon que son poids ne s'écrase pas sur le levier.

TABLE 1

Résultats de l'étalonnage du clinomètre N° 28 sur des angles d'inclinaison de 2"0 à 0"02 pour différentes valeurs de la charge sur le levier de la plate-forme

sec. $\varphi$ arc	P=0,2 кг Серия 1	P=0,5 кг Серия 2	P=1,10 кг Серия 3	P=1,75 кг Серия 4	P=2,25 кг Серия 5
2,00	0,9918±0,0049	0,9944±0,0048	0,9942±0,0049	0,9970±0,0049	0,9978±0,0049
1,00	0,9878	49 0,9890	50 0,9927	49 0,9959	49 1,0047
0,50	0,9820	50 0,9798	50 0,9851	51 0,9924	50 1,0018
0,20	0,9962	44 0,9858	46 1,0021	49 0,9957	45 1,0052
0,10	0,9819	46 0,9804	48 0,9955	46 0,9905	44 0,9992
0,04	0,9556	52 0,9856	109 0,9889	44 0,9890	56 0,9929
0,02	0,9018	61 0,9546	120 0,9845	50 0,9976	54 0,9973

On a fait quelques séries d'étalonnage du même clinomètre sur de grands angles (2"1 : 0"5) et sur de petits angles (0"2 : 0,1 : 0,04 : % 0"02) avec différentes charges dispersées sur le levier de la plate-forme. Les résultats de cinq séries de la détermination  $I_0$  du clinomètre N° 29 avec différentes charges sont donnés dans la table I. Comme nous le constatons la plus grande dépendance de la valeur de la constante électrodynamique  $I_0$  provenant de l'angle d'inclinaison de la plate-forme s'observe dans la première série faite avec une charge mise au bout du levier d'environ 200 . Cette dépendance a un caractère exponentiel augmentant avec la diminution de l'angle d'inclinaison de la plate-forme.

TABLE 2

Résultats de l'étalonnage des clinomètres N° 23 et 28 sur les angles d'inclinaison de 2"0 à 0"02

$\psi$ , sec.d'arc	HØ N° 28. P=4,10 кг		HØ N° 23. P = 3,00 кг	
	Серия 1	Серия 2	Серия 1	Серия 2
2,00	0,9807+0,0048	0,9979+0,0049	1,0250	0,0048 1,0179+0,0048
1,00	0,9645 49	0,9999 49	0,9919	49 1,0179 48
0,50	0,9345 51	0,9961 50	0,9868	50 1,0201 49
0,20	0,9398 48	0,9898 48	0,9796	45 1,0144 46
0,10	0,9321 47	0,9921 47	0,9710	51 1,0176 47
0,04	0,9954 56	0,9954 56	0,9561	50 1,0064 55
0,02	0,9839 66	0,9839 66	0,9083	70 1,0090 66

A mesure de l'augmentation de la charge sur le levier, la dépendance  $I_0(\psi)$  devient toujours plus faible, sans sortir des limites des erreurs des mesures (0,5 %) déjà au moment de la charge de 1,75 kt (série 4). Au moment d'une augmentation ultérieure de la charge on n'observe pas non plus (série 5) de dépendance de  $I_0(\psi)$ . Tout cela témoigne de ce que le levier non chargé de la plate-forme se déforme si son extrémité se déplace en élevant ou baissant la tablette de l'interféromètre. C'est comme si la charge sur le levier augmentait sa rigidité et la déformation diminue jusqu'à un degré tel qu'elle n'altère déjà plus les résultats des mesures  $I_0$ .

Les données de la table 1 permettent de tirer une conclusion sur la nécessité de charger le levier de la plate-forme s'il est suffisamment rigide. La charge répartie sur le levier doit constituer au moins 3 kt à son extrémité.

Nous donnons dans la table 2 les résultats de l'étalonnage des deux clinomètres pour des angles d'inclinaison de 2"0 à 0"02 avec un levier chargé. On note que pour le clinomètre N° 28, sur des angles d'inclinaison de 2"0 à 0"5, on observe une diminution de la valeur  $I_0$  (table 1, HØ, N° 28 série 1) sortant des limites des erreurs de mesures et sur les petits angles d'inclinaison, les résultats concordent de façon satisfaisante. La vérification du schéma électrique a révélé une inexactitude émanant à des erreurs systématiques lors du calcul de la constante  $I_0$ .

Il faut souligner que la probabilité de découvrir ce même genre d'erreurs systématiques lors de l'étalonnage uniquement sur de grands angles d'inclinaison de la plate-forme est extrêmement faible. Après l'élimination de l'inexactitude on a obtenu une concordance satisfaisante des résultats de la mesure de  $I_0$  dans tout le diapason des inclinaisons (table 2, HØ, N° 28, série 2).

Lors de l'étalonnage du clinomètre N° 23 on a décelé une importante dépendance de  $I_0(\psi)$  (table 2, HØ, N° 23, série 1) bien qu'extérieurement cet appareil semble tout à fait en bon état (en jugeant d'après la qualité des enregistrements des marées terrestres). La vérification soigneuse de l'appareil a permis de trouver de la poussière métallique dans son système magnétique. Après nettoyage, le clinomètre a été à nouveau étalonné et on a obtenu une valeur correcte  $I_0$  aussi bien dans les grands angles d'inclinaison de la plate-forme que dans les petits (table 2, HØ, N° 23, série 2).

En analysant les résultats des recherches faites, on peut conclure que dans les clinomètres techniquement corrigés la constante électrodynamique ne dépend pas de l'angle d'inclinaison de la plate-forme. Cependant pour être certain du bon état du clinomètre et du schéma d'étalonnage il convient de déterminer la valeur  $I_0$  aussi bien avec les grands angles d'inclinaison qu'avec les petits.

En étalonnant les clinomètres uniquement pour de grands angles on n'a pas la certitude que la constante  $I_0$  reste invariable dans les petits angles d'inclinaison et il est difficile de déceler la dépendance  $I_0(\psi)$  dans les appareils qui ne sont pas en bon état. Cette dépendance dans les appareils défectueux apparaît mieux à mesure que diminuent les angles d'inclinaison de la plate-forme.

En ce qui concerne l'étalonnage pour de petits angles il aurait suffi de déterminer la constante  $I_0$  avec des angles d'inclinaison de la plate-forme de l'ordre de l'amplitude de la marée. Cependant si on fait la détermination de la constante  $I_0$  uniquement pour les petits angles il est tout à fait impossible de déceler les erreurs systématiques dues au schéma d'étalonnage. Il est simple d'éliminer les erreurs indiquées si on détermine

la constante  $I_0$  dans les grands et les petits angles de l'inclinaison de la plate-forme. En comparant les résultats on peut tirer une conclusion sur leur sûreté.

On peut ainsi proposer la méthode suivante d'étalonnage des clinomètres avec grandissement photoélectrique :

- a) étalonnage par le procédé habituel dans les grands angles d'inclinaison de la plate-forme (2"0 à 1"0);
- b) étalonnage dans les petits angles (de l'ordre de 0"1) par comparaison des inclinaisons de la plate-forme et des impulsions de contrôle.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. VERBAANDERT J. - In : Comm. de l'Obs. Roy. de Belgique, N° 180, Série Géophysique, N 57, Bruxelles 1960.
2. VERBAANDERT J. - In : Bolletino di Geofisica teorica ed Applicata, v. 4, 16. Trieste, 1962
3. OSTROVSKII A.E. - Marées Terrestres et structure interne de la Terre "Naouka" M 1967
4. CHIROKOV I.A.  
Marées Terrestres et structure interne de la Terre "Naouka" M 1967
5. BAGMET A.L. Mesure des inclinaisons de la surface de la Terre par les inclinaisons avec agrandissement photoélectrique. Réf. de l'auteur M 1970.
6. BALENKO G.G., KOUTNII A.M., NOVIKOVA A.N. - Rotation et déformations de marées de la Terre. Vol. 2 "Naoukova Doumka" K. 1970
7. BAGMET A.L., MICHATKIN V.N., KOUTNII A.M. - Rotation et déformations de marées de la Terre. Vol. 4 "Naoukova Doumka" K, 1972

8. BAGMET A.L. -Etude des marées terrestres "Naouka" M. 1972
9. BAGMET A.L., SHULPIEN L.L., SCHWARTZBOURG Ia. A.  
Etude des marées terrestres "Naouka" M 1972
10. BALENKO V.G., KOUTNII A.M., NOVIKOVA A.H.  
Rotation et déformations de marées de la Terre. Vol. 1 "Naoukova  
Doumka" K 1970

Résultats de l'analyse harmonique  
des observations clinométriques à Mourakhovka

---

P.S. Matveyev, V.G. Goloubitskii, B.S. Doubik, E.A. Slavinskaya

-----

Rotation et déformations de marées de la Terre pp 28-35 - VI -1974

Abrégé

Pour établir ce point clinométrique, le huitième sur le profil Soumi(Kherson, on a choisi le milieu de la section Dariveka-Ingoulietz où l'on a découvert des anomalies d'inclinaisons importantes. Le bas niveau des eaux souterraines (environ 50 m), le relief relativement calme, ont permis d'espérer que les conditions y seront tout à fait satisfaisantes.

Les coordonnées géographiques approximatives du point clinométrique Mourakhovka sont les suivantes :

$$\varphi = 47^{\circ}2 \text{ N} \quad \lambda = 33^{\circ}0 \text{ E}$$

En juillet-août 1968, on y a construit une galerie de recherches d'une profondeur de 10,3 m analogue aux galeries de recherches à Velikié Boudicha et Samatovka. La direction du méridien a été déterminée ici d'après les observations de la polaire à l'aide du théodolithe TT.5 avec une précision atteignant une minute d'arc. Après fixation au-dessus de la galerie (par deux repères temporaires) cette direction a été transmise par deux suspensions sur le fond de la galerie et a été définie par deux plaques métalliques fixées dans le mur de briques de la galerie.

On a utilisé le complexe de clinomètres photoélectriques d'Ostrovskii qui se trouvait jusqu'alors en enregistrement à Samotevka (appareils 49 et 62, enregistreur 37).

Des observations y ont commencé le 3 novembre 1968 c'est-à-dire tout de suite après la réalisation des travaux d'aménagement de la galerie et de la salle d'enregistrement qui ont été réalisés en octobre. L'appareil 49 enregistre l'inclinaison dans la direction NS et l'appareil 62, l'inclinaison dans la direction EW.

La sensibilité des clinomètres a été maintenue entre 400 à 700 mm par seconde d'arc.

La période des observations s'est étendue sur presque dix mois. Au début (jusqu'à la fin de novembre 1968) l'enregistrement photographique avait une faible qualité à cause de l'instabilité du socle et du processus continu d'affaissement des murs de la galerie. Dans les derniers jours de novembre, l'enregistrement s'est sensiblement stabilisé. Pour l'appareil 49 (composante NS) il pouvait être utilisé pour la détermination des ondes de marées. Cependant avec l'offensive précoce d'un hiver très froid et pratiquement sans neige, depuis le milieu de décembre 1968, l'enregistrement des inclinaisons des deux appareils présenta de grandes perturbations et était tout à fait insatisfaisant pour l'analyse harmonique. Les abondantes chutes de neige de la fin de février au début de mars 1969 et l'amélioration consécutive du temps ont amené à la formation de glace en fusion qui entra dans la galerie et dans la salle d'enregistrement par les fentes dans le sol gelé. Dès lors l'enregistrement a été interrompu le 10 mars 1969. Après avoir éloigné l'eau de la galerie et de la salle d'enregistrement, aménagé des égouts, nettoyé et séché les appareils, les observations des inclinaisons ont été rétablies à partir du 17 mars 1969. Cependant la qualité de l'enregistrement photographique a été très médiocre. Les perturbations principales étaient l'influence des courants de convection de l'air dans la section inférieure de la galerie (provoquant des inclinaisons à courte période, des pulsations d'origine instrumentale) et des fuites de courants faibles lors des impulsions de calibrage. Après l'installation le 22 mai 1969 dans la section inférieure à la hauteur de 80 cm du sol d'une planche thermo-isolante spéciale (légère couverture en planches protégée par une couche d'ouate minérale) les pulsations de température à courte période ont disparu des courbes enregistrées. Cependant

les essais d'éviter les pertes de courant lors des impulsions de calibrage sont restés longtemps sans succès. Au début d'août 1969 après le second retrait des clinomètres de la galerie et leur séchage soigneux, l'influence des pertes a été réduite au minimum. Pour les impulsions de 0"02, l'asymétrie n'était pas de plus de 5 %. Pour les impulsions de 0"05, elle ne dépassait pas 2 %. C'est pourquoi lors de la réalisation de la première série des observations clinométriques régulières à Mourakhovka une impulsion de 0"05 a été enregistrée sur la bande photographique pour déterminer la sensibilité des clinomètres.

La première série d'observations régulières à Mourakhovka a duré du 4-VIII-1969 au 14-V-1971. On a réussi à obtenir pour cette période 17 séries en composante NS et 18 en composante EW.

On a décidé de faire coïncider la correction de l'appareil avec son étalonnage sur la plate-forme clinométrique de précision de l'Observatoire d'Obninsk. Les valeurs de la constante électrodynamique  $J_0$  obtenues à la suite des étalonnages sont données dans la table 1. Pour comparer nous donnons les valeurs de la constante  $J_0$  obtenues en 1965. La ligne inférieure de la table 1 donne les résultats d'un étalonnage fait en août 1971. Il a fallu un troisième étalonnage provoqué par la réparation des clinomètres après une forte détérioration survenue le 10-VII-1971.

TABLE 1

Résultats de la détermination de la constante électrodynamique  $J_0$  des clinomètres

Date de l'étalonnage	Valeurs $J_0$ , MKa/sec. d'arc	
	Appareil 49	Appareil 62
juin 1965	1,001	1,001
juin 1971	1,0045	1,0146
juillet 1971	1,0086	1,0156
août 1971	1,0005	1,0142

TABLE 2

Valeurs mesurées du courant des impulsions de contrôle  
(1ère série des observations)

Impulsion	Valeurs $J_{Ku}$ , MKa	
	Appareil 49	Appareil 62
0"01	0,009735	0,009725
0"02	0,019620	0,019590
0"05	0,047250	0,047255
0"10	0,091320	0,091215

En comparant les données dans la dernière et avant-dernière lignes de la table 1, nous constatons que les valeurs  $J_0$  après la détérioration et la réparation des appareils n'ont pratiquement pas changé. C'est là une chose très satisfaisante qui témoigne de la "résistance" mécanique des clinomètres photoélectriques Ostrovskii.

La mesure des valeurs  $J_{Ku}$  représente une étape très importante du travail de vérification de l'appareil après la réalisation de la 1ère série d'observations puisqu'on a pu craindre que la valeur de l'impulsion 0"05 utilisée dans cette période ne corresponde pas à sa valeur nominale.

TABLE 3

Valeurs  $\gamma$  et  $\alpha$  à Mourakhovka, ondes diurnes

Début de la série $t_0$	$Q_1$		$D_1$		$K_1$		$H_1$	
	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$

## Composante NS (appareil 49)

## Première série

69081000	8,532 + 72°39	1,657 - 54°21	11,660 + 115°53	28,616 + 131°69
69090400	2,342 - 58,85	1,417 - 12,89	6,565 - 195,30	32,979 - 89,38
69092900	2,516 + 1,93	1,250 - 13,66	0,451 - 88,37	8,221 - 142,50
69102400	3,681 + 185,70	1,980 + 15,08	1,959 + 30,99	15,542 - 150,34
69111400	0,592 + 44,91	0,652 - 6,47	1,182 + 13,45	7,718 + 61,11
69112800	1,993 - 59,76	1,304 - 7,32	1,132 + 2,55	12,325 + 107,23
70020512	7,781 + 140,72	0,653 - 4,84	1,482 + 66,53	12,725 + 17,04
70022512	2,509 + 79,28	0,529 + 67,62	1,336 - 14,43	4,679 + 90,10
70033000	5,821 + 258,16	1,078 - 97,64	1,091 + 197,91	15,701 - 35,34
70042800	6,421 + 11,42	0,906 - 36,58	6,399 - 128,25	8,904 + 99,60
70052300	2,230 - 117,86	1,755 - 4,06	3,471 - 120,97	31,744 + 145,17
70062700	10,371 + 76,51	2,628 - 67,50	14,704 + 74,02	35,490 - 140,41
70093012	8,785 - 14,19	0,752 - 139,29	1,353 + 26,65	11,577 - 95,84
70102500	4,593 - 53,25	1,078 - 58,27	1,043 - 6,04	14,060 - 140,10
71022000	13,839 - 30,40	3,823 - 134,35	4,652 + 15,32	29,141 - 101,95
71031700	3,283 - 118,17	0,494 + 115,28	2,732 - 101,69	14,064 - 65,33
71041500	5,073 + 68,90	0,374 - 48,82	1,023 - 112,66	8,392 + 16,46

## Deuxième série

71110300	3,037 + 35°80	0,949 - 7°53	1,333 + 23°08	12,169 + 74°31
71112800	8,493 - 114,82	0,633 - 5,39	1,953 + 28,72	15,900 + 84,11
72031400	5,467 + 166,93	1,590 + 27,26	1,144 + 223,70	4,414 + 229,33
72040400	3,799 - 217,63	1,195 + 22,35	1,254 + 212,81	9,470 - 144,73
72042400	4,894 - 143,35	2,284 - 61,52	5,515 + 47,67	40,283 - 16,73
72061900	5,453 - 80,07	1,158 + 31,51	5,439 - 277,37	47,569 - 96,21
72070900	9,720 - 105,03	1,255 - 92,37	6,861 - 252,45	39,829 - 148,37
72072300	4,184 - 23,09	2,059 - 53,24	7,277 - 248,64	23,665 + 88,68

## \* Composante EW (appareil 62)

## Première série

69081000	0,347 + 50°70	0,704 + 4°26	0,588 + 20°34	1,774 + 34°45
69090400	0,674 + 28,38	0,710 + 7,11	0,655 + 24,47	2,037 - 51,78
69092900	1,958 - 18,90	0,781 + 7,28	0,596 + 10,56	5,331 - 78,09
69102400	1,309 - 73,33	0,728 + 12,78	0,541 + 11,51	6,580 - 63,03
69111400	0,747 + 33,99	0,644 - 4,52	0,748 + 0,14	1,569 + 58,59
69112800	1,217 + 3,54	0,621 + 8,57	0,744 + 3,63	2,127 + 0,21
70020500	0,887 + 154,67	0,617 + 6,31	0,851 + 10,49	0,796 + 128,22
70030300	0,958 + 14,82	0,621 - 0,96	0,620 - 0,94	0,962 - 30,07
70032600	1,058 + 11,53	0,618 + 2,78	0,727 - 7,51	0,774 + 126,61
70042200	0,502 - 52,81	0,756 - 6,47	0,858 + 18,35	2,483 + 2,71
70051700	0,289 + 21,12	0,595 + 16,43	0,751 + 10,31	2,663 + 149,47
70061100	0,379 - 23,79	0,791 - 1,27	1,075 + 8,85	3,726 - 30,48
70070600	0,501 + 3,44	0,793 - 2,91	1,067 + 17,29	3,344 + 20,24
70073100	0,446 - 73,99	0,824 + 1,52	0,749 + 13,09	1,796 - 48,22
70082212	0,237 + 104,16	0,887 - 1,86	0,933 + 21,18	0,273 - 28,86
71022000	0,258 + 133,22	0,919 - 16,51	0,631 - 4,40	0,332 + 88,30
71031700	0,596 + 14,22	0,758 + 11,49	0,826 - 13,10	1,924 + 11,86
71041500	0,520 - 25,93	0,617 - 1,43	0,878 + 17,32	1,253 + 19,24

## Deuxième série

71110300	0,866 + 19°41	0,688 - 1°45	0,754 + 10°12	2,091 + 90°25
71112800	1,751 - 42,31	0,631 - 8,24	0,724 + 20,57	0,403 - 141,21
72031400	1,220 - 50°86	0,693 + 1°95	0,827 - 21°31	2,301 + 37°91
72040400	0,512 - 34,68	3,543 + 7,68	0,923 + 2,34	2,627 + 326,82
72042400	0,268 - 20°63	0,634 + 7,24	0,810 + 14,09	1,063 - 107,05
72052100	0,362 + 20°93	0,793 + 6,62	0,966 + 5,53	1,679 - 62,16
72070900	0,523 - 8,17	0,699 - 0,01	0,998 + 10,91	1,179 - 46,58
72072300	0,826 - 5,53	0,755 + 3,87	0,922 + 13,34	1,410 + 19,89

TABLE 4

Valeurs  $\gamma$  et  $\alpha$  à Mourakhovka, ondes semi-diurnes

Начало серии $t_0$	$M_2$		$M_2$		$S_2$		$M_2$	
	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$
Composante NS (appareil 49)								
Première série								
69081000	0,451	+19,77	0,726	+2,85	0,968	+24,59	0,664	+6,96
69090400	0,662	+3,10	0,685	+1,33	0,813	+22,80	0,889	+28,62
69092900	0,618	-12,38	0,672	-0,15	0,730	+8,20	1,511	+2,39
69102400	0,539	-7,49	0,651	+2,06	0,738	+3,21	1,017	+109,16
69111400	0,605	-0,35	0,696	+1,17	0,822	+0,19	0,396	-28,71
69112800	0,693	-18,54	0,687	+5,75	0,606	+0,68	1,968	+9,49
70020512	0,493	-13,30	0,692	+2,71	0,769	+9,32	1,514	+81,33
70022512	0,635	-5,23	0,656	+3,03	0,317	+10,10	0,854	+35,08
70033000	0,639	-9,49	0,678	+3,38	0,684	+13,79	1,001	-4,48
70042300	0,807	-17,63	0,659	+1,38	0,621	-3,12	0,678	-4,73
70052300	0,781	-6,82	0,642	+1,55	0,556	+0,40	0,976	+94,56
70062700	0,603	-12,03	0,736	+1,47	1,533	+14,79	0,806	+13,41
70093012	0,602	+2,34	0,760	+2,83	0,801	+9,44	1,746	-14,63
70102500	0,876	+5,30	0,779	+2,70	0,820	+7,05	1,362	-62,67
71022000	0,670	-23,51	0,779	+5,84	0,885	+14,40	2,835	+10,41
71031700	0,800	-9,36	0,740	+1,95	0,875	+6,78	1,719	+25,00
71041500	0,696	-10,11	0,778	-0,24	0,810	+12,72	1,116	-13,95
Deuxième série								
71110300	0,691	+ 0,03	0,673	+2,93	0,726	+6,31	0,742	+ 8,63
71112800	0,691	+15,93	0,695	-1,94	0,706	-4,17	1,074	-10,05
72031400	0,811	+ 0,86	0,698	+5,11	0,740	+3,52	1,045	-33,90
72040400	0,695	+ 4,62	0,669	+3,43	0,735	+2,64	1,537	-12,90
72042400	0,636	+11,61	0,654	+4,09	0,840	+21,53	1,711	-26,05
72051900	0,821	+ 7,52	0,655	+3,14	0,947	+16,74	1,931	+25,67
72070900	1,024	+2,60	0,650	-0,01	0,929	+17,78	0,920	+2,57
72072300	0,873	-1,95	0,681	+0,95	0,881	+18,78	0,672	-0,34
Composante EW (appareil 62)								
Première série								
69081000	0,658	+12,64	0,727	+4,20	0,769	+15,62	0,932	+3,88
69090400	0,613	+1,36	0,702	+4,49	0,751	+14,88	0,767	-14,82
69092900	0,754	-10,91	0,715	+1,00	0,717	+11,72	1,140	+40,53
69102400	0,715	+16,26	0,717	+1,38	0,741	+13,26	0,766	-69,56
69111400	0,768	+6,72	0,718	+2,68	0,782	+11,54	0,709	-21,11
69112800	0,571	-8,15	0,764	+5,29	0,845	+15,73	2,261	-20,61
70020600	0,659	+2,35	0,768	+4,47	0,772	+9,59	0,400	+14,64
70030300	0,765	-1,65	0,712	+5,82	0,798	+9,66	0,849	+30,65
70032800	0,816	-1,17	0,741	+6,75	0,726	+12,28	1,265	-32,35
70042200	0,683	+11,63	0,725	+2,10	0,692	+17,94	0,902	-11,48
70051700	0,809	+ 6,37	0,703	+2,74	0,776	+15,57	0,572	-0,49
70061100	0,784	-13,15	0,788	+1,58	0,998	+9,84	0,826	-62,87
70070600	0,844	- 0,95	0,781	-0,16	0,963	+6,32	0,086	-148,49
70073100	0,948	+ 7,15	0,800	+2,41	0,853	+8,44	0,756	+39,55
70082212	0,792	+ 2,01	0,799	+2,23	0,874	+7,04	0,797	-16,13
71022000	0,742	+4,21	0,832	+3,34	0,876	+6,64	1,960	+32,75
71031700	0,946	+0,06	0,810	+3,21	0,827	+7,64	1,466	-34,85
71041500	0,795	-6,66	0,798	+3,54	0,803	+15,08	1,226	+1,52
Deuxième série								
71110300	0,750	-3,10	0,729	+3,50	0,763	+10,13	1,254	-2,13
71112800	0,608	-3,23	0,758	+2,58	0,882	-1,19	1,523	+69,76
72031400	0,669	+7,89	0,715	+6,38	0,798	+15,09	0,420	-331,52
72040400	0,742	+8,24	0,709	+4,67	0,800	+13,52	0,438	-29,96
72042400	0,754	+14,10	0,711	+5,20	0,790	+15,63	0,503	+31,13
72062100	0,764	+0,66	0,714	+6,20	0,958	+6,41	0,862	+7,94
72070900	0,836	-1,72	0,710	+2,55	0,916	+7,86	0,554	+2,49
72072300	0,849	-3,41	0,718	+2,78	0,884	+9,40	0,912	-9,34

TABLE 5

Valeurs moyennes  $\gamma$  et  $x$  à Mourakhovka, composante NS

Onde	$\gamma$				$x$		
	I*	I	II	Moy.	I	II	Moy.
$Q_1$	1,6964 $\pm 1,0420$	1,5960 $\pm 0,9803$	3,0469 $\pm 1,5014$	2,0297 $\pm 0,8209$	+ 9,23 $\pm 37,71$	+242,90 $\pm 23,95$	+175,74 $\pm 20,22$
$D_1$	-0,7649 $\pm 0,2394$	0,7196 $\pm 0,2252$	-0,9928 $\pm 0,2122$	0,8643 $\pm 0,1545$	-46,34 $\pm 18,05$	- 23,58 $\pm 20,72$	- 36,52 $\pm 13,61$
$K_1$	-1,0727 $\pm 1,1146$	1,0092 $\pm 1,0486$	2,8903 $\pm 1,1453$	1,8672 $\pm 0,7733$	+97,73 $\pm 37,73$	+ 85,22 $\pm 14,07$	+ 86,75 $\pm 13,18$
$M_1$	5,5947 $\pm 3,2846$	5,2635 $\pm 3,0902$	4,6577 $\pm 8,0158$	5,1851 $\pm 2,8833$	+220,21 $\pm 35,06$	+262,63 $\pm 85,45$	+226,32 $\pm 32,44$
$N_2$	0,6510 $\pm 0,0268$	0,6125 $\pm 0,0252$	0,7766 $\pm 0,0467$	0,6495 $\pm 0,0222$	- 7,26 $\pm 2,41$	+ 4,71 $\pm 1,93$	+ 0,03 $\pm 1,51$
$N_2$	0,7065 $\pm 0,0114$	0,6647 $\pm 0,0107$	0,6726 $\pm 0,0061$	0,6707 $\pm 0,0053$	+ 2,35 $\pm 0,42$	+ 2,21 $\pm 0,84$	+ 2,32 $\pm 0,38$
$S_2$	-0,8079 $\pm 0,0482$	0,7601 $\pm 0,0453$	0,8037 $\pm 0,0288$	-0,7911 $\pm 0,0243$	+ 10,06 $\pm 2,28$	+ 11,27 $\pm 3,58$	+ 10,41 $\pm 1,92$
$A_2$	0,9675 $\pm 0,1858$	-0,9102 $\pm 0,1748$	1,1335 $\pm 0,1442$	1,0431 $\pm 0,1112$	+ 14,06 $\pm 9,15$	- 5,58 $\pm 8,73$	+ 3,78 $\pm 6,32$

Disposant des données des tables 1 et 2, il est facile de trouver les valeurs du coefficient  $K_1$  pour la correction des valeurs obtenues pour la première série du facteur pour les valeurs réelles  $J_{K,u}$  ne correspondant pas à leurs valeurs nominales. Pour l'impulsion 0"05 que nous avons utilisée, les valeurs de ce coefficient (en tenant compte des variations  $J_0$ ) étaient égales :

$$\begin{aligned} K_1 (49) &= 0,9408 \\ K_1 (62) &= 0,9316 \end{aligned} \quad (1)$$

TABLE 6

Valeurs moyennes  $\chi$  et  $x$  à Mourakhovka, composante EW

Onde	$J$				$\kappa$		
	$J^*$	$J$	$J$	Moy.	$J$	$J$	Moy.
$B_1$	0,4701 $\pm 0,1360$	0,4379 $\pm 0,1267$	0,6505 $\pm 0,1718$	0,5128 $\pm 0,1020$	-2,56 $\pm 12,13$	-28,86 $\pm 15,29$	-12,72 $\pm 9,50$
$D_1$	0,7076 $\pm 0,0210$	0,6592 $\pm 0,0196$	0,6747 $\pm 0,0278$	0,6643 $\pm 0,0160$	+2,01 $\pm 1,89$	+3,49 $\pm 2,20$	+2,64 $\pm 1,43$
$K_1$	0,7621 $\pm 0,0336$	0,7100 $\pm 0,0313$	0,8483 $\pm 0,0401$	0,7624 $\pm 0,0247$	+9,36 $\pm 2,61$	+6,90 $\pm 4,21$	+8,68 $\pm 2,22$
$N_1$	1,2893 $\pm 0,3514$	1,2011 $\pm 0,3274$	0,7986 $\pm 0,3424$	1,0089 $\pm 0,2966$	-24,07 $\pm 20,42$	-9,58 $\pm 33,75$	-20,19 $\pm 17,47$
$N_2$	0,7523 $\pm 0,0241$	0,7008 $\pm 0,0225$	0,7420 $\pm 0,0284$	0,7167 $\pm 0,0176$	+1,51 $\pm 1,82$	+2,32 $\pm 2,36$	+1,81 $\pm 1,44$
$N_2$	0,7552 $\pm 0,0101$	0,7035 $\pm 0,0094$	0,7203 $\pm 0,0061$	0,7153 $\pm 0,0051$	+3,16 $\pm 0,41$	+4,22 $\pm 0,55$	+3,54 $\pm 0,33$
$S_2$	0,8081 $\pm 0,0202$	0,7528 $\pm 0,0188$	0,8454 $\pm 0,0275$	0,7823 $\pm 0,0155$	+11,38 $\pm 0,75$	+9,36 $\pm 1,78$	+11,08 $\pm 0,69$
$\mu_2$	0,8110 $\pm 0,1119$	0,7555 $\pm 0,1042$	0,6887 $\pm 0,1193$	0,7266 $\pm 0,0785$	-8,18 $\pm 8,38$	+17,09 $\pm 14,93$	-2,13 $\pm 7,31$

Toutes les valeurs  $\chi$  obtenues pour la première série des observations (août 1969 à mai 1971) doivent être multipliées par les valeurs réduites des coefficients de correction.

L'analyse harmonique a été faite à l'Institut de Cybernétique de l'Académie des Sciences d'Ukraine d'après le schéma élaboré à l'Observatoire Gravimétrique de Poltava [6,7]. Les résultats obtenus pour chacune des séries sont donnés dans les tables 3 et 4. Les valeurs  $\gamma$  sont données dans ces tables telles qu'elles sont relevées directement avec l' $\exists$ VМ (M.220) c'est-à-dire avant la correction par leurs coefficients (1).

Les moyennes vectorielles  $\gamma$  et  $x$  d'après les données de la première série provenant des tables 3 et 4 sont données dans les deuxième et sixième colonnes des tables 5 et 6. Après l'application à la seconde colonne (I\*) de ces tables des coefficients (I) on a obtenu les valeurs corrigées  $\gamma$  pour la première série des observations (colonne 3).

L'époque initiale des séries analysées dans les tables 3 et 4 a été écrite sous la forme de nombres à huit chiffres dans lesquels la première paire de chiffres représente l'année, la seconde le mois, la troisième le chiffre du mois et les dernières l'instant initial  $t_0$  de la série en heures TU.

Les appareils 49 et 62 réparés et étalonnés trois fois à la fin d'octobre 1971 ont été à nouveau remis en enregistrement dans la galerie. Leur orientation et situation sur le socle étaient les mêmes que dans la première série d'observations. La méthode d'observation est également inchangée. On a seulement changé la valeur de l'impulsion de contrôle imprimée sur la bande photographique. Elle est à présent égale à 0"02 au lieu de 0"05.

Les observations faites à Mourakhovka depuis le 1-XI-1971 jusqu'au jour de la fermeture de la station (21-VIII-1972) sont examinées comme une deuxième série d'observations indépendante. Pour cette période on a réussi à obtenir 8 séries mensuelles pour chacun des clihomètres. Les valeurs et  $x$  obtenues sont données dans les tables 3 et 4. Les moyennes vectorielles sont données dans les tables 5 et 6.

Pour caractériser les ondes de marée on doit utiliser les valeurs  $x$  obtenues par moyenne pondérée des résultats des première et deuxième séries des observations. Elles sont données dans la cinquième et la huitième colonnes des tables 5 et 6. Les poids  $P_x$  ont été pris inversement proportionnels aux carrés des erreurs quadratiques moyennes. Les formules employées sont :

$$x_0 = \frac{m_2^2 x_1 + m_1^2 x_2}{m_1^2 + m_2^2},$$

$$m_0 = \frac{m_1 m_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}.$$
(2)

L'examen détaillé des résultats obtenus à Mourakhovka sera fait sous la forme de l'interprétation collective de tous les résultats obtenus dans le profil clinométrique de Soumi-Kherson. Nous noterons que dans cette station, la valeur  $\gamma$  obtenue pour l'onde  $M_2$  pour la direction NS était nettement plus petite que pour la direction EW. L'autre onde lunaire  $N_2$  coïncide bien avec l'onde  $M_2$ . L'onde  $S_2$  présente des valeurs  $\gamma$  nettement exagérées pour les deux composantes.

La précision de détermination des ondes diurnes  $O_1$  et  $K_1$  en composante NS était très basse à cause de la petitesse de leurs amplitudes aux latitudes moyennes.

En revanche pour la composante EW, les valeurs  $\gamma$  et  $x$  pour ces deux ondes ont été obtenues avec des erreurs permettant la discussion de l'effet dynamique du noyau de la Terre. Malheureusement, on ne peut encore tirer de conclusion sur la valeur de la différence  $\gamma(O_1) - \gamma(K_1)$  puisque les données caractérisant ces ondes sont données dans les tables 5, 6 sans tenir compte aucunement de l'influence perturbatrice de l'onde de température  $S_1$ .

Ainsi on peut tirer les conclusions suivantes :

1. On a obtenu des valeurs sûres de  $\gamma$  et  $x$  caractérisant les cinq ondes de la marée terrestre :  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $N_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ .
2. Pour caractériser l'onde de marée semi-diurne à Mourakhovka il faut recommander les valeurs  $\gamma$  et  $x$  obtenues par l'onde  $M_2$ , dont la précision de détermination était en ce point de plus de 1 %.
3. L'inégalité azimuthale des valeurs  $\gamma$  pour l'onde  $M_2$  à Mourakhovka pour les directions NS et EW a le même caractère que dans la plupart des autres points du profil Soumi-Kherson. La valeur de cette inégalité ( $\gamma_S - \gamma_W = -0,045 \pm 0,007$ ) ne peut s'expliquer par les erreurs des valeurs de départ comparées de ce paramètre. L'une des causes les plus probables est apparemment l'influence des zones situées près des fractures profondes de l'étendue sub latitude.

Les auteurs expriment leurs remerciements à l'aspirant I. You. Bogdan qui a été d'une grande aide dans l'étalonnage des appareils et au chef du laboratoire I.P. Kravictz qui a réalisé le travail important de préparation des données d'observations pour l'analyse harmonique.

-----

BIBLIOGRAPHIE

1. MATVEYEV P.S., BALENKO V.G., BOGDAN I. YOU.  
Symposium sur l'échange d'essais d'observations clinométriques  
(rapports sur la cession du groupe de travail 3.3 de la sous-commission  
3 KA , Léninegrad - 1968), M. Comité Géophysique Ac. des Sc. URSS, 1969
2. MATVEYEV P.S., BOGDAN I. YOU., LISSENKO G.M.  
Géophysique et Astronomie, Publ. II "Naoukova Doumka" K, 1967
3. MATVEYEV P.S., BOGDAN I. YOU.  
Rotation et déformations de marées de la Terre, Publ. I "Naoukova Doum-  
ka" K, 1970
4. MATVEYEV P.S., GOLOUBITSKII V.G., DOUBIK B.S.  
Rotation et déformations de marées de la Terre, Publ. III "Naoukova  
Doumka" K, 1971
5. OSTROVSKII A.E.  
Etude des marées terrestres 2. Edit. Ac. des Sc. URSS M. 1961
6. MATVEYEV P.S.  
Marées terrestres, "Naoukova Doumka" K, 1966
7. KORBA S.N.  
Rotation et déformations de marées de la Terre, Publ. V "Naoukova  
Doumka" K, 1973, notre revue.

-----

## Observations clinométriques dans la mine I "Artemsol" (salle 2)

---

V.G. Balenko, A.M. Koutnii, A.N. Novikova, N.M. Alexandrov

## Abrégé

Rotation et déformation de marées de la Terre - VI - pp. 36 - 41 - 1974

La station clinométrique dans la mine I à Karlo-Libknekhtovska de la région d'Artemovsk dans le Donetz est un profil précis le plus à l'est Kiev-Poltava-Artemovsk. Les observations dans cette mine ont commencé en mars 1967 au point qu'on appelle "salle I" et ont continué jusqu'en février 1970.

La description des conditions d'observations et des résultats obtenus est donnée dans notre publication [1].

On a découvert que les valeurs  $\gamma$  pour toutes les ondes semi-diurnes dans la direction nord-sud sont anormalement basses. Rappelons que pour l'onde  $M_2$  dans la direction nord-sud  $\gamma = 0,471 \pm 0,005$ . Des valeurs analogues sont obtenues pour les ondes  $N_2$  et  $S_2$ .

On a donné deux interprétations sur les causes de ce phénomène. Il est possible que la perturbation de la valeur  $\gamma$  a un caractère local et est provoquée par une zone de perturbations tectoniques située au sud-ouest du point d'installation des pendules horizontaux ou par l'influence des champs d'excavations de mines ou pour toutes autres causes inconnues. De l'autre point de vue c'est le phénomène régional qu'on observe lors des observations des inclinaisons de marées dans la mine "3bis", Torès à 90 km au sud-est de Karlo-Libknekhtovska, E.I. Evtouchenko a découvert un phénomène analogue [2].

C'est pourquoi on a décidé d'organiser une nouvelle station clinométrique dans cette même mine plus éloignée de la zone de fractures et située de sorte que le "centre de masse" des champs de mine choisis se trouvait sous un angle de  $90^\circ$  par rapport à la ligne reliant les deux points des observations clinométriques.

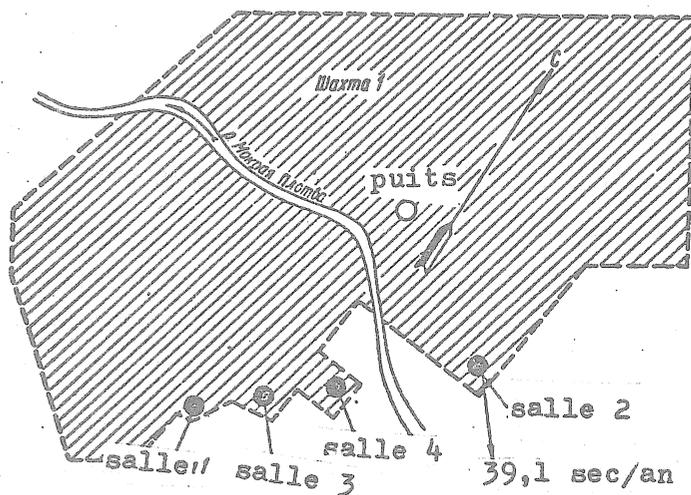


Fig. 1 - Schéma des excavations et situation des salles clinométriques dans la mine 1.

### Conditions d'observation

Cet endroit a été trouvé à 600 m de la salle 1, nous l'appellerons salle 2 (fig. 1). Cette vieille excavation a une hauteur atteignant 30 m et une largeur d'environ 15 m. La longueur de la galerie est de 130 m.

Le socle en béton pour l'installation des pendules horizontaux se trouve dans la partie sud de la galerie suivant son axe. La surface du socle est de 120 x 70 cm<sup>2</sup> et la hauteur 5 à 10 cm au-dessus de la surface. A 10 m de ce socle dans la direction nord se trouve un petit pilier en briques pour l'installation de l'enregistreur.

Il n'y a pas de ventilation artificielle dans les environs de la salle 2. Ceci crée un régime thermique favorable pour les observations clinométriques. D'octobre 1970 à septembre 1972 la température était de 12°2. A la précision de 0.1° on n'a découvert aucune variation de température avec une période autre qu'annuelle.

On a utilisé des pendules horizontaux Repsold-Levitsky qui jusqu' alors se trouvaient dans la salle 1. On a conservé également la méthode précédente de mesure de la sensibilité, d'installation des appareils et du processus d'observations décrites dans notre travail [1].

Lors du transfert des appareils de la salle 1 dans la 2 on a réussi à conserver sur le pendule M-1 les fils de suspension tandis que pour le pendule M-2 le fil inférieur a été remplacé.

Pour déterminer la sensibilité  $K_{DH}$  des pendules horizontaux on a utilisé la méthode dynamique de Galitzine-Orlov [1] :

$$K_{DH} = CT^2,$$

$$C = \frac{D \sin 1''}{2\pi^2(l/g)}, \quad (1)$$

où  $D$  est la longueur du levier optique;  $l$  est la longueur réduite du pendule horizontal;  $T$  est la période des oscillations propres;  $g$  est l'accélération de la chute libre.

La constante des pendules horizontaux C et la période des pendules T ont été déterminées par le même procédé que lors des observations de marées terrestres dans la salle 1 [1] .

### Résultats de l'analyse harmonique

Les observations régulières des inclinaisons de marées ont commencé en octobre 1970 et se sont terminées en octobre 1972. On a obtenu dans chacune des directions nord-sud et ouest-est 15 bonnes séries mensuelles.

Les inclinaisons observées sont soumises à l'analyse harmonique par la méthode de Matveyev à l'Institut Cybernétique de l'Académie des Sciences d'Ukraine sur EVM M-220.

TABLE 1

Date	Sensibilité mm/sec		Date	Sensibilité mm/sec		Date	Sensibilité mm/sec	
	M-2	M-1		M-2	M-1		M-2	M-1
16.X 1970	259,6	319,7	6.VII 1971	155,7	297,6	10.III 1972	292,1	194,7
22.X	259,6	319,7	13.VII	156,7	304,3	16.III	297,3	200,1
29.X	243,6	281,2	20.VII	156,7	307,4	24.III	296,4	202,3
5.XI	-	298,8	27.VII	157,9	314,8	31.III	299,5	207,3
12.XI	-	316,6	3.VIII	156,5	317,9	7.IV	298,7	209,0
19.XI	-	335,9	10.VIII	158,1	326,1	14.IV	302,1	211,3
26.XI	-	351,6	17.VIII	155,9	325,7	21.IV	303,3	-
8.XII	-	372,6	24.VIII	156,7	335,8	28.IV	305,3	-
10.XII	-	393,2	31.VIII	155,3	342,4	5.V	309,1	-
2.II 1971	-	182,9	7.IX	154,7	353,6	12.V	308,8	222,2
9.II	159,3	206,8	14.IX	153,3	356,9	19.V	309,4	223,5
16.II	161,7	216,4	21.IX	151,4	377,9	26.V	310,1	226,5
23.II	162,6	216,7	7.X	151,2	379,8	2.YI	315,6	230,5
29.II	160,3	221,1	14.X	150,3	396,1	9.YI	314,6	231,0
6.III	160,3	216,9	21.X	151,3	403,8	17.YI	317,8	234,9
13.III	159,5	228,3	27.X	152,3	412,4	23.YI	319,6	237,4
20.III	159,3	231,9	3.XI	152,4	426,3	30.YI	325,0	243,8
27.III	158,7	235,6	10.XI	153,3	442,6	7.II	325,8	248,2
3.IV	157,6	239,1	17.XI	154,1	453,7	14.II	330,9	253,8
10.IV	156,5	245,9	24.XI	151,7	466,7	21.II	332,8	256,2
17.IV	158,2	249,7	1.XII	154,6	482,9	28.II	352,6	262,4
24.IV	157,3	249,4	8.XII	154,7	495,6	4.III	336,9	269,8
1.Y	156,9	257,6	15.XII	153,4	498,1	11.III	339,6	277,5
8.Y	155,2	259,9	22.XII	156,3	519,1	18.III	192,3	276,2
15.Y	155,3	265,3	29.XII	154,5	524,8	25.III	193,1	284,9
22.Y	153,3	268,1	5.I 1972	155,4	539,4	1.IX	193,3	297,8
29.Y	155,2	275,5	12.I	154,9	549,3	8.IX	193,9	307,1
6.VI	155,2	281,0	19.I	156,8	563,7	15.IX	195,2	317,1
13.VI	158,1	282,8	26.I	155,5	574,3	22.IX	195,2	329,4
20.VI	155,7	286,2	3.II	157,0	664,6	29.IX	195,5	340,5
27.VI	155,3	290,8						

Les résultats de l'analyse harmonique et les moyennes vectorielles  $\gamma$  et  $x$  pour cinq ondes de marées les plus importantes sont donnés dans la table 2.

La comparaison des données de la table 2 avec les valeurs correspondantes obtenues lors de l'analyse des observations clinométriques dans la salle 1 permet de tirer les conclusions suivantes :

1. Les valeurs  $\gamma$  pour les ondes semi-diurnes dans la direction NS et EW dans la salle 2 diffèrent des valeurs correspondantes obtenues dans la salle 1 et concordent bien avec les caractéristiques des ondes de marées qui ont été trouvées au cours des observations clinométriques dans les galeries dans d'autres stations du profil Kiev-Poltava-Artemovsk. Cela montre la nature locale de la valeur faible de  $\gamma$  pour les ondes semi-diurnes dans la salle 1.
2. Les phases des ondes diurnes sont moins perturbées que les phases des ondes semi-diurnes. Dans la direction ouest-est ces phases des ondes semi-diurnes sont amplifiées et dans la direction nord-sud elles sont diminuées. Cela est particulièrement sensible pour l'onde  $S_2$ .

Un phénomène analogue de perturbation prédominante des ondes semi-diurnes est remarqué aussi dans certaines autres stations de marées terrestres [3]. Ce phénomène n'a pas encore trouvé d'explication satisfaisante.

#### Dérive des clinomètres

La dérive des pendules horizontaux est un des indices des conditions de l'enregistrement des inclinaisons de marées et des particularités de la structure des roches. L'interprétation de la courbe de la dérive constitue le procédé le plus discuté dans les observations clinométriques.

TABLE 2

Onde	Pendule 1 (EW)		Pendule 2 (NS)	
$D_1$	0,733 $\pm 0,012$	-0,34 $\pm 1,33$	0,901 $\pm 0,038$	+0,35 $\pm 3,56$
$N_1$	0,815 $\pm 0,017$	-1,14 $\pm 1,44$	0,631 $\pm 0,084$	-8,95 $\pm 5,28$
$N_2$	0,729 $\pm 0,014$	+4,41 $\pm 1,16$	0,700 $\pm 0,017$	-5,37 $\pm 1,52$
$M_2$	0,717 $\pm 0,004$	+3,16 $\pm 0,26$	0,696 $\pm 0,004$	-2,70 $\pm 0,25$
$S_2$	0,824 $\pm 0,010$	+4,77 $\pm 0,75$	0,642 $\pm 0,013$	-14,42 $\pm 1,18$

Une information sur les inclinaisons régionales séculaires ne peut être obtenue par les observations avec les pendules horizontaux dans les mines à cause de la prédominance des mouvements locaux des mouvements des roches sous l'effet de la pression [1]. L'accumulation des données expérimentales est utile pour clarifier dans l'avenir cette question assez complexe.

Nous donnons sur la figure 2 la dérive obtenue pour la période du 12-II-1971 au 4-X-1972.

Pour le pendule M-1 enregistrant les inclinaisons dans la direction ouest-est, elle est presque linéaire avec une petite composante du second degré. La forme de la dérive est plus compliquée pour le pendule M-2 qui enregistre dans la direction nord-sud. Il est apparu que l'aspect incorrect de la dérive (10-II-1971 au 2-X-1971) est provoqué par la cristallisation du sol sous les crapaudines des vis d'appui. Ce phénomène a été décelé lors de l'examen des appareils, le 2-X-1971. Les crapaudines ont été à nouveau polies et pour la prévention de la transformation successive du sol, le socle sous les vis a été enduit de graisse liquide. Après cela les sinuosités dans l'allure de la dérive ont disparu et elle est devenue presque linéaire.

On a calculé les vitesses annuelles de l'inclinaison. Le pendule M-1 indiquait une inclinaison du côté "est" avec une vitesse de 23,4 sec/année. Le pendule M-2 indiquait une inclinaison du côté "sud" avec une vitesse de 31,3 sec/année. Le vecteur total de l'inclinaison pour un an est de 39,1 sec/année (figure 1).

Lors de la réduction des observations clinométriques dans la salle 1 on a trouvé une onde annuelle dont l'amplitude est d'environ 0,05 sec l. C'est pourquoi on avait des raisons pour faire des recherches analogues de la courbe de la dérive dans la salle 2.

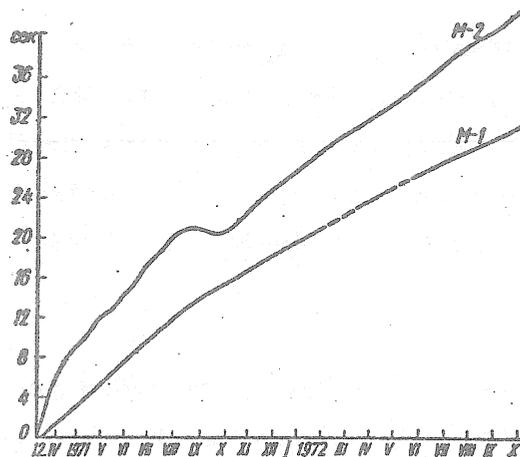


Fig. 2 - Dérive des pendules horizontaux dans la salle 2.

Pour chaque pendule on a composé un système de 73 équations de la forme

$$x_0 + r x_1 + r^2 x_2 + 2 \cos(\omega_0^T + \varphi) = N_T, \quad (3)$$

où  $r$  et  $\varphi$  sont l'amplitude et la phase initiale de l'onde annuelle,  $x_0$ ,  $x_1$  et  $x_2$  sont les coefficients des composantes linéaire et quadratique,  $N_T$  sont les ordonnées moyennes de la dérive pour 5 jours,  $N_T$  est la vitesse angulaire de la dérive pour une heure spéciale  $T$  égale à cinq jours.

Les deux systèmes sont résolus par moindres carrés et donnent :

$$\begin{aligned} - \text{ pour le pendule M-1 (direction EW)} \quad r_1 &= 0''557 \pm 0''017 \\ \psi_1 &= 95^\circ 4 \pm 0,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ pour le pendule M-2 (direction NS)} \quad r_2 &= 0''479 \pm 0''024 \\ \psi_2 &= 334^\circ 0 \pm 0,6 \end{aligned}$$

Les amplitudes de l'onde annuelle dans la salle 2 dans la direction nord-sud et ouest-est étaient presque égales et d'un ordre plus grand que dans la salle 1. Il est facile de montrer qu'aux mêmes dates les phases de ces ondes coïncident pratiquement.

Les inclinaisons extrémales correspondent à la fin de janvier au début février et à la fin juin au début juillet. Cela correspond au moment de l'année où l'air le plus chaud ou le plus froid s'introduit par la ventilation de la surface dans la mine. Il convient de rappeler que dans la salle 1 les inclinaisons extrémales de l'onde correspondaient aux mois d'octobre et avril.

Ainsi, les déformations des roches provoquées par la ventilation des excavations souterraines, dans la salle 2 sont sensiblement plus grandes que dans la salle 1 et correspondent en phase à la variation de la température de l'air extérieur.

La salle 2 se trouve un peu plus près du puits que la salle 1 mais ce facteur ne peut expliquer seul une différence aussi grande dans les amplitudes et les phases de l'onde annuelle.

BIBLIOGRAPHIE

1. BALENKO V.G. et autres  
Rotation et déformations de marées de la Terre.  
Publ. 4 "Naoukova Doumka" K, 1972
2. EVTOUCHENKO E.I.  
Rotation et déformations de marées de la Terre.  
Publ. 2 "Naoukova Doumka" K, 1970.
3. BONATZ M., CHOJNICKI T. und ROCHOLL W.  
Ergebnisse von Horizontalpendelregistrierungen bei geringer  
Gesteinsüberdeckung. Bonn 1972.

L'étalonnage des gravimètres "Askania" et la détermination de l'échelle d'enregistrement des marées de la pesanteur par inclinaison

Inclinaisons de température des socles

---

D.G. Gridniev

Rotation et déformations de marées de la Terre - VI - pp.42-53 - 1974

Abrégé

Pour déterminer l'échelle d'enregistrement on utilise souvent le procédé de B.P. Pertsev [1]. Ce procédé permet de déterminer l'échelle de l'enregistrement suffisamment bien à la condition que la valeur de division du gravimètre ne soit pas de plus de 0,07 à 0,08 mgal et soit connue avec une haute précision et aussi que la somme des deux écarts produits chaque jour ne soit pas inférieure à 8 à 10 divisions. La sensibilité du gravimètre Askania est de 300 à 350 mm/mgal, la largeur de l'enregistrement étant de 280 mm. La valeur de la division du gravimètre GS 11 est de 0,07 à 0,08 mgal, et de 0,16 à 0,18 mgal pour le gravimètre GS 12.

Cependant ces dernières années il est devenu pratiquement impossible de déterminer pour certains gravimètres GS 11 la valeur de la division par variation du moment de pesanteur du pendule à l'aide de la bille. Ainsi, pour le gravimètre N° 134 l'effet de la bille a été en octobre 1970 :  $521,4 \pm 3,7$ ; en avril 1972 :  $500,8 \pm 0,8$ ; le 3-7-1972 :  $522 \pm 4,7$ ; le 4-7-1972 :  $508,5 \pm 3,2$ ; et le 12-7-1972 :  $499,6 \pm 0,2$ , qui diffèrent l'un de l'autre de 4 %. La cause en réside apparemment dans le fait qu'à la suite d'une longue exploitation du gravimètre et de déterminations répétées de la valeur de division par la bille, la capacité de la bille à se fixer dans une position nettement déterminée dans l'alvéole a évolué à cause de déformations possibles et de la corrosion aussi bien de la bille que de l'alvéole. Ceci est sérieux car il est impossible pour certains gravimètres de déterminer l'échelle de l'enregistrement à cause de la faible précision de la valeur de division de l'équipement. Pour le gravimètre GS 12 la valeur de division est très grande si bien que la somme des écarts ne peut dépasser trois à quatre divisions ce qui ne permet pas de déterminer l'échelle d'enregistrement avec une précision suffisante. Un procédé bien connu d'étalonnage procède par inclinaison du gravimètre [2].

En position horizontale, quand le centre de masse du pendule se trouve dans le plan horizontal passant par l'axe de rotation du pendule, le moment du système sensible est égal à  $mg\ell$ . Pour une inclinaison du gravimètre d'un angle  $\alpha$  le moment sera égal à  $mg\ell \cos \alpha$  où  $\ell$  est la distance de l'axe de rotation au centre de masse du pendule. L'accroissement apparent de la pesanteur sera

$$\Delta g = g (1 - \cos \alpha) \quad (1)$$

soit

$$\Delta g = g \left( \frac{\alpha^2}{2!} - \frac{\alpha^4}{4!} + \frac{\alpha^6}{6!} - \dots \right) \quad (2)$$

Tenant compte que lors de l'étalonnage du gravimètre par inclinaison l'angle  $\alpha$  ne dépasse habituellement pas  $1^\circ$  à  $2^\circ$ , l'expression (2) peut se limiter au premier terme :

$$\Delta g = g \frac{\alpha^2}{2} \quad (3)$$

La valeur de division du gravimètre est égale à

$$C = g \frac{d^2}{2(S_1 - S_2)} = \frac{\Delta g}{\Delta S} \frac{h^2 A}{2 \rho h} \quad (4)$$

$S_1$  et  $S_2$  sont les lectures du micromètre.

Le pendule s'écarte de la position horizontale d'un certain angle inconnu  $x$ . Il est simple d'éliminer cet angle en appliquant les combinaisons déterminées des inclinaisons du gravimètre. Si on incline le gravimètre de  $^{\pm} \alpha$  et ensuite de  $^{\pm} \alpha_1$  alors on peut écrire ( $\alpha > \alpha_1$ ) :

$$\Delta g_1 = g \frac{(\alpha + x)^2}{2} \quad (5)$$

$$\Delta g_2 = g \frac{(\alpha - x)^2}{2} \quad (6)$$

$$\Delta g_3 = g \frac{(\alpha_1 + x)^2}{2} \quad (7)$$

$$\Delta g_4 = g \frac{(\alpha_1 - x)^2}{2} \quad (8)$$

Aux expressions (5) à (8) correspondront les lectures  $S_1, S_2, S_3, S_4$ . En sommant (5) avec (6) et (7) avec (8) nous obtiendrons :

$$\Delta g_1 + \Delta g_2 = g (\alpha^2 + x^2) \quad (9)$$

$$\Delta g_3 + \Delta g_4 = g (\alpha_1^2 + x^2) \quad (10)$$

et par soustraction

$$\sum \Delta g_{1,2} - \sum \Delta g_{3,4} = g (\alpha^2 - \alpha_1^2) \quad (11)$$

Ainsi s'élimine l'angle inconnu  $x$  et la valeur de division est égale à

$$C = \frac{g(\alpha^2 - \alpha_1^2)}{2S_{1,2} - 2S_{3,4}} = \frac{gh^2(n^2 - n_1^2)}{L^2(2S_{1,2} - 2S_{3,4})} = A \frac{(n^2 - n_1^2)}{2S_{1,2} - 2S_{3,4}} \quad (12)$$

où  $h$  est le pas de la vis micrométrique de la plate-forme clinométrique dont  $L$  est la base,  $n$  est le nombre de tours de la vis micrométrique.  $A$  est une constante pour la plate-forme clinométrique.

Si de (5) on déduit (6), nous obtiendrons :

$$\Delta g_1 - \Delta g_2 = 2g \alpha x$$

d'où

$$x = \frac{\Delta g_1 - \Delta g_2}{2g \alpha} = \frac{C(S_1 - S_2)}{2g \alpha} \quad (13)$$

La valeur de division de l'échelle du galvanomètre intérieur du gravimètre GS 11 est de l'ordre de 0,07 à 0,08 mgal. Le calcul de la position du faisceau lumineux sur l'échelle dans des conditions standard peut être faite avec une précision du dixième de division ce qui correspond à 0,007 à 0,008 mgal.

C'est pourquoi la précision de la détermination de la position du minimum de sensibilité à l'inclinaison du gravimètre GS 11 peut être  $\pm 10''$ .

Si la constante de la plate-forme est connue avec une haute précision par étalonnage préalable du gravimètre par inclinaison on peut facilement obtenir la valeur de division du gravimètre avec une précision de 1 % et déterminer l'angle avec une précision de 0"1. Cette valeur de l'erreur d'angle  $x$  est comparable avec la précision de calcul sur les plate-formes clinométriques c'est pourquoi on peut décaler le gravimètre de sa position horizontale avec une précision de 0"1.

Quand l'angle de l'inclinaison du gravimètre augmente, l'erreur absolue de la variation apparente de la pesanteur due à l'erreur de détermination de l'angle d'inclinaison croît et l'erreur relative décroît. C'est pourquoi il convient de déterminer la valeur de division du gravimètre avec de grands angles d'inclinaison. Cependant les particularités de construction du gravimètre GS 11 (GS 12) ne permettent pas de l'incliner d'un grand angle. Le gravimètre présente une grande flexion du ressort principal lors de grandes inclinaisons et le ressort peut se déplacer dans le plan de l'inclinaison. De même le galvanomètre intérieur peut changer son zéro et avoir une forte non-linéarité d'échelle.

La plate-forme clinométrique de l'Institut de Physique de la Terre a une base  $L$  égale à  $1002,0 \pm 0,5$  mm et un pas de la vis micrométrique  $h$  égal à 0,5 mm.

L'erreur d'un tour de la vis ne dépasse pas 0,002 mm et l'erreur progressive ne dépasse pas 0,005 mm. Sur la tête de vis 100 divisions sont portées tous les  $3^{\circ}6'$ . La précision est de 0,1 division, soit 0"1. Ainsi pour une inclinaison de  $25'$ , l'erreur de détermination de la variation apparente de la pesanteur est de 0,0036 mgal soit 0,014 %.

La constante  $A_0$  est égale à 0,24441 mgal.

Le gravimètre GS 12 N° 180 a la valeur de division égale à 0,16045 mgal.

Si on suppose que la valeur de division du gravimètre n'a pas changé, on peut déterminer la constante  $A_0$  avec une haute précision en se servant de l'expression (12). Nous obtenons pour Krasnaya Pakhra

$$A_0 = \frac{C(\sum S_{1,2} - \sum S_{3,4})}{(\eta^2 - \eta_1^2)} \quad (14)$$

Pour n'importe quel autre point où la pesanteur est  $g$ , la constante sera

$$A = A_0 \frac{g}{g_0} \quad (15)$$

Nous donnons dans les tables 1, 2 les résultats de l'étalonnage du gravimètre GS 12 N° 180 sur les plate-formes 12 décrites plus haut (table 1) et 14 (table 2) en novembre 1972.

Le gravimètre a été installé de sorte que l'axe de rotation du pendule soit parallèle au plan de l'inclinaison. Sur le plateau du gravimètre on a installé deux niveaux de 4", longitudinal et transversal. On a déterminé la position du minimum de sensibilité du gravimètre à l'inclinaison suivant les deux axes par le procédé habituel. Ensuite on a déterminé l'angle inconnu  $x$  dans le plan du pendule pour lequel on a effectué  $\pm 1$  et  $\pm 5$  tours de la vis micrométrique. En utilisant les expressions (5) à (13) on a déterminé l'angle  $x$  dans le plan de l'axe de rotation du pendule et on a corrigé la lecture de vis de la valeur  $x$ .

Le 12/11 on a donné à la vis micrométrique de la plate-forme  $\pm 4$  à  $\pm 15$  tours en alternant successivement le signe de l'inclinaison. Cela correspondait à une variation apparente de la pesanteur de 1,9538 à 27,4961 mgals. Le 14/11, on a donné d'abord à la vis des inclinaisons de + 6 à + 16 et ensuite de - 6 à - 16 tours ce qui correspondait à une variation apparente de la pesanteur de 4,3994 à 31,2845 mgals. L'inclinaison maximale du gravimètre ne dépassait pas 27'4. La valeur de division déterminée le 12/11 correspondait exactement à la valeur de division déterminée le 14/11. L'erreur de détermination ne dépasse pas 0,1 %. Ainsi, pour déterminer la division du gravimètre avec une erreur ne dépassant pas 0,1 % il suffit d'une inclinaison d'un angle de 25' à 30'.

L'amplitude du déplacement pour une inclinaison de 27'4 atteignait 7,5 divisions de l'échelle du galvanomètre. Le déplacement du zéro du galvanomètre pouvait influencer la précision, c'est pourquoi il est utile de faire l'étalonnage à l'aide de l'équipement indicateur extérieur de la position du fléau du gravimètre en débranchant le galvanomètre intérieur.

En novembre 1966 on a obtenu sur le polygone gravimétrique de Moscou une valeur de division du gravimètre GS 12 N° 180 égale à 0,1607  $\pm$  0,002 mgal. En novembre 1972 lors de l'étalonnage par inclinaison, on a obtenu 0,1608  $\pm$  0,0001 mgal. Par comparaison avec la valeur de la firme elle a augmenté de 0,00035 mgal.

TABLE 1

Résultats de l'étalonnage du gravimètre N°180 par inclinaison le 12/11/1972

Station Krasnaya Pakhra

Вре- мя	n	$O_r$	r	S	$\Delta S_r$	$S+\Delta S_r$	R	$S+\Delta S_r+R$	$\Sigma S_{\pm n}$	$\Sigma S_{\pm n}-\Sigma S_{\pm n}$	$C \frac{мгл}{дел}$
12 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	0	0,4	0	3352,13	-0,11	3352,02	0	3352,02			
21	-4	2,3	-0,6	3342,3	-0,78	3341,52	-0,07	3341,45	6682,91		
24	+4	-1,5	-7,7	3343,0	-1,40	3341,60	-0,14	3341,46			
27	+6	-2,2	-3,8	3326,8	-0,43	3326,37	-0,21	3326,16			
31	-6	4,3	3,3	3326,8	+0,08	3326,88	-0,28	3326,60	6652,66	30,25	0,1616
34	-8	4,4	1,2	3306,7	-0,76	3305,94	-0,35	3305,59	6610,84	72,07	0,1617
37	+8	-3,2	-7,4	3306,7	-1,03	3305,67	-0,42	3305,25			
40	+9	-3,6	-2,2	3291,7	+3,38	3292,08	-0,50	3291,58	6583,69	99,02	0,1601
43	-9	4,5	0,0	3293,9	-1,22	3292,68	-0,57	3292,11			
46	-10	5,0	4,5	3278,9	-0,14	3278,76	-0,64	3278,12	6555,75	127,16	0,1614
49	+10	-4,0	-3,1	3278,9	-0,57	3278,33	-0,70	3277,63			
52	+11	-4,4	-1,3	3260,8	+0,84	3261,64	-0,77	3260,87	6522,39	160,52	0,1599
55	-11	5,6	6,2	3262,2	+0,16	3262,36	-0,84	3261,52			
58	-12	6,0	6,0	3245,0	+0,24	3245,24	-0,91	3244,33	6487,95	194,96	0,1605
13 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	+12	-5,0	-3,5	3245,0	-0,40	3244,60	-0,98	3243,62			
04	+13	-5,4	-3,9	3226,8	-0,94	3225,86	-1,05	3224,81	6450,45	232,36	0,1609
07	-13	5,4	3,2	3226,8	-0,05	3226,75	-1,11	3225,64			
10	-14	5,7	0,0	3209,0	-1,94	3207,06	-1,18	3205,88	6410,13	272,78	0,1613
14	+14	-5,8	-3,7	3206,3	-0,78	3205,52	-1,27	3204,25			
18	+15	-6,2	-3,3	3182,7	-0,03	3182,67	-1,36	3181,31	6363,92	318,99	0,1601
22	-15	7,2	4,3	3184,3	-0,24	3184,06	-1,45	3182,61			
26	0	0,4	-0,5	3353,8	-0,24	3353,56	-1,54	3352,02			

 $C_{\text{ср.}} = 0,1608 + 0,0002 (\pm 0,1\%) \text{ мгл/дел.}$ 

Remarque :  $O_r$  est la position du zéro du galvanomètre sur l'échelle; r est la lecture du galvanomètre; S est la lecture micrométrique;  $S_r$  est la correction de la différence  $r - O_r$ ; R est la dérive du zéro.

TABLE 2

Résultats de l'étalonnage du gravimètre N°180 par inclinaison le 14/11/1972

Station Krasnaya Pakhra

Вре- мя	n	$O_r$	r	S	$\Delta S_r$	$S+\Delta S_r$	R	$S+\Delta S_r+R$	$\Sigma S_{\pm n}$	$\Sigma S_{\pm n}-\Sigma S_{\pm n}$	$C \frac{мгл}{дел}$
11 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	0	+0,4	-1,0	3354,0	-0,38	3353,62	0	3353,62	-	-	-
14	6	-2,4	+1,5	3324,9	+1,38	3326,28	-0,02	3326,26	6653,63	-	-
17	7	-2,9	-0,5	3315,6	+0,70	3316,30	-0,03	3316,27	6633,85	19,78	0,1606
20	8	-3,3	-4,3	3305,0	-0,27	3304,73	-0,05	3304,68	6610,95	42,68	0,1608
22	9	-3,7	-5,6	3292,3	-0,78	3291,52	-0,06	3291,46	6584,94	68,69	0,1601
25	10	-4,2	-5,0	3277,0	-0,22	3276,78	-0,08	3276,70	6556,19	97,44	0,1605
28	11	-4,8	-5,2	3261,2	-0,11	3261,09	-0,09	3261,00	6524,59	129,04	0,1608
31	12	-5,4	-5,0	3242,9	+0,11	3243,01	-0,11	3242,90	6489,28	164,35	0,1606
34	13	-5,8	-5,7	3224,5	+0,03	3224,53	-0,12	3224,41	6451,37	202,26	0,1607
37	14	-6,2	-6,2	3203,9	0,0	3203,90	-0,13	3203,77	6411,01	242,62	0,1612
40	15	-6,6	-7,2	3181,3	-0,16	3181,14	-0,14	3181,00	6367,06	286,57	0,1612
42	16	-7,0	-7,1	3157,5	-0,03	3157,47	-0,15	3157,31	6319,99	333,64	0,1612
45	0	+0,4	-1,1	3354,2	-0,40	3353,80	-0,18	3353,62			
47	-6	+2,4	+1,3	3328,0	-0,43	3327,57	-0,20	3327,37			
49	-7	+3,4	+0,8	3318,5	-0,70	3317,80	-0,22	3317,58			
51	-8	+3,9	+2,1	3307,0	-0,49	3306,51	-0,24	3306,27			
54	-9	+4,3	+5,0	3293,6	+0,14	3293,74	-0,26	3293,48			
56	-10	+5,1	+5,0	3279,8	-0,03	3279,77	-0,28	3279,49			
58	-11	+5,6	+5,2	3264,0	-0,11	3263,89	-0,30	3263,59			
12 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	-12	+6,1	+8,2	3245,1	+0,60	3245,70	-0,32	3245,38			
02	-13	+6,6	+7,0	3227,2	+0,11	3227,31	-0,35	3226,96			
04	-14	+7,0	+5,2	3208,1	+0,49	3207,61	-0,37	3207,24			
06	-15	+7,5	+5,3	3187,0	-0,54	3186,46	-0,40	3186,06			
08	-16	+8,0	+6,4	3163,0	+0,11	3163,11	-0,43	3162,68			
11	0	+0,4	+0,7	3354,0	+0,03	3354,08	-0,46	3353,62			

 $C_{\text{ср.}} = 0,1608 \pm 0,0001 (\pm 0,06\%) \text{ мгл/дел.}$

Le gravimètre GS 12 N° 180 a été étalonné par inclinaison suivant le plan de l'axe de rotation du pendule. La valeur obtenue (0,1347 ± 0,0002 mgal/div.) témoigne de ce que le procédé d'étalonnage par inclinaison dans le plan de l'axe de rotation n'est pas applicable pour les gravimètres "Askania". Il semble que dans ce cas le ressort principal se déforme le long de l'axe de rotation. Cette déformation provoque une rotation du pendule qui diminue la valeur de division.

La constante de la plate-forme clinométrique à Krasnaya Pakhra a été trouvée égale à 0,2439 ± 0,0002 mgal.

Lors de la détermination de l'échelle d'enregistrement par inclinaison, le pendule n'est pas mis dans la position de départ à l'aide du ressort de mesure. C'est pourquoi lors de l'inclinaison d'angles  $\pm \alpha$  et  $\pm \alpha_1$  apparaissent des variations apparentes de la force de pesanteur égales à

$$\Delta g_1 = \frac{1}{2} g (\alpha + x + i_1)^2 \quad (16)$$

$$\Delta g_2 = \frac{1}{2} g (\alpha - x - i_2)^2 \quad (17)$$

$$\Delta g_3 = \frac{1}{2} g (\alpha_1 + x + i_3)^2 \quad (18)$$

$$\Delta g_4 = \frac{1}{2} g (\alpha_1 - x - i_4)^2 \quad (19)$$

où  $L_{1-4}$  est la variation de l'angle de l'inclinaison du pendule par rapport au photoélément.

Pour  $+n$  l'angle  $i$  est égal

$$i_{+n} = \frac{1}{2} g (L+x)^2 \frac{d\beta}{dg} \left[ 1 + \frac{1}{4} g^2 (L+x)^2 \left( \frac{d\beta}{dg} \right)^2 + \dots \right] \quad (20)$$

Pour  $-n$ , l'angle  $i$  est égal

$$i_{-n} = \frac{1}{2} g (L-x)^2 \frac{d\beta}{dg} \left[ 1 - \frac{1}{4} g^2 (L-x)^2 \left( \frac{d\beta}{dg} \right)^2 + \dots \right] \quad (21)$$

où  $\frac{d\beta}{dg} = 6,4 \cdot 10^{-6}$  mgal est la sensibilité angulaire du système élastique du gravimètre GS 11.

Avec une sensibilité à la sortie de 300 à 350 mm/mgal et une largeur d'enregistrement de 280 mm l'inclinaison qu'on peut donner au gravimètre pour la détermination de l'échelle n'est que de  $\pm 200''$  ou  $\pm 2$  tours de la vis micrométrique de la plate-forme clinométrique. C'est pourquoi le second membre de l'expression (20) et (21) ne sera pas supérieur à  $1.10^{-5}$  et on peut admettre

$$i_{+n} = \frac{1}{2} g (d-x)^2 \frac{d\beta}{dg}, \quad (22)$$

$$i_{-n} = \frac{1}{2} g (d-x)^2 \frac{d\beta}{dg}. \quad (23)$$

Comme on l'a noté plus haut, l'angle  $x$  peut être déterminé avec une précision de  $0''1$ . C'est pourquoi si dans les expressions (16) à (19)  $\alpha = 50''$  et  $\alpha_1 = 200''$  on peut admettre  $i_1 = i_2$  avec une erreur ne dépassant pas  $0''002$  et  $i_3 = i_4$  avec une erreur de pas plus de  $0,001$  sec. d'arc.

TABLE 3

Résultats de la détermination de la constante de la plate-forme clinométrique d'après la valeur de division du gravimètre  $C = 0,16045$  mgal/div.

$\sum S_{1,2} - \sum S_{3,4}$	$n^2 - n_1^2$	$C(\sum S_{1,2} - \sum S_{3,4})$	$A_0$	$\sum S_{1,2} - \sum S_{3,4}$	$n^2 - n_1^2$	$C(\sum S_{1,2} - \sum S_{3,4})$	$A_0$
30,25	20	4,8536	0,2427	68,69	45	11,0213	0,2449
72,07	48	11,5533	0,2409	97,44	64	15,6342	0,2443
99,02	65	15,8378	0,2444	129,04	85	20,7045	0,2436
127,16	84	20,4028	0,2429	164,35	108	25,3700	0,2442
160,52	105	25,7554	0,2452	202,26	133	32,4526	0,2440
194,96	128	31,2913	0,2444	242,62	160	38,9284	0,2433
234,46	153	37,6191	0,2459	286,57	189	45,9802	0,2433
272,78	180	43,7676	0,2431	333,64	220	53,5325	0,2433
318,99	209	51,1819	0,2449				
19,78	13	3,1737	0,2441				
42,68	28	6,8480	0,2446				

$A_{0CP} = 0,2439 \pm 0,0002 (\pm 0,1\%)$ .

Pour des inclinaisons  $\pm\alpha$  et  $\pm\alpha_1$  on donne les écarts dans les points avec les ordonnées  $y_1, y_2, y_3$  et  $y_4$  correspondant aux variations apparentes de la force de pesanteur  $\Delta g_1, \Delta g_2, \Delta g_3$ , et  $\Delta g_4$ . Si on prend comme courbe de réduction  $y_0$  la courbe de variation de marées, on élimine des écarts les variations de marées et on peut écrire la dérive :

$$K \Delta y_1 = \Delta g_1 = \frac{1}{2} g (\alpha + x + i_1)^2 \quad (24)$$

$$K \Delta y_2 = \Delta g_2 = \frac{1}{2} g (\alpha - x - i_1)^2 \quad (25)$$

$$K \Delta y_3 = \Delta g_3 = \frac{1}{2} g (\alpha_1 + x + i_3)^2 \quad (26)$$

$$K \Delta y_4 = \Delta g_4 = \frac{1}{2} g (\alpha_1 - x - i_3)^2 \quad (27)$$

où  $K$  est le coefficient de transformation de l'échelle de l'enregistrement, MKgal/mm

$$\Delta y_1 = y_1 - y_0; \Delta y_2 = y_2 - y_0; \Delta y_3 = y_3 - y_0; \Delta y_4 = y_4 - y_0.$$

En sommant (24) et (25), (26) et (27) et en retranchant la première somme de la seconde, nous obtiendrons

d'où

$$K(\sum \Delta y_{3,4} - \sum \Delta y_{1,2}) = g(\alpha_1^2 + i_3^2 + 2xi_3 - \alpha^2 - i_1^2 - 2xi_1),$$

$$K = \frac{g(\alpha_1^2 + i_3^2 + 2xi_3 - \alpha^2 - i_1^2 - 2xi_1)}{\sum \Delta y_{3,4} - \sum \Delta y_{1,2}} \quad (28)$$

Les angles inconnus  $x_1, i_1, i_3$  sont déterminés par les expressions (13) et (22).

Pour de petits angles d'inclinaison et une petite erreur de détermination de l'angle  $x$  toutes les valeurs entre parenthèses de l'expression (28), excepté  $\alpha_1^2$  et  $\alpha^2$ , seront très faibles si la sensibilité angulaire du gravimètre n'est pas de plus de 2" à 3"/mgal. C'est pourquoi l'expression (28) peut être simplifiée.

La sensibilité angulaire du gravimètre GS 11 (12) est égale à 1"3/mgal. C'est pourquoi si  $\pm \alpha = 50''$ ,  $\pm \alpha_1 = 200''$ , dans l'expression (28) on peut prendre  $x = i_1 = i_3 = 0$  même pour  $x = 10''$ .

L'erreur de détermination de la variation apparente de la force de pesanteur  $\Delta g$  sera ainsi égale à 0,0003 mgal, soit 0,03 % g.

L'expression (28) prend la forme

$$K = g \frac{\alpha_1^2 - \alpha^2}{\sum \Delta y_{3,4} - \sum \Delta y_{1,2}} = A \frac{n_1^2 - n^2}{\sum \Delta y_{3,4} - \sum \Delta y_{1,2}} \quad (29)$$

Plus est élevée la sensibilité angulaire du gravimètre plus sera précise la détermination de l'angle  $x$ .

Par exemple, si la sensibilité angulaire du gravimètre est égale à 10"/mgal et qu'il faut obtenir  $\Delta g$  par équation (29) avec une erreur de 0,03 %, alors l'angle  $x$  ne doit pas être de plus de 1".

Avec une sensibilité angulaire du gravimètre dépassant 10"/mgal même avec une détermination précise de l'angle  $x$ , il faut tenir compte de  $i_1$  et  $i_3$  pour obtenir  $\Delta g$  avec haute précision, c'est-à-dire se servir de l'expression

$$K = g \frac{(\alpha_1^2 + i_3^2 - \alpha^2 - i_1^2)}{\sum \Delta y_{3,4} - \sum \Delta y_{1,2}} \quad (30)$$

Avec une sensibilité angulaire du gravimètre dépassant 100"/mgal, le second terme des expressions (20) et (21) pour  $\alpha_1 = 200''$  représente 5% du premier terme, c'est pourquoi il ne faut pas tenir compte de  $i_3 = i_4$ . Alors l'expression (28) prend la forme

$$K = g \frac{\{[\alpha_1^2 + \alpha_1(i_3 - i_4) + \alpha(i_3 + i_4) - (\alpha^2 + 2\alpha i_1 + i_1^2)] + \frac{1}{2}(i_3^2 + i_4^2)\}}{\sum \Delta y_{3,4} - \sum \Delta y_{1,2}} \quad (31)$$

TABLE 4

Résultats de la détermination de K pour le gravimètre N° 180  
Station Krasnaya Pakhra, 1971

Méthode de B.P. Pertsev		Méthode par inclinaison	
Epoque	K, $\frac{\mu\text{gal}}{\text{mm}}$	Epoque	K, $\frac{\mu\text{gal}}{\text{mm}}$
24.II	2,544	20.VII	2,716
23.III	2,698	23.VII	2,711
31.III	2,684	25.VII	2,723
1.IV	2,675	26.VII	2,753
2.IV	2,686	30.VII	2,701
24.V	2,908	31.VII	2,762
6.VI	2,917	1.IX	2,813
14.VI	2,750	2.IX	2,757
25.VI	2,435	3.IX	2,751
22.VII	2,650	8.IX	2,789
4.XII	2,744	10.IX	2,752
Moyenne	2,699 $\pm$ 0,039		2,748 $\pm$ 0,010

Ainsi il convient de déterminer les angles  $i_3$  et  $i_4$  dans l'expression (31) en tenant compte de (20) et (21).

Le coefficient K a été déterminé d'après la formule (29) par inclinaison du gravimètre; on a donné à la vis micrométrique de la plate-forme clinométrique  $\pm 0,5$  et  $\pm 1,5$  tours. Après réglage préliminaire du gravimètre sur le minimum de sensibilité à l'inclinaison, on a déterminé par le procédé habituel l'angle  $\alpha$  dans le plan du pendule et dans le plan de l'axe de rotation du pendule par l'inclinaison de la plate-forme de  $\pm 20''$ . Les variations apparentes de la force de pesanteur ont été enregistrées directement. L'erreur de détermination  $\alpha$  ne dépassait pas  $2''$  à  $3''$ . La valeur de la division du gravimètre pour la détermination de K par la méthode de B.P. Pertsev est égale à  $0,1608$  mgal. Les variations apparentes de la force de pesanteur lors de la détermination de K par inclinaison du gravimètre était égale à  $0,48882$  mgal le 15/4/1972. Pour des raisons techniques, il y a eu une variation de la sensibilité du gravimètre c'est pourquoi les valeurs K dans les tables 3 et 4 sont différentes.

Comme nous le constatons par les tables, l'erreur de détermination de K par l'inclinaison du gravimètre est plusieurs fois moindre que par la méthode de B.P. Pertsev ce qu'on peut expliquer par la grande erreur relative de la mesure micrométrique lors des "déplacements". L'écart maximum à la moyenne lors de la détermination K par inclinaison est, dans la table 4, de 2,4 % et dans la table 5 de 1,7 %. L'écart maximum à la moyenne par la méthode de B.P. Pertsev est dans la table 4 de 9,8 % et dans la table 5 de 12,0 %.

Ce qui est important lors de la détermination de K par la méthode de l'inclinaison c'est qu'ainsi il ne faut pas connaître la valeur de division. Le coefficient K a été obtenu également avec l'utilisation de l'expression

$$K = \frac{An^2}{\sum \Delta y_{3,4}} \quad \text{ou} \quad K = \frac{An^2}{\sum \Delta y_{1,2}}$$

cependant la valeur ainsi obtenue est nettement exagérée (table 6).

On peut supposer que lors de l'étalonnage par inclinaison il y a dans les indications du gravimètre GS 12 N° 180 des perturbations semblables pour les petites et les grandes inclinaisons. Lors de la détermination séparée de K les perturbations ne s'éliminent pas, elles augmentent K. Si la valeur de ces indications est constante alors leur influence est d'autant plus grande qu'est petite l'inclinaison, ce qu'on constate par la table 6. Lors de la réduction simultanée des petites et grandes inclinaisons, ces perturbations s'éliminent et la valeur K doit être petite (voir tables 4, 5). La détermination de la variation relative de la sensibilité du gravimètre par l'inclinaison est très utile.

La méthode de détermination de la variation relative de la sensibilité est très simple. Le gravimètre est installé sur n'importe quelle plate-forme munie d'une vis avec un pas de 0,5 à 1,0 mm et est réglé sur le minimum de sensibilité à l'inclinaison. On donne à l'une des vis un ou plusieurs tours (en fonction de la valeur du pas de la vis). L'enregistre-

ment de la courbe de marée se déplace de  $\Delta y_1$  par rapport à la position de départ. Après un certain temps on donne à la vis une quantité double de tours dans la direction opposée. La courbe se déplace de  $\Delta y_2$  par rapport à la position de départ. Si on ramène la plate-forme dans la position de départ, la courbe se déplace vers le niveau de départ en tenant compte de la dérive et des marées au moment de l'étalonnage.

Posons  $\Delta y_0 = \frac{1}{2} (\Delta y_1 + \Delta y_2)$ . On peut donner des inclinaisons de contrôle au gravimètre et comparer les demi-sommes des paires de déplacements obtenues en contrôlant de cette façon la stabilité de la sensibilité. Les inclinaisons de contrôle peuvent se faire tous les deux à trois jours, elles n'altèrent pas la qualité de l'enregistrement. Après le retour de la vis dans la position de départ la courbe de marée se déplace exactement vers le niveau de départ ce qui est pratiquement impossible à atteindre lors du déplacement à l'aide du micromètre (voir table 7 : la détermination de la variation de sensibilité du gravimètre GS 12 N° 180).

TABLE 5

Résultats de la détermination de K du gravimètre N° 180  
Station Krasnaya Pakhra, 1972

Méthode de B.P. Pertsev		Méthode par inclinaison	
Epoque	$K_1 \frac{\mu\text{gal}}{\text{mm}}$	Epoque	$K_1 \frac{\mu\text{gal}}{\text{mm}}$
1.Y	2,768	18.IV	2,897
3.Y	2,927	20.IV	2,959
4.Y	3,088	21.IV	2,952
5.Y	2,855	24.IV	2,909
10.Y	2,959	25.IV	2,834
12.Y	2,545	26.IV	2,927
15.Y	2,943	27.IV	2,875
16.Y	3,097	28.IV	2,941
17.Y	3,027	29.IV	2,885
18.Y	2,956	3.Y	2,918
19.Y	2,975	5.Y	2,892
20.Y	2,771	10.Y	2,901
21.Y	2,885	12.Y	2,909
22.Y	2,999	15.Y	2,892
23.Y	2,618	17.Y	2,889
Moyenne	<u>2,894±0,041</u>		<u>2,908±0,007</u>

TABLE 6

Résultats de la détermination de K du gravimètre N°180 par inclinaison  
 Station de Krasnaya Pakhra, 1972  
 ( $\Delta g_{nl}$ , mgal = 0,5499225,  $\Delta g_n$  mgal = 0,0611025)

Epoque	mm	K, $\frac{MKgal}{mm}$	mm	K, $\frac{MKgal}{mm}$
18.IY	189,6	2,900	20,3	3,010
20.IY	185,0	2,973	19,8	3,086
21.IY	185,0	2,973	19,4	3,150
24.IY	187,5	2,933	19,5	3,184
25.IY	189,5	2,902	20,0	3,055
26.IY	187,0	2,937	20,0	3,055
27.IY	189,0	2,906	19,0	3,216
28.IY	185,2	2,969	19,0	3,216
29.IY	188,5	2,917	19,1	3,199
3.IY	187,0	2,937	19,5	3,194
5.IY	189,0	2,906	20,0	3,055
10.Y	187,0	2,937	18,5	3,303
12.Y	186,5	2,949	18,5	3,303
15.Y	189,5	2,902	20,5	2,991
17.Y	189,5	2,902	20,3	3,010
Moyenne		2,930 ±0,007		3,125 +0,027

TABLE 7

Résultats de la détermination du coefficient de variation  
 de sensibilité du gravimètre N° 180

Epoque	$\Delta y_1$ MM	$\Delta y_2$ MM	$\Delta y_{cp}$ MM	$B = \frac{\Delta y_0}{\Delta y_{cp}}$	Epoque	$\Delta y_1$ MM	$\Delta y_2$ MM	$\Delta y_{cp}$ MM	$B = \frac{\Delta y_0}{\Delta y_{cp}}$
18.IY 1972	101,0	88,6	94,8	1,000	29.IY 1972	100,2	88,3	94,2	1,007
20.	96,5	88,5	92,5	1,024	3.Y	100,5	86,5	93,5	1,014
21.	95,0	90,0	92,5	1,024	5.	100,0	89,0	94,5	1,003
24.	98,7	88,8	93,8	1,011	10.	98,5	88,5	93,5	1,014
25.	99,0	90,5	94,8	1,000	12.	97,5	89,0	93,2	1,017
26.	99,5	87,5	93,5	1,014	15.	94,0	95,5	94,8	1,000
27.	101,5	87,5	94,5	1,003	17.	93,5	96,0	94,8	1,000
28.	100,0	85,2	92,6	1,024					

La variation de la sensibilité a un caractère accidentel non périodique. Elle ne dépasse pas 2,4 % et se trouve dans les limites de précision de la mesure des ordonnées de la courbe de marée. Aussi peut on considérer que la sensibilité était constante.

Comme l'ont montré les recherches des déformations de température de la surface de la Terre faites dans la station gravimétrique de Krasnaya Pakhra [3] les inclinaisons journalières des stations à 1 ou 1,5 m de profondeur peuvent atteindre 3" à 4" et les inclinaisons saisonnières jusqu'à quelques dizaines de secondes d'arc. C'est pourquoi il faut constamment suivre la position du niveau du gravimètre et ramener le gravimètre sur le minimum de sensibilité à l'inclinaison. La réalisation de cette condition aidera à augmenter la précision de détermination du coefficient de sensibilité du gravimètre, à diminuer les erreurs provoquées par les déformations de température. En 4 à 5 jours l'inclinaison du gravimètre peut atteindre 10" à cause des déformations saisonnières de température de la surface de la Terre. Cela amène à une variation du coefficient  $B$  de 10% si on détermine sa valeur d'après des inclinaisons isolées du gravimètre.

Si dans la table 7 on détermine le coefficient  $B$  d'après  $\Delta y_1$  alors la variation maximum de  $B$  atteint 8 %. Dans la détermination de  $B$  d'après  $\Delta y_2$  la variation maximum est de 12 %.

Les inclinaisons périodiques du gravimètre de  $\pm n$  tours de la vis de la plate-forme sont utiles non seulement pour déterminer le coefficient mais également pour déterminer la position du gravimètre par rapport au minimum de sensibilité à l'inclinaison. Si la sensibilité du gravimètre à la sortie est de 300 mm/mgal et les inclinaisons de contrôle du gravimètre sont égales à  $\pm 200''$  alors la déclinaison du gravimètre dans la position de départ, en tout 1", donne une différence entre  $\Delta y_1$  et  $\Delta y_2$  de 3 mm. Si la précision de calcul sur l'enregistrement est de  $\pm 0,5$  mm on peut ramener le gravimètre sur le minimum de sensibilité à l'inclinaison avec une précision de 0"3. Habituellement la valeur de division du niveau du gravimètre est de 60" et la précision de calcul d'après les niveaux ne dépasse pas 0,2 division ou 12". C'est pourquoi on ne peut garantir à l'aide de ces niveaux une haute précision de réglage du gravimètre sur le minimum de sensibilité à l'inclinaison.

On peut exprimer la valeur des perturbations du gravimètre dues aux inclinaisons de température journalières du socle par la formule

$$\Delta g = \frac{1}{2} g (\psi^2 + 2\psi\alpha) \quad (32)$$

où  $\psi$  est l'inclinaison du gravimètre,  $\alpha$  est la précision de réglage du gravimètre dans la position du minimum de sensibilité à l'inclinaison.

Erreurs possibles dans les indications du gravimètre provoquées par les inclinaisons journalières du socle pour différentes positions du pendule

$\psi$	2	2	2	2	2	2	2
$\alpha$	0	5	10	15	20	25	30
$\Delta g$	0,046	0,276	0,507	0,738	0,968	1,199	1,429
$\alpha$	0,1	0,6	1,6	1,6	2,1	2,6	3,1

Ici  $\psi$  et  $\alpha$  sont donnés en sec. d'arc,  $\psi$  est pris constant et égal à 2 sec. d'arc.  $\Delta g$  - en mKgal,  $\alpha$  est le rapport de l'amplitude des perturbations à l'amplitude de l'onde  $K_1$  pour Krasnaya Pakhra, en %;  $K = 45,80 \mu\text{gal}$  [4].

En trois à quatre semaines pendant la période d'été le gravimètre peut s'incliner de 30 à 40 sec. d'arc à la suite des déformations saisonnières. C'est pourquoi s'il n'y a pas de contrôle constant de la position du niveau les résultats des observations peuvent être sensiblement altérés. Même dans le cas idéal où le gravimètre est ramené avec précision dans la position du minimum de sensibilité à l'inclinaison ( $\alpha = 0$ ), l'amplitude de la perturbation à cause des déformations journalières de température peut être de 0,046  $\mu\text{gal}$  soit 0,1 % de l'onde  $K_1$ .

Il faut avoir dans chaque station de marée une paire de clinomètres pour mesurer les deux composantes des inclinaisons du socle dans des azimuts perpendiculaires. Si le clinomètre mesure l'inclinaison du socle avec une erreur de 0"1 cela donne une erreur de détermination de l'amplitude

de la perturbation pour  $\alpha$  égale à  $30''$  et  $\psi$  égale à  $3''$ , soit seulement  $0,08 \mu\text{gal}$  ou  $0,2 \%$  de l'amplitude de l'onde  $K_1$ .

Pour enregistrer les inclinaisons de température des socles on peut employer les clinomètres en quartz de construction simple avec suspension Zöllner ayant de grandes périodes d'oscillations propres.

Institut de Physique de la Terre  
Ac. des Sc. d'Ukraine.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. PERTSEV B.P.  
Recherches gravimétriques, 1 série AGI. Edit. Ac. des Sc. URSS, M 1960
2. VESSELOV K.E.  
Gravimètres en quartz astatisés. Edit. Etat., M, 1961.
3. GRIDNIEV D.G.  
Inclinaisons de température de la surface de la Terre et perturbations provoquées par elles dans les inclinaisons des gravimètres de marées.  
Sous presse.
4. GRIDNIEV D.G.  
Marées terrestres et structure interne de la Terre "Naouka" M, 1967.

CAPTEURS DE DEPLACEMENT ELECTRO-MECANIKES  
EMPLOYES POUR MESURER DES MICRODEPLACEMENTS

par C. THIRY

Observatoire Royal de Belgique - Département I

-----

1. INTRODUCTION

Nous utilisons ces capteurs notamment pour l'étude de la marée extensométrique [1]. Ils doivent donc nous permettre de mesurer des déplacements de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-8} \times 24$  m, c'est-à-dire 12.000 Å jusqu'à  $5 \cdot 10^{-8} \times 3$  m c'est-à-dire 1500 Å.

Le transformateur différentiel linéaire (L.V.D.T.) [2] est un capteur électromécanique qui produit une sortie électrique proportionnelle au déplacement d'un noyau séparé, mobile. Le capteur, cylindrique, est constitué de trois bobines espacées de manière égale et au centre desquelles se meut un noyau magnétique disposé axialement.

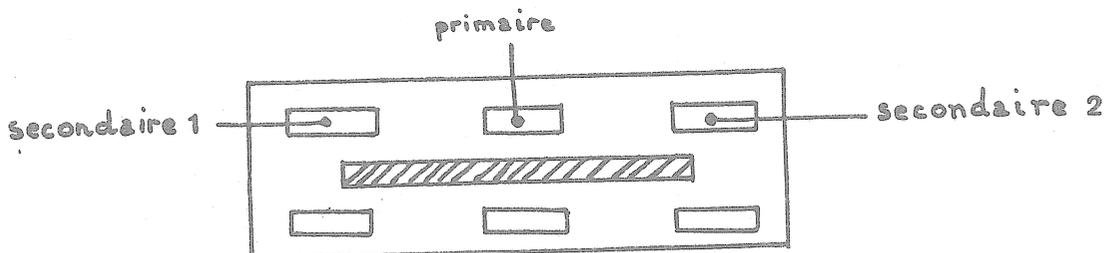


FIG.1

Les secondaires un et deux sont reliés en série et en opposition; la sortie est la différence entre ces deux tensions qui sont de phases opposées. Pour la seule position centrale du noyau on aura une sortie nulle : ce sera la position d'équilibre, le zéro de la sonde. En fait la tension de sortie ne passe pas exactement par un zéro car il y a toujours des tensions résiduelles. Pour des applications aussi précises que les nôtres il faudra prendre des précautions à ce sujet. On appellera domaine de linéarité celui qui s'étend de part et d'autre du zéro et donne une sortie proportionnelle. Le degré de linéarité à l'intérieur du domaine de linéarité est défini comme l'écart maximum de la courbe exprimant la sortie en fonction du positionnement du noyau par rapport à la ligne droite passant par l'origine et donnant les écarts minima de part et d'autre. Il s'exprime en % à la sortie pour la course nominale. Pour beaucoup de L.V.D.T. standard la linéarité est de  $\pm 0,5\%$  ou mieux. La sensibilité du capteur s'exprime en volt/mm ou mV/micron à une tension d'alimentation précisée. Lorsque la micro-sonde est alimentée, le noyau est soumis à deux forces l'une axiale, l'autre radiale. Dans les conditions dans lesquelles nous travaillons, il est nécessaire de prendre garde à guider le noyau dans l'axe du déplacement. Le plus petit déplacement latéral déclenchera le mouvement du noyau vers la paroi la plus proche de l'alésage de la bobine et nous aurons une variation de la sensibilité. Chaque micro-sonde possède un ressort qui fournit la force de rappel nécessaire à la ramener dans sa position initiale.

#### Influences de l'environnement

- La température de fonctionnement peut varier de  $-65^{\circ}\text{C}$  à  $+285^{\circ}\text{C}$ .  
Une augmentation de température provoque une élévation de la résistance du fil de cuivre des bobines du capteur et donc une augmentation de l'impédance primaire : on constate alors une réduction de la sensibilité.
- Pour éviter les problèmes causés par l'humidité, les enroulements sont imprégnés sous vide d'un vernis d'isolement qui protège également de l'influence nocive d'alternance de température dans un domaine de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $+93^{\circ}\text{C}$ . En cas d'emploi dans des conditions de forte humidité on peut obtenir des enroulements protégés par des résines d'imprégnation ou du vernis silicone.

- On peut également se procurer des micro-sondes dont le boîtier est blindé contre les effets magnétiques.

Le fait de brancher la sortie de la micro-sonde sur un enregistreur ou un appareil de mesure peut provoquer des erreurs dues à la haute impédance de sortie du capteur. On constate également une ondulation résiduelle provenant de l'oscillateur. Enfin une variation de la tension d'alimentation provoque une modification de la sensibilité. L'emploi d'une plaque d'alimentation N.[3] est un remède à ces trois inconvénients car elle comporte : un transformateur d'impédance, un filtre actif et une alimentation stabilisée. Elle se présente sous forme d'une plaque à onze sorties et possédant deux résistances variables ou trimmers :

- le trimmer 1 permet de décaler le zéro
- le trimmer 2 permet de faire varier la tension de sortie de l'alimentation de 17V à 21V et par ce fait la sensibilité de la sonde

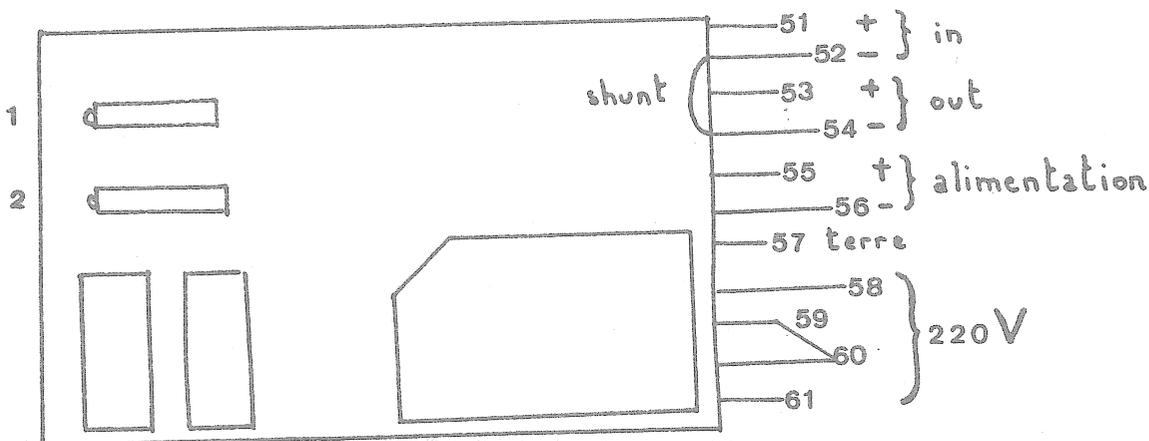


FIG.2

L'étude de la stabilité de la tension d'alimentation en fonction du temps sur une période de deux mois montre une variation de  $\pm 0,01889$  volt pour une tension de 19V00619 soit 0,09 %.

## 2. CALIBRATION

Les micro-sondes nous sont fournies avec un coefficient de sensibilité établi par des déplacements de plusieurs mm. Comme nous désirons travailler dans un domaine de déplacements de l'ordre de  $10.000 \text{ \AA}$  il nous faut procéder à une calibration à l'aide de micro-déplacements.

### 2.1. Calibration à l'aide de la "base micro-sonde"

#### A. Description de la "base"

Nous appelons "base micro-sonde" le dispositif suivant réalisé à l'Observatoire. Le capteur est disposé verticalement et maintenu par un anneau vissé : sa pointe est munie d'une tête plate qui repose sur une bille disposée dans le cratère d'une crapaudine dilatée à mercure [4]. Grâce à un godet de mercure décrivant des cercles verticaux de 1 m de diamètre, nous faisons osciller la membrane de la crapaudine et par suite la tête de la micro-sonde. Nous pouvons ainsi réaliser des déplacements de l'ordre du micron.

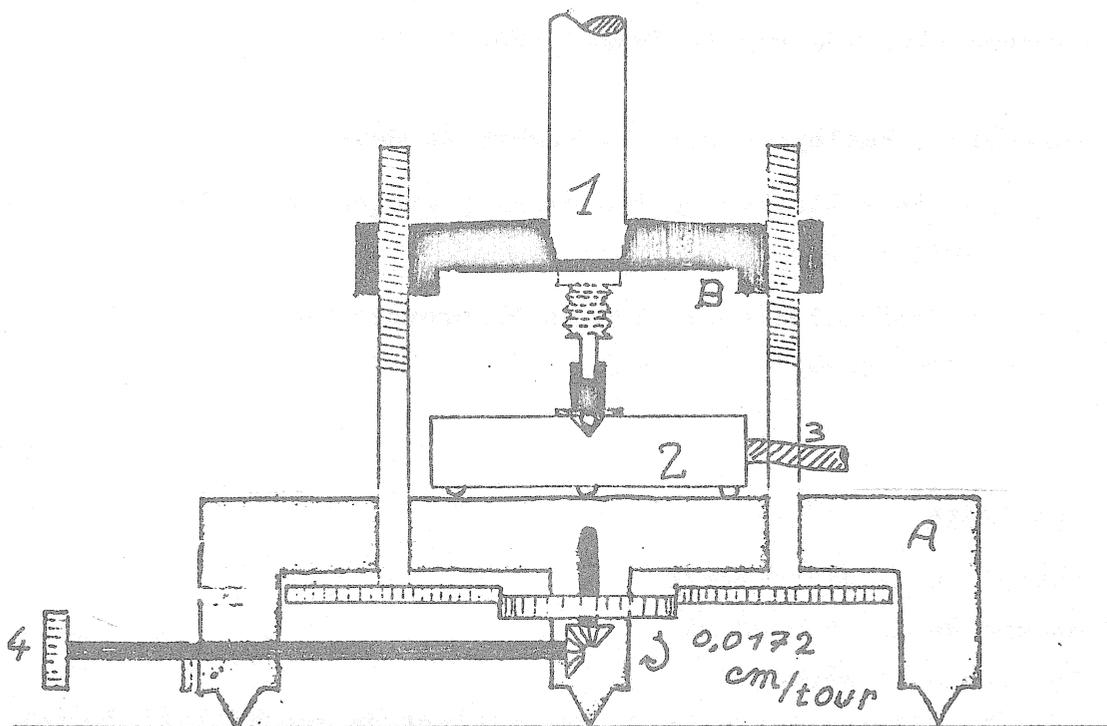


fig. 3

1. Micro-sonde
2. Crapaudine dilatable
3. Arrivée de mercure
4. Bouton permettant par un système de roues dentées de monter ou descendre le plateau B (0,0172 cm/tour)

### B. Dispositif expérimental

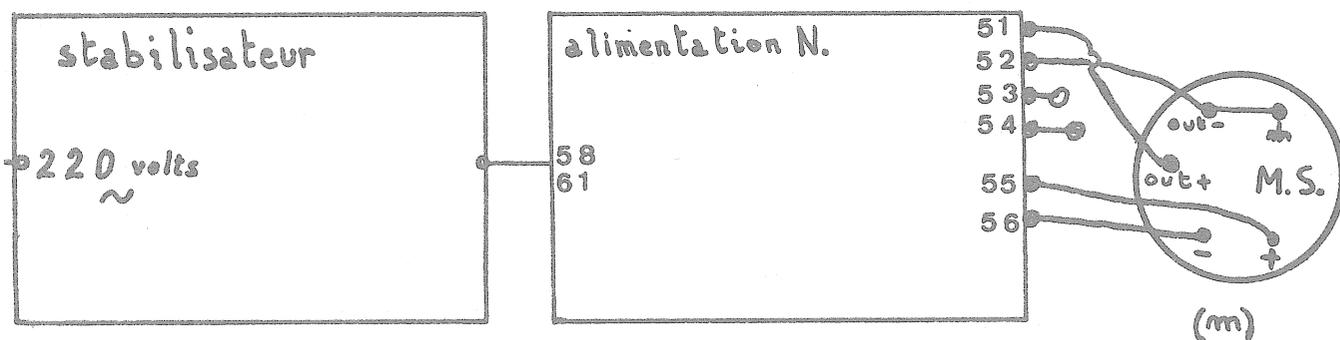


FIG.4

53-54 sont reliés par un filtre 50 Hz à un enregistreur (m) micro-sonde disposée sur la "base" décrite en A.

Les crapaudines employées sont au nombre de deux :

- $C_0$  : une dénivellation de 100 cm Hg provoque un déplacement de 0,9263 micron
- $C_{121}$  : une dénivellation de 100 cm Hg provoque un déplacement de 1,0724 micron.

### C. Résultats

- MS : numéro de la micro-sonde
- Cr : numéro de la crapaudine
- $V_{\text{alim}}$  : tension d'alimentation
- $C_F$  : Calcul effectué à partir du coefficient de sensibilité du fabricant
- $C_E$  : résultat expérimental

MS	CR	V.ALIM.	CF	CE		CE/CF
				E.Q.M.	E.REL.%	
431-636	C000	24.	4,131			
431-636	C000	19,5	3,357	3,18	0,01	0,4
431-636	C121	24,02	4,783	4,52	0,03	1
431-636	C121	21.	4,185	3,94	0,03	0,7
431-636	C121	19,37	3,860	3,66	0,01	0,2
431-636	C121	18.	3,587	3,37	0,03	1
431-593	C000	24.	4,177			
431-593	C000	19,16	3,335	3,11		
431-593	C121	24,02	4,836	4,50	0,02	0,3
431-593	C121	21,09	4,251	3,95	0,02	0,6
431-593	C121	20,04	4,038	3,74	0,12	3
431-593	C121	19.	3,829	3,54	0,03	0,3

Tableau 1

## 2.2. Calibration à l'aide de la "barre extensométrique"

### A. Description du dispositif expérimental

Cette barre simule en laboratoire un extensomètre horizontal. Les déplacements sont provoqués par une vis dont le pas est de 0,5 mm. Nous avons réalisé un support permettant d'utiliser deux micro-sondes en opposition pour mesurer le même déplacement. Ce support est constitué d'une masse cylindrique creusée en son centre sur une profondeur de 2,5 cm. Les têtes des capteurs sont vissées de part et d'autre d'un petit cylindre en laiton.

La barre est sertie à son extrémité d'une pièce qui descend verticalement dans le creux du support et va se caler sur le petit cylindre qui relie les deux têtes. Tout déplacement de la barre est ainsi transmis aux capteurs.

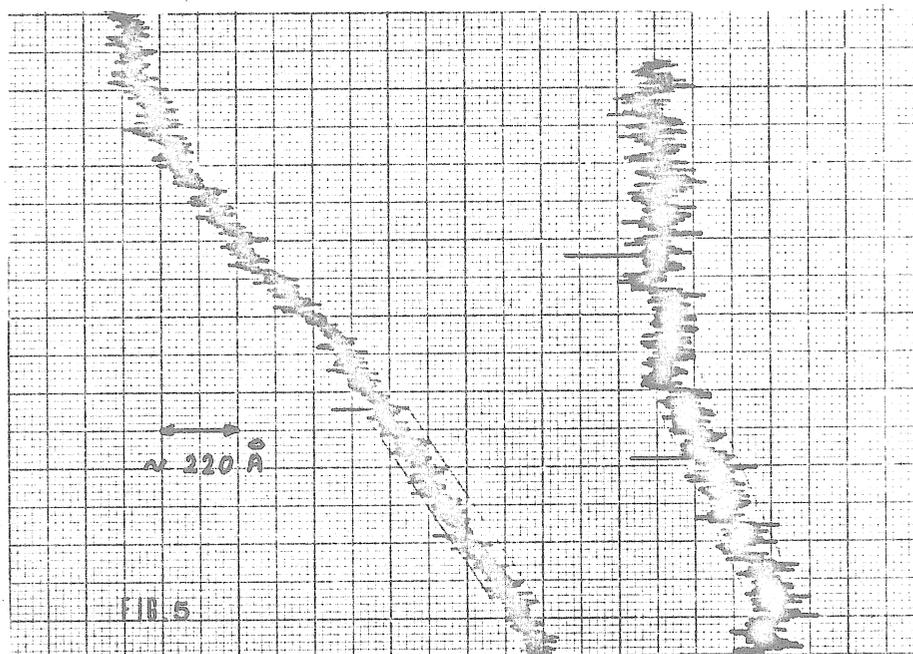
## B. Etude des bruits de fond

### a) Bruit de fond du support.

Observations expérimentales :

- nécessité de placer des micro-sondes sans ressort sinon le système est trop rigide
- mettre le support aux terres des deux alimentations qui sont elles-mêmes reliées entre elles
- les shunt 52-54 des deux plaques N sont reliés entre eux.

Les deux micro-sondes employées sont la 431-591 et 431-641.  
La trace de gauche correspond à la sortie de la micro-sonde 431-591.



Nous mesurons sur l'enregistrement un bruit de fond de 3 mm minimum et 6 mm maximum. Les micro-sondes étant réglées à la sensibilité de 3,6 mV/micron; cela nous donne 67,2 Å de bruit minimum et 134 Å de bruit maximum (calcul effectué à partir du  $C_F$ ).

La trace de droite correspond à la différence entre les deux signaux. Nous mesurons un bruit minimum de  $89 \text{ \AA}$  et maximum de  $156 \text{ \AA}$  (même remarque).

b) Bruit de fond de la barre et du support.

Les deux micro-sondes employées sont la 431-591 et la 431-641.

La trace de gauche correspond à la 431-641. Le bruit maximum est de  $111 \text{ \AA}$ .

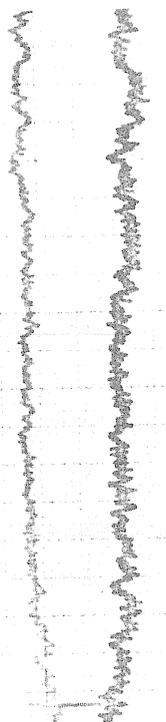


FIG. 6

### C. Résultats expérimentaux

Les lectures sont effectuées sur un voltmètre digital. Les micro-sondes n'ont plus de ressort. Les résultats qui suivent ont été obtenus plusieurs fois après démontage et remontage de tout le système mécanique.

MS	V.ALIM.	CF	CE			CE/CF
			V/MM	V/MM	E.Q.M. E.REL.%	
431-641	24	4,64				
431-641	18	3,48	3,44	0,006	0,16	0,987
431-641	18,5	3,57	3,54	0,008	0,2	0,990
431-641	18					
431-641	19	3,65	3,63	0,008	0,2	0,989
431-641	19,5	3,77	3,73	0,006	0,16	0,989
431-591	24	4,43				
431-591	18	3,32	3,32	0,014	0,4	1
431-591	18,5	3,41	3,41	0,029	0,8	1
431-591	19	3,51	3,49	0,018	0,5	0,994
431-531	19,5	3,60	3,60	0,006	0,16	1

Tableau 2

Nous avons constaté que les calibrations réalisées grâce à la barre nous donnent le  $C_p$  tandis que celles effectuées sur la base s'en éloignent de 5 % environ. Nous avons calibré les MS 431-641 et 431-591 avec les différents instruments. Voici les résultats obtenus :

MS	V.ALIM.	INSTR.	CR	CE			CE/CF
				CF	V/MM	E.REL.%	
431-641	18,628	BASE	121	3,601	3,552	0,4	0,986
431-641	18,628	BARRE		3,601	3,602	0,5	1,000
431-591	19,51	BASE	GALET	3,601	3,643	0,7	1,012
431-591	19,51	BARRE		3,601	3,603	0,3	1,000

Tableau 3

Le galet n'est rien d'autre qu'une crapaudine fixe : les déplacements sont alors effectués grâce à la vis (4. fig.3) et sont de l'ordre de 0,3 à 0,5 mm : les lectures sont effectuées sur un voltmètre digital tout comme dans le cas de la barre. Il nous donne la précision de  $\pm 3$  mV sur l'échelle 1 V et 0,05 mV sur l'échelle 100 mV.

### 3. INTERPRETATION DES RESULTATS

L'étude des tableaux 1 et 2 montre la linéarité de la tension de sortie en fonction de la tension d'alimentation de la sonde.

Nous avons remarqué que le centrage de la crapaudine dilatable d'une part, et l'alignement des deux micro-sondes du support dans le sens de la barre, d'autre part, devaient être réalisés avec beaucoup de soin. Du point de vue du support nous vérifions aisément l'alignement au moyen d'un enregistreur X - Y.

Les expériences montrent une différence de sensibilité pour les déplacements de l'ordre du mm et ceux de l'ordre du micron. Ces différences peuvent être dues au fait que les déplacements micrométriques sont mesurés à l'oeil sur un enregistrement : l'enregistreur et le filtre 50 Hz qui y est adjoint peuvent en outre contribuer à fausser quelque peu le résultat. Cependant une étude des influences des impédances des différents appareils fait apparaître une atténuation possible de 1 % au maximum. L'emploi de la plaque d'alimentation N nous affranchit des problèmes d'impédance au niveau du capteur. Les expériences utilisant la barre extensométrique ou la base avec un galet et ayant recours à des déplacements millimétriques, les lectures étant effectuées sur un voltmètre digital nous semblent très fiables. Leur reproductibilité renforce notre opinion à ce sujet.

-----

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. MELCHIOR, B. DUCARME, J.M. VAN GILS, J. FLICK, C. DENIS  
Preliminary Results obtained with a Vertical Strainmeter at  
the Underground Laboratory of Geodynamics at Walferdange  
(Physics of the Earth and Planetary interiors  
Vol. 9 n° 2, pp 97-100, 1974)
- [2] Novotechnik Linotast F 205  
7304 Ruit bei Stuttgart, Horbstrasse
- [3] Amplificateur adaptateur Linotast type M58401. Novotechnik.
- [4] B. DUCARME  
Etude du comportement des crapaudines dilatables  
(BIM n° 45, 15 nov. 1966, pp 1793-1809)
- [5] J. VERBAANDERT  
L'étalonnage des pendules horizontaux  
(Communication de l'O.R.B. n° 214)
- [6] J. VERBAANDERT  
Nouvel interféromètre pour l'étalonnage des crapaudines dila-  
tables (Cinquième Symposium International sur les marées  
terrestres, p 197, communication de l'ORB n° 236).
- [7] M. VAN RUYMBEKE  
Piézo-électricité et Géodésie  
(Communications de l'O.R.B., série B, n° 69)
- [8] M. VAN RUYMBEKE  
L'étalonnage des pendules V.M. par l'emploi de crapaudines  
piézo-électriques  
(Mémoire de licence U.C.L. 1970).