

MAREES TERRESTRES

BULLETIN D'INFORMATIONS

N°70

15 février 1975

Association Internationale de Géodésie

Commission Permanente des Marées Terrestres

Editeur Prof. Paul MELCHIOR

Observatoire Royal de Belgique

3. Avenue Circulaire

1180 Bruxelles

Observations clinométriques à Soulievka

P.S. Matveyev, A.E. Ostrovskii,
V.G. Goloubitskii, I. You Bogdan, B.S. Doubik

Rotation et déformations de marées de la Terre - V pp 11-16 - 1973
Abrégé

Etant donné l'arrêt en 1968 des observations clinométriques à Velikié Boudicha [1] provoqué par l'apparition dans la galerie des eaux souterraines, il a fallu organiser un nouveau point clinométrique dans les environs de Poltava. Le lieu est à 14 km au sud-ouest de Poltava, à la limite sud de Soudievka. La grande profondeur (≈ 17) des eaux souterraines dans cet endroit et son éloignement suffisant des routes de transports et des sources de bruits industriels ont permis d'espérer que les conditions y seront plus favorables qu'à Velikié Boudicha.

Nous disposons à présent d'une série de près d'un an d'observations faites à Soudievka au cours de 1971.

Les coordonnées approximatives du point "Soudievka" sont les suivantes :

$$\varphi = 49,5 ; \quad \lambda = 34,4 ; \quad H = 150 \text{ m.}$$

Le schéma de la galerie clinométrique à Soudievka est donné sur la figure I. On a conservé dans la construction de la galerie aménagée là tous les éléments des galeries essayées par nous [2, 3] - la profondeur, la forme et la section transversale, le système de fixation des parois, l'organisation, l'isolation thermique des recouvrements etc... Cependant une nouveauté importante a été apportée. Elle consiste dans la liaison de l'appareil d'enregistrement avec la section supérieure de la galerie après son élargissement supérieur (en d'autres points du profil Soumi-Kherson, l'appareil d'enregistrement a été équipé habituellement à 15 à 18 m de la galerie). A notre avis, ce changement, malgré la réduction des dépenses dans l'équipement de la galerie, doit garantir une meilleure isolation de sa partie inférieure des déformations diurnes de température de la couche supérieure même du sol.

Les observations se font à Soudievka à l'aide de deux paires de clinomètres photoélectriques d'Ostrovskii [4] installés en enregistrement parallèle. La première paire (appareils 08 NS et 09 EW) a été placée en enregistrement le 21 janvier 1971, c'est-à-dire cinq mois après l'équipement de la galerie. La seconde paire d'appareils (57 et 66) est installée en enregistrement le 23 août 1971. Ces appareils enregistrent les composantes NS (57) et EW (66).

Cinq mois entre la pose du socle et l'installation sur celui-ci des clinomètres à Soudievka est apparu suffisant pour la pose des parois en briques de la galerie et la relaxation des déformations.

Deux jours après son installation (20.1.1971) sur le socle, l'appareil 08 par exemple a enregistré une courbe de marée correcte avec une dérive linéaire nette mais faible. Pour la stabilisation complète de l'appareil 09 il n'a fallu que trois jours de plus. Depuis le 25 janvier 1971 et pour cet appareil l'enregistrement s'est passé sans aucun signe d'irrégularité dans la dérive.

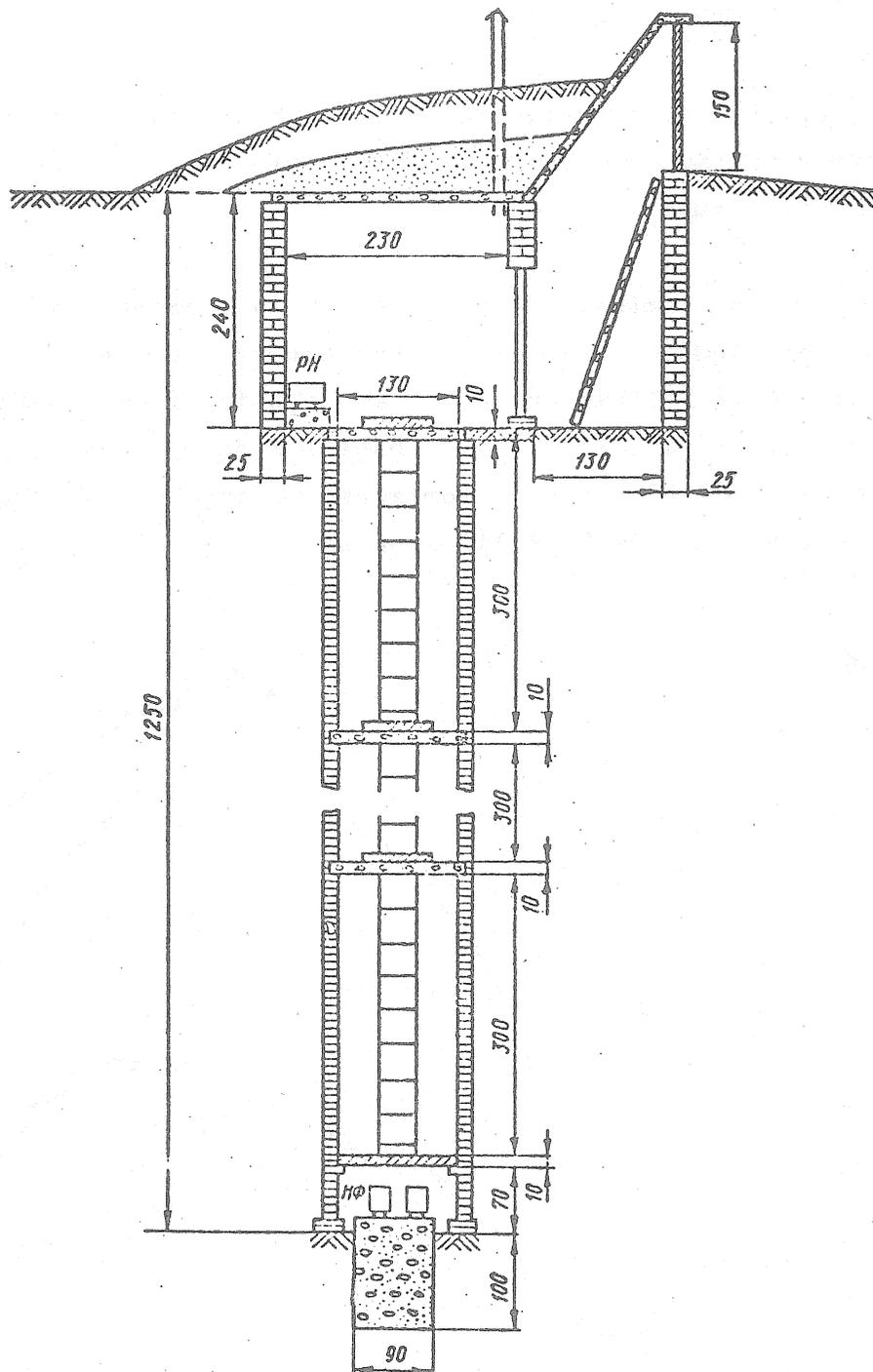


Fig. 1 Schéma de la galerie clinométrique à Soudievka
(les mesures sont données en centimètres).

La sensibilité des clinomètres se maintient à un niveau qui n'est pas inférieur à 500 mm/sec. d'arc.

On enregistre la température de l'air extérieur et on fait l'enregistrement des variations de la température dans les sections supérieure, moyenne et inférieure de la galerie.

En 1971, les données de février et de la première moitié de mars sont fortement perturbées par la température journalière de l'onde S_1 dont l'apparition dans les inclinaisons était en relation avec les fortes gelées qui se produisirent à cette époque. Dans les conditions de Soudievka, la composante NS a été à ce moment fortement perturbée. Cela se voit clairement sur le graphique de l'inclinaison lente (fig. 2).

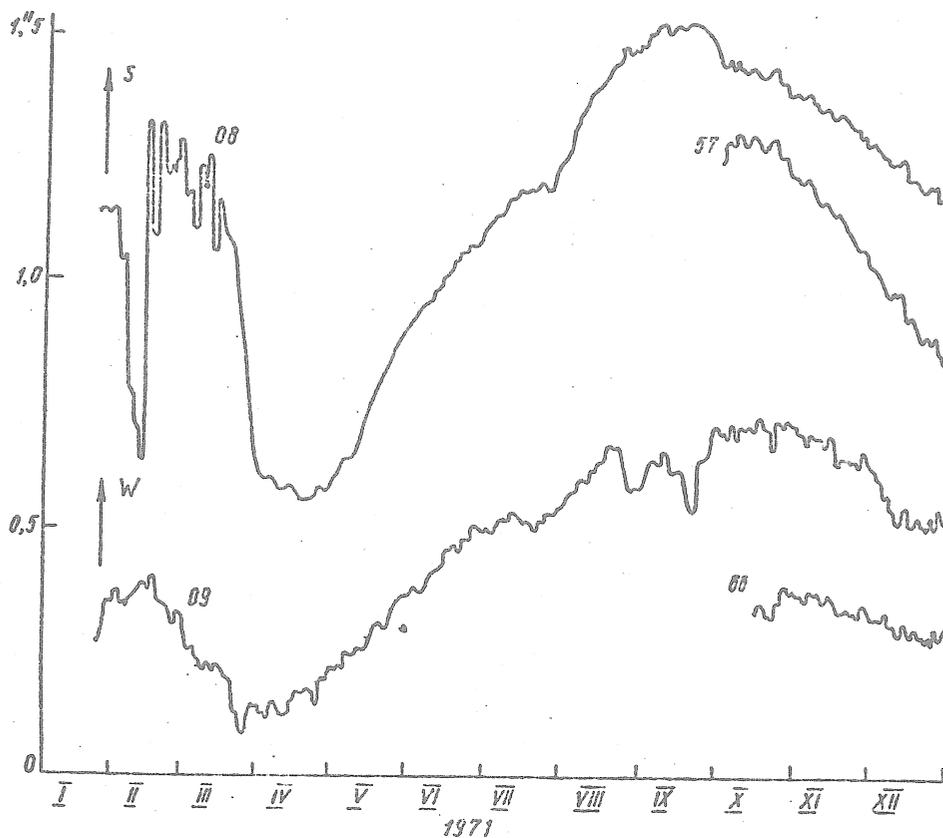


Fig. 2 Graphiques des inclinaisons moyennes journalières à Soudievka.

Parmi les autres facteurs de perturbation nous noterons la pression atmosphérique et l'élévation du bruit de fond microsismique d'octobre à décembre 1971. Le premier de ces facteurs se manifeste pour les deux composantes sous forme de variations quasi périodiques des inclinaisons lentes avec une durée de deux à trois jours et plus.

Cette influence se fait sentir un peu plus sur la composante EW (voir fig. 2) ce qui apparemment est lié à la prédominance des directions sub latitudes des cyclones sur la partie européenne de l'URSS. L'influence de ces facteurs (particulièrement le second) sur la précision des paramètres obtenus pour les ondes de marées terrestres à courtes périodes n'est apparemment pas grande. C'est pourquoi, les perturbations de ce genre n'ont pas été prises en considération.

Les graphiques analogues pour les appareils 57 (NS) et 66 (EW) montrent que les inclinaisons lentes à Soudievka enregistrées parallèlement sont en accord de qualité satisfaisant mais ne correspondent pas en valeur absolue. Ainsi, pour la composante NS, pour un intervalle de 80 jours d'enregistrement parallèle, l'inclinaison enregistrée par l'appareil 57 était à peu près de 0"2 plus grande que pour l'appareil 08. Pour la composante EW la même divergence dans les indications des deux appareils est d'environ 0"15. Avec cette divergence dans les indications des appareils placés parallèlement on ne peut être sûr de l'authenticité de l'inclinaison séculaire. Mais la direction Sud-ouest de cette inclinaison est caractéristique et la vitesse annuelle est d'environ 0"5 par an.

Résultats de la détermination des valeurs γ et α pour l'onde M₂ à "Soudievka"

Epoque initiale t ₀ =0h UT	NS			Epoque initiale t ₀ =0h UT	EW		
	Appa- reil	γ	α		Appa- reil	γ	α
11.IV 1971 r.	08	0,693	-3,64	20.II 1971 r.	09	0,745	+4,28
5.IV	08	0,680	+0,47	17.II	09	0,730	+5,67
30.IV	08	0,695	+1,43	11.IV	09	0,745	+3,50
25.V	08	0,671	-0,38	6.V	09	0,740	+2,34
19.VI	08	0,671	-0,33	31.V	09	0,737	+3,10
14.VII	08	0,682	-0,77	25.VI	09	0,726	+4,67
8.VIII	08	0,689	-0,85	20.VII	09	0,721	+3,71
18.VIII	08	0,681	-1,84	14.VIII	09	0,737	+2,12
				8.IX	09	0,762	+2,34
2.X	08	0,679	-1,54	3.X	09	0,736	+1,61
2.X	57	0,678	-0,80	13.X	66	0,725	+3,22
27.X	08	0,695	-0,11	27.X	09	0,735	+3,34
27.X	57	0,685	+0,03	27.X	66	0,716	+5,48
21.XI	08	0,672	-2,32	21.XI	09	0,722	+3,62
21.XI	57	0,671	-3,36	21.XI	66	0,702	+4,16
2.XII	08	0,672	-2,47	2.XII	09	0,720	+2,81
2.XII	57	0,672	-3,52	2.XII	66	0,703	+2,96
Moyenne	08	0,680	-1,03		09	0,735	+3,31
		+2	+0,41			+4	+0,31
vectorielle	57	0,676	-1,90		66	0,711	+3,96
		+4	+0,89			+6	+0,58

Une déduction plus concrète peut être faite concernant l'onde annuelle: la périodicité des graphiques donnés ne fait aucun doute et l'amplitude de l'onde annuelle pour la composante NS est d'environ $0''4$ et pour la composante EW environ $0''2$.

Toutes les données d'observations de qualité accumulées à Soudievka pour 1971 ont été soumises à l'analyse harmonique d'après la méthode élaborée à l'Observatoire Gravimétrique de Poltava [5].

Pour la composante NS on a analysé 16 mois d'observations (12 pour l'appareil 08 et 4 pour l'appareil 57) et pour la composante EW, 17 mois (13 pour l'appareil 09 et 4 pour l'appareil 66) d'après le programme de S.N. Korba [6]. Les résultats obtenus pour l'onde principale semi-diurne M_2 sont donnés dans la table. Nous rappellerons que le signe "plus" pour la valeur x correspond au retard de l'inclinaison de marée observée par rapport à sa valeur théorique.

On a calculé sur la base des données de la table les moyennes vectorielles de γ et x et leurs erreurs quadratiques moyennes.

1. Les moyennes vectorielles de γ et x d'après les appareils parallèles sont en concordance satisfaisante. Pour la composante NS, cette concordance peut être considérée comme excellente car les désaccords sont dans les limites des erreurs quadratiques moyennes. Pour la composante EW, les valeurs x sont également en pleine concordance et il n'y a que les valeurs γ qui diffèrent systématiquement de 2 à 3% ce qui est probablement provoqué par une erreur dans la valeur de la constante électrodynamique I_0 pour un des appareils.
2. Les moyennes vectorielles γ pour l'onde M_2 sont différentes pour les directions NS et EW. La composante NS est inférieure en moyenne de 0,04 à 0,05 en comparaison avec la composante EW. Cette inégalité azimuthale est en accord satisfaisant avec les résultats obtenus précédemment dans des galeries dans d'autres points [1, 7].

BIBLIOGRAPHIE

- 1 BOGDAN I. You, LISSENKO G.M., MATVEYEV P.S.
Rotation et déformations de marées de la Terre en I
"Naoukova Doumka" K, 1970
- 2 MATVEYEV P.S., BOGDAN I. You., LISSENKO G.M.
Géophysique et Astronomie, II "Naoukova Doumka" K, 1967
- 3 MATVEYEV P.S., BOGDAN I. You.
Rotation et déformations de marées de la Terre, V, I "Naoukova Doumka"
K, 1970
- 4 OSTROVSKII A.E.
Etude des marées terrestres, 2. Edit. Ac. des Sc. URSS, M. 1961
- 5 MATVEYEV P.S.
Marées Terrestres "Naoukova Doumka" L, 1966
- 6 KORBA S.N.
Ce livre, page 94
- 7 MATVEYEV P.S., BOGDAN I. You
Rotation et déformations de marées de la Terre, V. 2
"Naoukova Doumka", L. 1970.

Variations de marées de la force de pesanteur
à Bakhtchissaraï en 1968 à 1971

P.S. Korba

Rotation et déformations de marées de la Terre -V pp 16-23- 1973

Abrégé

En 1968-1971, l'Observatoire gravimétrique de Poltava a réalisé une série d'observations au musée historico-archéologique de Bakhtchissaraï avec les gravimètres Askania GS-11 N° 159 et GS-12 N° 185. De juillet 1968 à février 1969, elles ont eu lieu dans la cave sous le bâtiment (Bakhtchissaraï I) et de février 1970 à novembre 1971 dans une cave située à peu près à 100 m plus au sud (Bakhtchissaraï II). Les résultats de Bakhtchissaraï I obtenus par la méthode de 30 jours de Matveyev [1] sont publiés en 2. Nous donnons ici la description des conditions d'observations à Bakhtchissaraï II et les résultats de l'analyse de toutes les observations de Bakhtchissaraï par la méthode Venedikov [11].

Les variations journalières de la température ne dépassent pas 0°3.

L'enregistrement a été réalisé photographiquement.

La température de thermostatisation des gravimètres était de 35°C. Les thermostats extérieurs fonctionnaient en régime II. L'intérieur du gravimètre N° 159 dans le régime I, et l'intérieur du gravimètre N° 185 ont été débranchés car ils provoquaient d'importantes perturbations en dents de scie atteignant 5 mm sur l'enregistrement. On a utilisé des stabilisateurs à semi-conducteurs pour lesquels la tension à l'entrée est deux fois plus petite. A la sortie ces stabilisateurs garantissent une constance de courant jusqu'à 0,5 % pour un changement de tension d'entrée de 9 à 15 V. Le schéma électrique de ce stabilisateur est donné à la figure 1. La lampe d'éclairage des photoéléments du gravimètre N° 159 était alimentée par ce stabilisateur, depuis des accumulateurs T H-250. Le remplacement des accumulateurs a été fait dans les deux cas à peu près en un mois.

Les résultats obtenus comme moyenne pour 6 à 10 déplacements de la bille de calibrage sont donnés dans la table I.

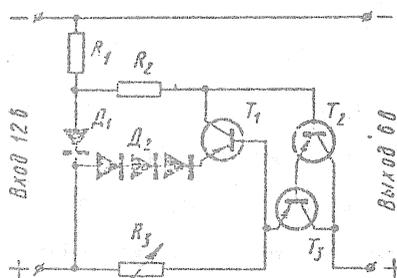


Fig. 1 - Schéma du stabilisateur

TABLE 1

Résultats de la calibration des gravimètres 159 et 185 (en $\mu\text{gal}/\text{div.}$)

Gravimètre N° 159			Gravimètre N° 185		
Date	*	Position moyenne de l'échelle	Date	*	Position moyenne de l'échelle
23.VII 1968	7,101 ±1	46,5	26.VII 1968	17,812 ±4	40,0
3.X	7,112 ±2	48,3	3.X	17,821 ±3	40,9
25.I 1970	7,102 ±1	44,7	25.I 1970	17,816 ±2	41,9
12.IX 1971	7,114 ±5	50,0	11.IX 1971	17,821 ±3	42,0

* valeur moyenne de division

L'erreur quadratique moyenne ne dépasse pas 0,1 %. Pour le gravimètre N° 159 les résultats obtenus concordent à peu près avec la même précision avec les données d'étalonnage de l'appareil en 1960 et 1961 sur un polygone gravimétrique [3]. Ainsi pour 11 années de fonctionnement, la valeur de division du ressort de mesure du gravimètre N° 159 n'a pratiquement pas varié.

Il en va un peu différemment pour le gravimètre N° 185. La valeur du coefficient d'étalonnage de ce gravimètre déterminée par la méthode de la bille est à peu près 0,7 % plus grande que les données de la firme. Cette divergence n'est pas tout à fait compréhensible. C'est pourquoi, après la fin des observations on a fait un étalonnage de contrôle. Il a été fait par la méthode de l'inclinaison sur la plate-forme de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava destinée à l'étalonnage des clinomètres [4]. Les détails de l'étalonnage sont décrits dans le travail [5]. La valeur de division du gravimètre N° 185 déterminée sur la plate-forme correspondait à 0,1 % près avec sa valeur trouvée par la méthode de la bille d'étalonnage.

La concordance de deux résultats témoigne de ce que la différence de pesanteur correspondant au déplacement de la bille d'étalonnage est donnée correctement par la firme "Askania Werke". La divergence obtenue concerne uniquement le graphique de la variation de la valeur de division de l'échelle en fonction du calcul pour le gravimètre N° 185. L'étalonnage de contrôle sur la plate-forme du gravimètre N° 159 a donné pratiquement les mêmes résultats que la méthode la bille : la divergence obtenue était 0,3 % avec une erreur de $\pm 0,2$ %.

L'échelle de l'enregistrement a été déterminée par des déplacements isolés à peu près une fois tous les deux à trois jours : 196 mesures pour le gravimètre N° 159 et 228 pour le gravimètre N° 185.

Les déterminations séparées du coefficient d'étalonnage pour les deux appareils donnent un grand désaccord.

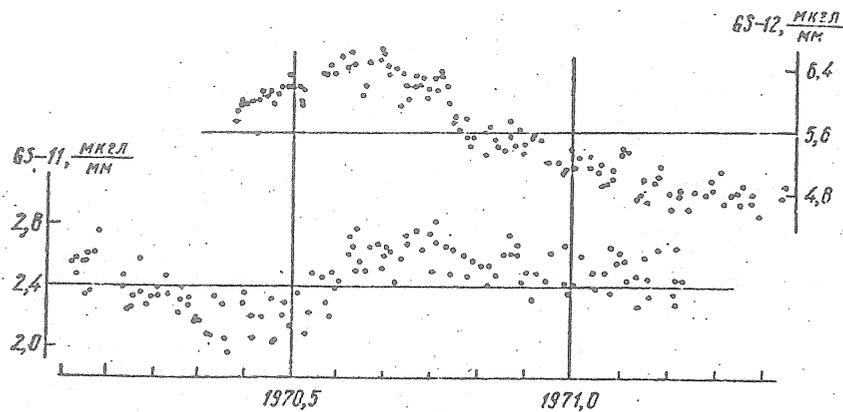


Fig. 2 - Variation de l'échelle de l'enregistrement.

En moyenne, l'amplitude du désaccord pour le gravimètre N° 185 est de 4 à 5 % et pour le gravimètre N° 159 pour lequel la sensibilité est à peu près deux fois plus grande, elle atteint 6 à 7 %. Outre le désaccord accidentel, l'échelle de l'enregistrement à Bakhtchissaraï subit aussi des variations systématiques assez grandes. La valeur de ces variations pour les deux appareils dépasse de quelques fois l'amplitude du désaccord accidentel. Tenant compte de cette circonstance, l'analyse des observations à Bakhtchissaraï a été faite en utilisant un coefficient variable d'étalonnage : toutes les déterminations ont été portées en graphique et la courbe obtenue a été légèrement lissée. Les résultats définitifs ont été lus sur la courbe lissée tous les deux jours.

Pour la station de Bakhtchissaraï I on a analysé par la méthode de Venedikov 86 jours d'enregistrement du gravimètre N° 159 et 112 jours d'enregistrement du gravimètre N° 185. La quantité de données réduites à la station de Bakhtchissaraï II pour les gravimètres N° 159 et 185 était respectivement de 344 et 384 jours (table 2).

Les résultats sont donnés aux tables 3 et 4 : valeurs δ et κ des diverses ondes pour les appareils N° 159 et 185, moyennes vectorielles calculées avec des poids inversement proportionnels aux carrés des erreurs quadratiques moyennes.

La durée des observations dans les deux stations est différente, aussi le nombre des ondes séparées est-il différent : pour la première de ces stations, six ondes de marées diurnes et cinq ondes de marées semi-diurnes; pour la seconde station (un an) 14 ondes au nombre desquelles l'onde perturbatrice diurne S_1 qui n'est pas une onde de marée.

TABLE 2

Intervalles d'observations à Bakhtchissaraï
réduits par la méthode de Venedikov

Гравиметр № 159			
"Бахчисарай-I"		13 ^b 27.У - 12 ^b 29.У 1970	9 ^b 12.ХП - 8 ^b 14.ХП 1970
6 ^b 2.УШ - 5 ^b 30.УШ 1968	13 30.У - 12 5.УІ	14 15.ХП - 13 19.ХП	
9 2.ІХ - 8 16.ІХ	20 11.УІ - 19 13.УІ	14 24.ХП - 13 30.ХП	
13 16.ІХ - 12 20.ІХ	20 14.УІ - 19 26.УІ	14 31.ХП - 13 26.І 1971	
23 12.Х - 22 7.ХІ	20 27.УІ - 19 3.УП	12 28.І - 11 7.П	
23 8.ХІ - 22 12.ХІ	8 4.УЕ - 7 6.УП	0 10.П - 23 21.П	
23 13.ХІ - 22 23.ХІ	20 7.УП - 19 17.УП	14 25.П - 13 1.Ш	
	20 19.УП - 19 2.УЕ	10 5.Ш - 9 9.Ш	
	20 8.УЕ - 19 10.УШ	16 17.У - 15 29.У	
	20 11.УШ - 19 25.УШ	8 31.У - 7 10.УІ	
"Бахчисарай-II"		20 26.УШ - 19 7.ІХ	8 18.ІХ - 7 22.ІХ
4 7.П - 3 13.П 1970	20 8.ІХ - 19 26.ІХ	8 24.ІХ - 7 6.Х	
4 14.П - 3 24.П	0 30.ІХ - 23 7.Х	8 7.Х - 7 19.Х	
16 26.П - 15 4.Ш	20 10.Х - 19 20.Х	8 24.Х - 7 30.Х	
4 7.Ш - 3 9.Ш	20 ^a 22.Х - 19 7.ХІ	17 4.ХІ - 16 6.ХІ	
6 12.Ш - 5 18.Ш	20 9.ХІ - 19 12.ХІ	1 7.ХІ - 0 11.ХІ	
14 20.Ш - 13 24.Ш	20 13.ХІ - 19 17.ХІ	17 12.ХІ - 16 16.ХІ	
14 3.ІУ - 13 5.ІУ	20 18.ХІ - 19 2.ХП	16 17.ХІ - 15 25.ХІ	
15 22.У - 14 26.У	20 3.ХП - 19 9.ХП		
Гравиметр № 185			
"Бахчисарай-I"		23 ^a 2.П - 22 ^a 6.П	13 ^a 21.П - 12 ^a 23.П 1971
16 ^a 26.УП - 15 ^a 28.УП 1968	23 7.П - 22 11.П	16 23.П - 15 17.П	
16 29.УП - 15 13.УШ	23 12.П - 22 14.П	16 25.Ш - 15 4.ІУ	
16 20.УШ - 15 22.УШ		15 7.ІУ - 14 13.ІУ	
23 10.Х - 22 14.Х	"Бахчисарай-II"		14 15.ІУ - 13 17.ІУ
23 15.Х - 22 25.Х	12 20.У - 11 7.УП 1970	14 22.ІУ - 13 26.ІУ	
23 27.Х - 22 2.ХІ	12 14.УП - 11 1.УШ	6 16.У - 5 16.У	
23 4.ХІ - 22 6.ХІ	12 6.УШ - 11 19.Х	12 20.У - 11 24.У	
23 8.ХІ - 22 12.ХІ	12 23.Х - 11 28.Х	7 26.У - 6 1.УІ	
23 14.ХІ - 22 22.ХІ	15 3.ХІ - 14 8.І 1971	15 1.УІ - 14 17.УІ	
23 24.ХІ - 22 6.ХП	15 10.І - 14 14.І	23 19.УІ - 22 9.УП	
19 8.ХП - 18 10.ХП	15 15.І - 14 21.І	8 13.УП - 7 21.УП	
23 14.ХП - 22 22.ХП	15 22.І - 14 24.І	17 21.УП - 16 4.УШ	
23 1.І - 22 7.І 1969	15 25.І - 14 8.П	16 11.УШ - 15 25.УШ	
23 16.І - 22 1.П	9 10.П - 8 16.П	23 28.УШ - 22 7.ІХ	

* Les valeurs données sont corrigées du retard instrumental, le signe "plus" pour x correspond au retard de la marée observée par rapport à la marée théorique

** Les valeurs données dans la table 4 des phases initiales ζ_5 de l'onde S_1 correspondent à ses valeurs par le rapport $Y_8 = R_8 \cos(15t - \zeta_5)$ où t est le temps solaire moyen.

En comparant les données des tables 3 et 4, nous voyons que les divergences des résultats de l'analyse harmonique pour les appareils N° 159 et 185 ne sortent pas des limites des erreurs quadratiques moyennes. Il est intéressant de noter que l'onde S_1 a été obtenue plus correctement pour le gravimètre N° 159 pour lequel les deux thermostats ont fonctionné. Pour le gravimètre N° 185 fonctionnant tout le temps avec un thermostat intérieur branché, cette onde est un peu plus petite comme on le constate par les erreurs données et au cours des observations elle s'est maintenue plus stable. Par conséquent, dans l'onde perturbatrice S_1 le fonctionnement des thermostats de l'appareil ne joue pas un rôle négligeable. La grande valeur de l'onde S_1 pour le gravimètre N° 159 a amené apparemment à une augmentation sensible des erreurs des résultats pour cet appareil.

TABLE 3

Résultats de l'analyse des observations à la station de Bakhtchissaraï I d'après la méthode de Venedikov

Onde	Gravimètre N° 159		Gravimètre N° 185		Moyenne vectorielle	
	δ	α	δ	α	δ	α
00_1	1,648 +459	+ 8,9 ±11,3	1,124 +672	+ 3,5 ±24,2	1,482 + 374	+ 7,5 ±10,5
J_1	0,751 +420	-25,6 +22,7	1,251 +510	-22,5 +16,5	0,950 +301	-24,1 ±15,7
M_1	0,931 +393	+23,6 ±17,1	1,555 +519	+10,0 +13,5	1,140 +297	+16,9 ±12,0
Q_1	1,156 +163	+ 8,7 ± 5,7	0,938 +202	- 3,9 ± 8,7	1,065 +126	+ 4,3 ± 4,9
K_1	1,1289 ± 236	+ 1,28 ± 0,85	1,0951 ± 269	+ 0,76 ± 1,00	1,1141 ± 179	+ 1,06 ± 0,65
O_1	1,1818 + 298	- 0,40 + 1,02	1,1723 + 397	+ 0,24 ± 1,37	1,1784 + 239	- 0,16 ± 0,81
$2N_2$	1,132 +515	- 0,3 +20,2	0,667 +278	+22,7 ±16,8	0,752 +231	+14,9 ±14,5
L_2	1,285 +313	+ 5,1 ± 9,5	1,049 +191	+ 6,7 ± 7,4	1,113 +161	+ 6,2 ± 5,9
N_2	1,2010 +1021	+ 3,71 ± 3,50	1,1504 + 614	+ 4,01 ± 2,16	1,1639 + 525	+ 3,93 ± 1,87
M_2	1,1664 + 162	- 0,39 ± 0,56	1,1686 + 110	+ 0,07 ± 0,38	1,1679 + 89	- 0,06 ± 0,31
S_2	1,1596 + 287	+ 1,46 ± 1,00	1,1947 +219	+ 1,34 ± 0,74	1,1818 +176	+ 1,38 ± 0,59

La convergence des deux stations est également dans les limites des erreurs des observations et on n'observe pas de différence systématique. C'est pourquoi il est justifié de faire la moyenne δ et \varkappa pour les deux stations.

Les valeurs moyennes δ et \varkappa pour les cinq ondes principales de marée, corrigées des accélérations verticales [6] sont données dans les deux premières colonnes de la table 5. Ce n'est que pour l'onde K_1 qu'on a pris à titre de plus probables non pas les résultats moyens pour les deux stations mais les valeurs δ et \varkappa obtenues par l'analyse des observations à Bakhtchissaraï II, et cela en raison de la présence de l'onde S_1 à Bakhtchissaraï I.

Dans les deux colonnes suivantes de la table 5, nous donnons les résultats corrigés de l'influence des marées océaniques par B.P. Pertsev. Il convient de noter que le calcul des corrections a été fait uniquement pour quatre ondes - M_2 , S_2 , K_1 et O_1 : on a tenu compte de l'influence des zones éloignées, situées à au moins 1000 km du point d'observations.

TABLE 4

Résultats d'analyse des observations à la station
Bakhtchissaraï II d'après la méthode Venedikov

Onde	Gravimètre N° 159		Gravimètre N° 185		Moyenne vectorielle	
	δ	\varkappa	δ	\varkappa	δ	\varkappa
OO_1	0,829 +502	-9,3 +21,5	0,934 +302	-6,8 +13,1	0,906 +257	-7,4 +11,8
J_1	1,006 +412	-1,6 +16,6	1,005 +257	-22,0 +10,4	0,989 +209	-15,8 +9,6
M_1	1,026 +308	-1,6 +12,2	1,269 +187	-1,7 +6,0	1,204 +160	-1,7 +5,4
Q_1	1,064 +169	+4,3 +6,4	1,180 +105	-0,9 +3,6	1,147 +89	+0,4 +3,1
S_1	8,26 +1,23	-206,2 +6,0	7,14 +0,74	-196,3 +4,2	-	-
P_1	0,8600 +834	+10,42 +3,93	1,3013 +513	+2,65 +1,60	1,1776 +436	+4,18 +1,52
K_1	1,1399 +251	-1,55 +0,89	1,1412 +153	+1,66 +0,54	1,1405 +130	+0,76 +0,49
O_1	1,1542 +235	+0,57 +1,20	1,1590 +202	-1,41 +0,70	1,1570 +151	-1,20 +0,61
$2N_2$	1,031 +399	-12,0 +14,6	1,104 +215	-1,3 +7,9	1,095 +188	-3,7 +7,0
L_2	1,723 +433	+1,9 +10,1	1,336 +234	-4,2 +7,1	1,425 +206	-2,5 +5,9
K_2	1,262 +94	-8,8 +3,0	1,170 +48	+2,5 +1,7	1,185 +43	+0,1 +1,5
N_2	1,1185 +838	+2,73 +3,04	1,1809 +489	-1,88 +1,51	1,1668 +390	-0,93 +1,34
M_2	1,1735 +100	+0,31 +0,56	1,1645 +81	-0,17 +0,28	1,1682 +63	-0,07 +0,20
S_2	1,0582 +324	+6,64 +1,24	1,1578 +167	+7,07 +0,58	1,1367 +148	+6,99 +0,53

Remarque : Nous donnons ici pour l'onde S_1 non pas δ et κ mais l'amplitude R_s exprimée en microgals et la phase initiale ξ_s à 0h UT.

Cependant pour la mer Noire on ne possède pas de cartes cotidales et c'est pourquoi on ne peut pas jusqu'à présent calculer cette influence. On ne peut que souhaiter qu'elle soit faible car les marées y atteignent à peine quelques centimètres [7].

Comme nous le constatons par les données de la table 5, les constantes harmoniques obtenues pour les ondes de marées principales correspondent entre elles dans les limites des erreurs. L'exception réside uniquement dans le retard de phase κ de l'onde S_2 qu'on a obtenu anormalement bas. Selon toute probabilité, ce grand écart $\kappa(S_2)$ s'explique par la présence de l'importante onde S_1 qui n'est pas due aux marées et qui peut exercer sur l'onde S_2 une influence systématique [8].

Parmi les autres ondes importantes, l'onde K_1 a donné un écart sensible des constantes harmoniques : comme il a été présumé théoriquement [9] la valeur δ pour cette onde est plus petite que pour les ondes O_1 et M_2 , ainsi que cela a été observé dans les deux stations et par les deux gravimètres.

L'onde M_2 est déterminée avec le plus de précision et le résultat obtenu à Bakhtchissaraï correspond pratiquement avec les valeurs trouvées précédemment pour Simféropol et Yalta [10] (divergences ne dépassant pas 0,5 %). Ainsi on peut conclure que malgré le relief et la structure géologique complexes, on n'observe pas de différences sensibles sur le territoire de Crimée.

TABLE 5

Valeurs moyennes δ et κ

Onde	Sans tenir compte de la marée océanique		En tenant compte de la marée océanique	
	δ	κ	δ	κ
M_2	1,164 ± 5	-0,1 ± 0,2	1,154 ± 5	-1,3 ± 0,2
S_2	1,150 ± 11	+4,4 ± 0,4	1,162 ± 11	+3,9 ± 0,4
N_2	1,161 ± 31	+0,7 ± 1,1	-	-
K_1	1,139 ± 13	+0,8 ± 0,5	1,132 ± 13	+1,0 ± 0,5
O_1	1,162 ± 13	-0,8 ± 0,5	1,156 ± 13	-0,9 ± 0,5

BIBLIOGRAPHIE

- 1 MATVEYEV P.S.
Marées Terrestres "Naoukova Doumka" K, 1966
- 2 AKSENTIEVA Z.N., KORBA P.S., LISSENKO G.M.
Rotation et déformations de marées de la Terre, en 2 "Naoukova Doumka"
K, 1970
- 3 DITCHKO I.A.
Travaux de l'Observatoire Gravimétrique de Poltava T. XII, Edit. Ac.
des Sc. d'Ukraine K, 1963
- 4 GALOUBITSKII V.G.
Rotation et déformations de marées de la Terre, V. 2 "Naoukova Doumka"
K, 1970
- 5 DITCHKO I.A., KORBA P.S.
Ce volume, page 73
- 6 PARIISKII N.N.
Recherches gravimétriques 1. Edit. Ac. des Sc. URSS M. 1960
- 7 ORLOV A. Ia.
Travaux choisis T.3 Edit. Ac. des Sc. d'Ukraine 1961, 137 à 162
- 8 KORBA P.S.
Rotation et déformations de marées de la Terre V. 1 "Naoukova Doumka"
K, 1970
- 9 MOLODENSKII M.S., KRAMER M.V.
Marées terrestres et Nutation de la Terre
Edit. Ac. des Sc. d'URSS M, 1961
- 10 KORBA S.N., KORBA P.S.
Rotation et déformations de marées de la Terre, V.4 "Naoukova Doumka"
M, 1972
- 11 VENEDIKOV A
Comm. Obs. Roy. Belg. N 250 Série Géoph. n° 71, 1966.

Traduction

Analyse d'une série de onze années d'observations (1930 à 1941)

des inclinaisons de marées à Poltava

V.G. Boulanietz, V.I. Tokar

Rotation et déformations de marées de la Terre - V pp.33-46- 1973

Abrégé

On peut appliquer aux résultats d'analyse harmonique de séries de longue durée une analyse statistique dans le but d'étudier la répartition des valeurs cherchées et les erreurs d'observations

Conditions des observations, sensibilité des appareils, caractéristiques des données d'observations (voir [3])

A. Ia. Orlov a écrit que "le but des observations de Poltava n'était pas initialement la détermination des ondes de marées mais l'étude des variations de la verticale qui peuvent se faire sentir dans les observations de latitude au télescope zénithal. Pour cela les pendules horizontaux doivent être installés dans des conditions aussi voisines que possible de celles dans lesquelles est installé ce télescope, donc peu profondément et au niveau de la base du pilier du télescope".

Aussi les variations de la température extérieure perturbent non seulement les enregistrements des inclinaisons de marées mais influencent aussi les appareils eux-mêmes^{*}. L'allure journalière de la température dans la salle des appareils est environ de $0,08^\circ$ et les variations ne dépassent pas $0,01^\circ\text{C}$. Les déformations thermiques des couches extérieures du sol ont parfois créé une onde de température diurne très forte dans les enregistrements des inclinaisons dont l'amplitude atteignait parfois $0''7$ à $0''8$ (printemps et automne).

La variation annuelle de la température dans la salle ($7,3^\circ\text{C}$) se fait sentir sur la variation de la longueur des vis de période des pendules et cause par conséquent une variation périodique de la sensibilité des appareils. Cette influence était particulièrement nette en 1940-1941 quand les périodes des oscillations des pendules ont été déterminées plus souvent que pendant les autres années (fig. 1).

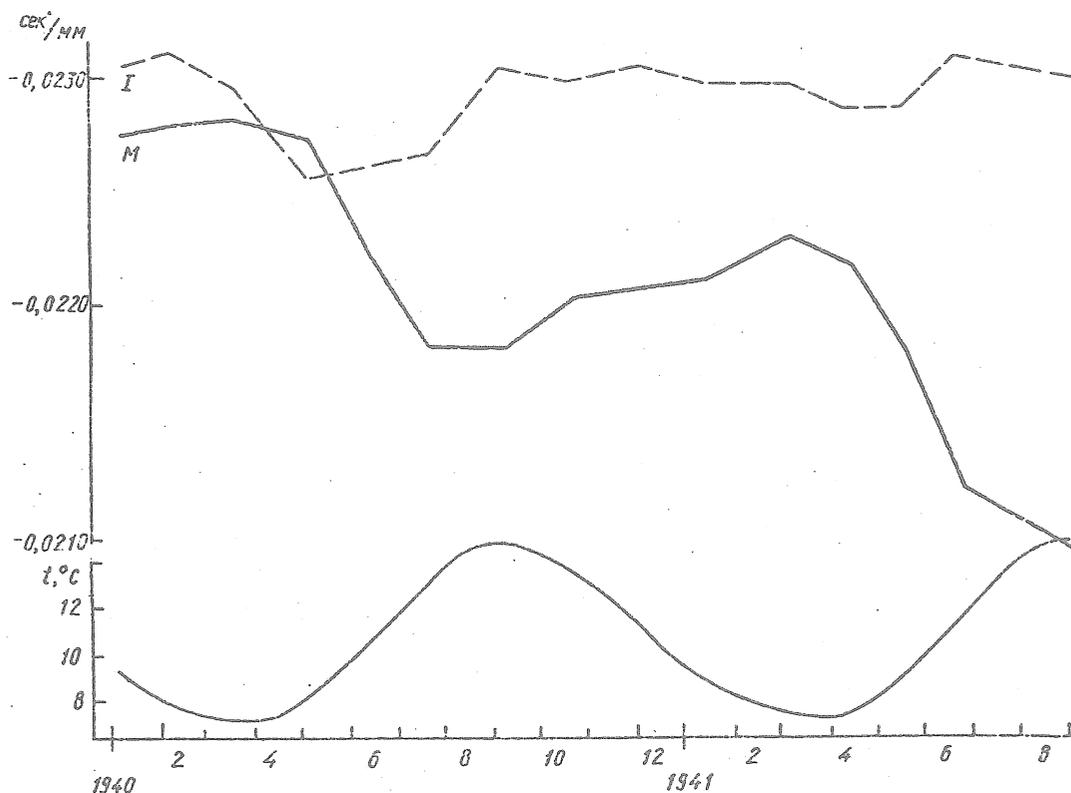


Fig. 1 - Dépendance de la sensibilité des clinomètres en fonction des variations de la température de l'air dans la salle.

* Le pendule placé dans le méridien sera appelé appareil M et l'appareil placé dans le ler vertical sera appelé appareil I.

Il n'est pas exclu que le bâtiment de l'observatoire situé à une distance d'environ 11 m de la salle ait influencé sensiblement sur les enregistrements des inclinaisons. Ito a établi [5] que les déformations des bâtiments, provoquées par les variations de température amènent des déformations du sol qui l'entoure. Cela a été confirmé par Jobert [11]. Il est possible que cette influence trouble systématiquement l'enregistrement des inclinaisons.

La sensibilité des appareils a été déterminée par la mesure des périodes (tenant compte de la constante g/ℓ_0) qui ont été déterminées par au moins 10 oscillations complètes. La constante g/ℓ_0 a été déterminée par le procédé de Galitzine-Orlov : l'angle et les périodes ont été déterminées pour tous les demi-tours et tours entiers de la vis de période.

Sur la durée d'une série de 11 années d'observations, on a fait 47 déterminations des périodes. Les lacunes fréquentes et de longue durée (de quelques heures à quelques mois) ont sensiblement compliqué la préparation des données à l'analyse harmonique.

Résultats de l'analyse harmonique des séries mensuelles

La quantité des lacunes de longue durée n'a permis d'obtenir pour l'appareil M que 102 séries mensuelles et pour l'appareil I, 108 séries.

L'analyse harmonique a été faite d'après la méthode de P.S. Matveyev [2], sur EVM M20 et M-220 d'après le programme de S.N. Korba. Nous attirons l'attention sur le fait que les marques horaires sur les enregistrements sont donnés en temps moyen local tandis que le programme d'analyse harmonique a été rapporté au temps universel.

Il faut donc introduire dans les valeurs obtenues du retard de phase des corrections correspondantes [6], soit $+ 2^{\circ}34$ pour l'onde M2.

Les tables 1 et 2 donnent l'onde M2 qui est déterminée le plus sûrement à Poltava, et l'onde K₁ qui caractérise les conditions d'observations.

Nous donnons dans la table 3 les valeurs arithmétiques moyennes de γ et x pour les cinq ondes principales obtenues pour toute la période de 11 années avec l'estimation de leur précision.

Etude des résultats d'analyse harmonique

Les valeurs des facteurs γ et x qui caractérisent la déformation de marée pour la station clinométrique "Poltava" doivent être déterminées uniquement d'après l'onde M2.

Nous considérons l'étude comme utile à faire non pas seulement d'après les facteurs γ et x mais aussi d'après les valeurs $a_i = \gamma_i \cos x_i$ et $b_i = \gamma_i \sin x_i$ (i est le numéro de la série mensuelle) ce qui est particulièrement important pour les observations de Poltava où la divergence des retards de phases des ondes est importante.

A notre avis, cette représentation de l'analyse harmonique pour ses recherches est, du point de vue mathématique, plus correcte.

Après avoir éliminé des résultats de l'analyse harmonique les valeurs aberrantes de a et b d'après le critère $\Delta = 2m$ (m est l'erreur quadratique moyenne d'un résultat), nous obtiendrons pour toutes les données d'analyse les valeurs de a et b données dans la table 4.

Pour analyser la dépendance des valeurs obtenues a_{moy} et b_{moy} provenant de l'interpolation de la sensibilité dans certaines séries, nous éliminerons des données d'analyse harmonique les séries avec sensibilité interpolée dont les époques centrales sont éloignées de l'époque des déterminations des périodes de plus de 30 jours (table 5).

TABLE 1

Résultats de l'analyse harmonique de séries mensuelles
Pendule I ($\alpha = 346^{\circ}85$)

Numéro de la série	Date du début de la série	K ₁		M ₂	
		γ	\varkappa	γ	\varkappa
1	7.IX 1930	34,055	-148,48	0,920	-6,58
2	7.X	9,787	-88,28	0,830	+3,85
3	7.XI	2,742	-62,57	0,696	+4,47
4	6.XII	0,767	-43,33	0,575	+18,14
5	7.I 1931	4,919	-31,52	0,766	-17,85
6	15.II	7,124	+3,76	0,865	+4,94
7	22.III	13,402	+54,39	0,863	+0,56
8	29.IV	9,596	+89,55	0,663	+2,81
9	29.V	10,993	+111,57	0,701	+18,66
10	3.VII	21,185	+135,61	0,749	-10,37
11	2.VIII	30,796	+159,04	0,615	-13,89
12	30.IX	33,712	-159,71	0,783	-14,93
13	29.X	12,133	-94,09	0,681	+9,89
14	28.XI	2,174	-74,34	0,834	+5,24
15	8.XII	1,229	-6,09	0,760	+7,59
16	25.II 1932	26,399	-132,97	0,930	+10,03
17	24.III	6,537	+21,90	0,579	+1,17
18	25.IV	8,062	+83,64	0,746	+9,25
19	25.V	13,160	+102,53	0,784	+4,39
20	15.VI	17,482	+124,37	0,934	-5,72
21	17.VII	39,918	-173,54	0,819	-2,54
22	16.IX	29,865	-120,73	0,885	-7,69
23	16.X	6,207	-64,26	0,869	+2,36
24	15.XI	2,884	-57,22	0,726	-7,20
25	6.XII	2,706	-37,33	0,654	+1,95
26	7.I 1933	3,304	-101,99	0,315	+12,52
27	6.II	7,333	-61,52	0,774	+4,77
28	7.IV	6,421	+68,06	0,681	-14,65
29	4.V	5,840	+110,06	0,754	+1,96
30	25.VI	8,851	+133,40	0,677	-1,33
31	25.VII	12,33	+161,05	0,584	-0,24
32	24.VIII	10,463	-162,83	0,731	-3,50
33	23.IX	10,582	-103,53	0,759	+0,36
34	21.X	2,857	-55,98	0,637	+2,27
35	3.I 1934	3,668	-76,42	0,575	+13,54
36	17.III	7,857	+69,05	0,755	-0,65
37	16.IV	5,604	+104,34	0,729	-3,83
38	30.V	4,534	+125,57	0,733	-3,64
39	6.VI	4,810	-173,03	0,666	-11,98
40	6.VII	3,241	+147,24	0,728	+5,81
41	5.VIII	17,421	+166,21	1,015	-0,28
42	20.XI	3,026	-4,30	0,646	-0,60
43	24.XII	3,205	-10,14	0,855	+4,79
44	24.III 1935	3,783	+105,31	0,792	-9,99
45	1.VI	8,522	+137,99	0,807	-10,41
46	4.VII	12,924	+166,40	0,727	-14,46
47	27.VIII	19,456	+176,37	0,623	-4,90
48	1.IX	27,594	-147,02	0,872	-10,07
49	26.IX	17,142	-94,82	0,737	-1,61
50	3.I 1936	2,829	+24,55	0,845	-17,34
51	1.II	6,420	+9,97	0,536	-66,44
52	8.IV	6,230	+120,44	0,551	-1,28
53	4.V	6,680	+141,66	0,906	+6,13
54	4.VIII	23,487	-165,65	0,650	-13,38
55	18.IX	3,233	+7,48	0,226	+15,54
56	18.X	3,217	-34,65	0,394	-5,77
57	15.XI	3,422	+8,51	0,792	-9,82
58	20.VIII 1937	8,068	+84,63	0,750	-9,88
59	19.IV	6,198	+111,70	0,753	-9,54
60	19.V	4,016	+122,82	0,884	+0,25
61	18.VI	6,579	-125,28	0,800	-2,90
62	21.VII	6,224	-76,21	0,753	-9,18
63	13.VIII	8,362	-21,76	0,693	+0,43
64	27.IX	5,908	-64,35	0,765	+0,78

Table 1 (suite)

Numéro de la série	Date du début de la série	K ₁		M ₂	
		γ	κ	γ	κ
65	26.X 1937	3,730	- 5,05	0,762	- 6,12
66	27.XI	2,472	- 5,69	0,787	- 1,92
67	25.XII	3,570	- 0,31	0,719	- 0,83
68	17.I 1938	3,725	- 14,32	0,592	- 0,99
69	1.III	9,343	+ 48,46	0,702	+ 4,39
70	29.IV	5,212	+102,64	0,811	- 0,82
71	26.IV	5,390	+119,69	0,732	- 0,55
72	26.V	4,062	+154,84	0,751	- 2,51
73	2.VIII	8,124	- 69,59	0,578	- 1,81
74	31.VIII	3,136	- 65,56	1,039	-13,22
75	29.IX	5,575	- 81,46	0,648	- 8,97
76	28.X	3,542	- 21,89	0,704	- 2,67
77	29.XI	1,458	+ 77,65	0,936	+ 0,49
78	29.XII	0,613	+164,74	0,684	- 6,90
79	28.I 1939	3,196	- 5,74	0,768	+ 1,85
80	9.III	11,414	+ 58,23	0,733	-11,69
81	8.IV	4,384	+ 95,04	0,635	- 0,83
82	24.V	10,066	+130,17	0,639	- 0,82
83	23.VI	3,666	+174,45	0,609	- 2,26
84	22.VII	5,179	- 65,30	0,654	-11,15
85	20.VIII	9,546	+ 22,84	0,724	-12,92
86	18.IX	1,850	+ 68,85	0,733	+ 5,32
87	14.X	3,160	- 60,84	0,648	+12,08
88	24.XI	2,431	- 23,80	0,737	+ 3,76
89	4.I 1940	3,570	- 35,85	0,778	+ 2,58
90	17.I	3,008	- 23,69	0,741	- 6,03
91	2.III	15,353	+ 28,89	0,540	+ 7,67
92	1.IV	6,172	+ 73,46	0,782	+ 0,06
93	4.V	3,992	+137,80	0,750	-10,15
94	2.VI	9,275	- 99,21	0,581	+ 0,54
95	1.VII	7,377	- 82,00	0,755	+ 1,60
96	3.VIII	8,851	- 56,00	0,900	-15,49
97	8.IX	1,783	+ 87,83	1,029	- 8,62
98	8.X	2,512	- 18,90	0,719	- 0,12
99	7.XI	2,171	- 27,68	0,714	+ 0,79
100	8.XII	2,952	- 57,01	0,715	- 6,49
101	6.I 1941	3,079	- 51,39	0,830	-14,49
102	4.II	4,597	- 11,59	0,586	- 9,96
103	7.III	10,440	+ 24,79	0,645	- 9,28
104	7.IV	6,114	+ 85,16	0,829	- 3,64
105	7.V	2,937	+120,41	0,713	+ 2,02
106	6.VI	1,018	-121,23	0,744	+ 8,03
107	6.VII	2,496	+167,84	0,786	+ 4,05
108	5.VIII	5,581	+173,53	0,747	- 5,41

TABLE 2

Résultats de l'analyse harmonique de séries mensuelles
Pendule M ($\alpha = 77^\circ 20'$)

N° de la série	Date du début de la série	K ₁		M ₂	
		γ	α	γ	α
1	6.IX 1930	4,371	+ 76,96	0,684	- 9,81
2	6.X	0,651	+120,76	0,702	- 5,83
3	21.X	0,408	- 14,39	0,665	- 0,68
4	26.XI	0,242	- 23,84	0,733	+ 0,00
5	26.XII	0,583	+ 28,14	0,759	+ 0,08
6	25.I 1931	1,153	- 3,44	0,723	- 1,41
7	25.III	0,767	- 44,24	0,679	- 3,84
8	24.IV	1,072	- 1,32	0,776	- 9,48
9	24.V	1,350	- 1,55	0,683	- 8,71
10	3.VII	5,964	- 8,14	0,697	- 5,17
11	2.VIII	10,236	+ 13,17	0,791	+12,42
12	30.VIII	8,104	+ 63,73	0,634	+ 1,05
13	29.IX	1,481	+102,53	0,765	+ 0,84
14	29.X	0,664	- 23,11	0,583	+ 5,24
15	9.XII	1,033	+ 60,12	0,513	- 5,80
16	6.I 1932	15,017	+169,33	0,916	-92,96
17	5.III	13,342	- 23,94	0,501	-17,53
18	7.IV	0,413	- 26,85	0,722	+ 4,90
19	7.V	1,078	- 21,16	0,665	- 8,65
20	13.VI	1,868	- 9,07	0,637	- 6,93
21	17.X	0,279	+ 15,66	0,767	- 0,25
22	16.XI	0,702	+ 44,48	0,687	+11,17
23	16.XII	0,296	- 2,28	0,742	- 5,49
24	18.I 1933	0,681	- 90,87	0,723	+ 0,42
25	6.II	1,516	+ 18,50	0,685	- 5,15
26	1.IV	0,592	- 1,93	0,704	- 0,59
27	1.V	0,836	- 4,01	0,758	- 6,18
28	21.VI	0,746	+ 5,61	0,614	- 4,34
29	23.VII	1,017	- 10,31	0,657	- 0,76
30	22.VIII	1,606	+ 33,43	0,754	+ 3,05
31	21.IX	0,903	+ 58,73	0,653	+ 2,30
32	21.X	0,654	- 5,99	0,675	+ 3,75
33	3.I 1934	1,565	+ 31,13	0,752	+ 0,28
34	17.III	0,535	+ 57,48	0,660	- 9,02
35	16.IV	0,354	- 12,57	0,653	- 5,00
36	30.IV	1,227	- 32,26	0,655	- 1,86
37	6.VI	4,215	- 31,97	0,724	- 2,61
38	6.VII	5,528	- 5,30	0,889	+ 6,55
39	5.VIII	5,570	+ 31,89	0,733	-11,96
40	20.XI	0,374	- 23,66	0,663	+ 1,64
41	24.XII	0,873	- 42,67	0,672	+ 2,70
42	24.I 1935	0,893	+ 25,66	0,651	- 1,76
43	1.VI	1,005	+ 3,01	0,695	+ 3,80
44	4.VII	2,810	+ 0,03	0,655	- 8,41
45	27.VIII	4,939	+ 16,25	0,811	- 5,69
46	1.IX	4,640	+ 62,49	0,632	-12,04
47	28.IX	2,042	+108,93	0,690	+ 0,20
48	1.XII	0,532	- 47,01	0,555	+ 0,72
49	3.I 1936	0,389	- 13,50	0,488	- 0,14
50	26.I	0,373	+ 26,60	0,590	+ 9,66
51	8.IV	1,006	- 18,83	0,775	- 1,03
52	4.V	2,483	- 35,43	0,597	- 4,80
53	4.VIII	4,874	+ 27,11	0,656	- 9,90
54	18.IX	0,910	+ 52,33	0,504	- 2,74
55	18.X	0,680	+ 39,58	0,637	- 8,71
56	15.XI	0,473	- 12,66	0,650	- 5,36
57	20.III 1937	0,796	- 22,02	0,644	-12,86
58	19.IV	0,963	- 34,09	0,703	- 3,54
59	19.V	0,979	- 44,96	0,671	-10,47
60	18.VI	2,612	- 9,74	0,702	- 6,01
61	21.VII	6,307	+ 3,11	0,774	+ 3,30
62	13.VIII	6,042	+ 29,17	0,736	+ 4,00
63	27.IX	0,435	+ 74,15	0,661	- 7,20
64	26.X	0,564	- 5,32	0,680	- 5,94
65	27.XI	0,714	- 9,03	0,667	- 4,48
66	27.XII	0,546	+108,31	0,556	+ 9,29

TABLE 2 (suite)

Numéro de la série	Date du début de la série	K ₁		M ₂	
		γ	κ	γ	κ
67	17.III 1938	0,509	+ 16,24	0,702	+ 1,87
68	17.IY	0,837	- 9,32	0,692	- 2,41
69	17.Y	0,930	+ 91,86	0,654	+ 7,92
70	12.VI	1,047	- 28,05	0,820	- 2,51
71	5.VIII	8,698	+ 6,01	0,668	- 8,67
72	3.IX	7,040	+ 69,31	0,846	- 2,55
73	2.X	1,957	+121,88	0,724	+ 6,06
74	1.XI	0,580	+ 6,57	0,707	- 0,12
75	27.III 1939	0,191	+ 15,08	0,659	- 3,55
76	22.IY	1,140	- 19,82	0,781	- 5,66
77	24.Y	1,352	- 13,47	0,689	- 4,55
78	23.VI	6,533	- 18,75	0,650	- 4,66
79	23.VII	9,777	- 9,52	0,725	-21,06
80	22.VIII 1939	13,067	+ 29,20	0,817	-13,20
81	22.IX	3,274	+108,90	0,742	- 1,37
82	14.X	0,611	+ 34,17	0,711	- 4,40
83	24.XI	0,487	+ 8,83	0,657	- 1,69
84	4.I 1940	1,361	+ 5,00	0,607	+ 0,12
85	17.I	1,197	+ 11,14	0,728	+ 3,22
86	1.IY	0,680	- 2,28	0,693	+ 1,35
87	4.Y	0,528	+ 65,50	0,629	+ 5,02
88	2.VI	2,014	+129,21	0,833	+ 7,44
89	1.VII	0,430	- 73,98	0,741	- 7,25
90	3.VIII	2,020	- 24,29	0,675	+ 0,10
91	8.IX	0,871	+ 22,13	0,794	- 6,00
92	8.X	0,904	- 12,01	0,726	- 4,09
93	7.XI	0,250	- 9,39	0,702	- 1,25
94	7.XII	0,250	+108,44	0,525	+11,71
95	6.I 1941	1,268	-100,48	0,636	+ 5,74
96	5.II	0,748	- 59,03	0,759	- 3,57
97	7.III	3,014	+ 16,07	0,766	+ 3,10
98	7.IY	0,726	+ 56,36	0,721	+ 1,41
99	9.Y	0,570	+ 21,65	0,696	+ 4,01
100	6.VI	0,702	+121,02	0,786	- 1,44
101	6.VII	0,551	+150,34	0,660	-12,50
102	5.VIII	0,426	- 41,79	0,709	+ 7,65

Il apparaît par les tables 4 et 5 que la discordance entre les valeurs a_{moy} et b_{moy} se trouve dans les deux cas dans les limites des erreurs et c'est pourquoi dans la suite on utilisera tous les résultats de l'analyse harmonique en incluant aussi les séries avec sensibilité interpolée.

Ayant une quantité de séries ($n = 101$ pour chaque appareil) suffisante pour l'application de l'analyse statistique, nous étudierons la répartition statistique des valeurs a et b . Les valeurs a et b sont dans la plupart des cas indépendantes (ou faiblement dépendantes).

En outre, nous supposerons qu'elles sont homogènes et subissent seulement une dispersion accidentelle. Dans ce cas, il faut espérer qu'elles se soumettent à la loi normale. Cependant Jeffreys [7] a établi que la loi normale n'est pas applicable à la répartition des valeurs sur toute la durée de n'importe quelle série d'observations. Les recherches de Jeffreys ont montré qu'aux résultats des observations ce qui convient le mieux ce n'est pas la courbe de la répartition normale mais la courbe de répartition de Pearson du type VII. La particularité fondamentale de la détermination des centres des répartitions des valeurs étudiées et de leurs dispersions d'après la méthode de Jeffreys réside dans le fait qu'on introduit pour leur calcul des poids " a posteriori ", c'est-à-dire qu'on donne à chaque résultat un poids en fonction de l'écart de ce résultat par rapport à la moyenne.

Il convient de déterminer les paramètres qui entrent dans la fonction de densité de la probabilité de répartition du type Pearson VII d'après la méthode de la plus grande vraisemblance de Fisher. Suivant Jeffreys [7] il suffit, dans la plupart des cas, de se servir de la courbe de degré $m = 4$ (table 6).

On constate par la comparaison des tables 4 et 6 que les résultats de la moyenne simple des valeurs a et b coïncident avec les résultats obtenus par la méthode pondérée de Jeffreys.

TABLE 3

Onde	M ($\mu = +77,20; n = 102$)		I ($\mu = -13,15; n = 108$)	
	f	x	f	x
O_1	0,866 ± 58	- 2,15 $\pm 5,08$	2,370 ± 168	- 14,03 $\pm 7,92$
K_1	2,239 ± 296	+14,68 $\pm 5,16$	8,220 ± 743	+ 10,91 $\pm 9,58$
N_2	0,881 ± 68	- 0,45 $\pm 2,96$	0,919 ± 36	- 5,36 $\pm 4,21$
M_2	0,694 ± 8	- 3,03 $\pm 1,07$	0,737 ± 12	- 2,67 $\pm 0,95$
S_2	1,303 ± 98	- 1,39 $\pm 3,75$	1,180 ± 49	+ 22,28 $\pm 3,97$

TABLE 4

Pendule	a moy	b moy
M ($n=101$)	0,6869 ± 74	- 0,0241 ± 73
I ($n=101$)	0,7319 ± 92	- 0,0298 ± 94

TABLE 5

Pendule	a moy	b moy
M ($n=58$)	0,6951 ± 84	-0,0137 ± 74
I ($n=63$)	0,7337 ± 103	-0,0252 ± 92

TABLE 6

Pendule	a moy	b moy
M ($n=101$)	0,6850 ± 70	-0,0241 ± 71
I ($n=101$)	0,7320 ± 91	-0,0315 ± 94

TABLE 7

Probabilité de répartition				
P_{norm}	0,40	0,85	0,21	0,07
P_{VII}	0,69	0,42	0,13	0,03

En appliquant à titre de critère de concordance des répartitions théorique et empirique des valeurs a et b des critères χ^2 , nous obtenons les probabilités de telle sorte que l'ensemble empirique examiné constitue parmi l'ensemble général des alternatives une loi normale de répartition et une loi de répartition du type Pearson VII (table 7).

De la table 7 il résulte que c'est seulement pour les valeurs b_M que l'hypothèse de la normalité de la répartition empirique ne contredit pas les données d'expérience. Pour a_M , l'hypothèse sur la répartition a d'après la loi de Pearson de type VII ne contredit pas non plus les données d'expérience, cependant la probabilité $P = 0,69$ montre que la série des valeurs a pour l'appareil M n'est pas stable (fig. 2,A).

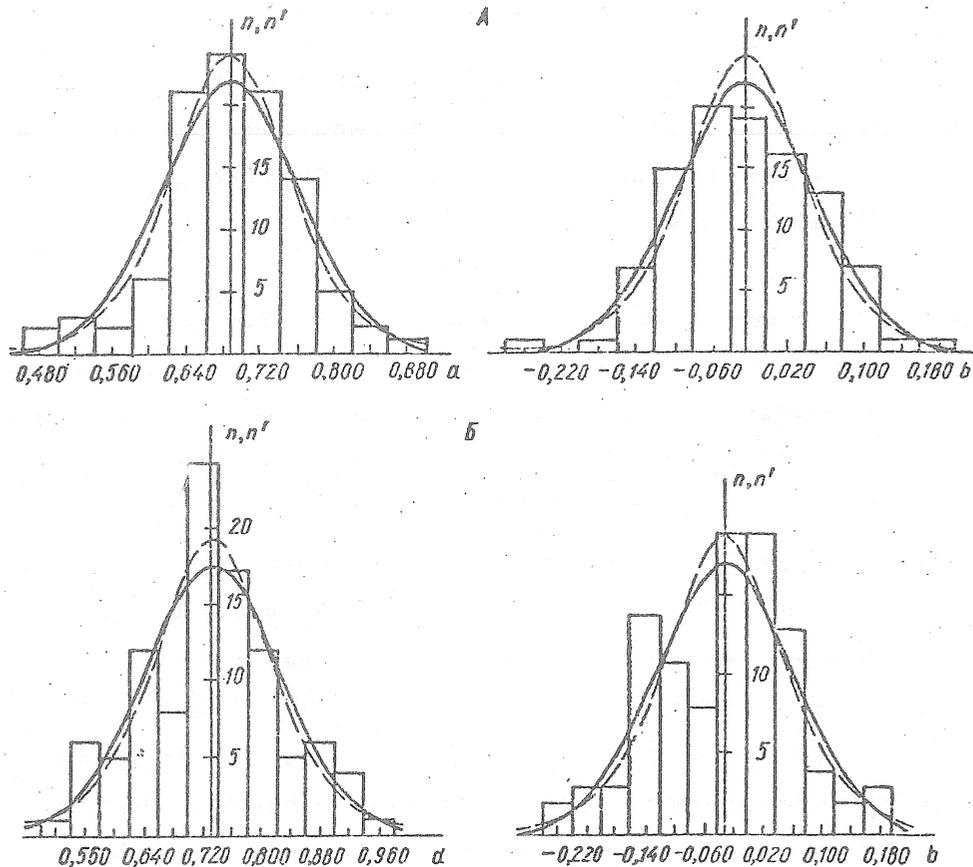


Fig. 2 - Histogrammes de la répartition des valeurs a et b , graphiques correspondant de la densité normale de la probabilité et de la densité de probabilité de répartition de Pearson type VII (ligne pointillée)

A appareil M - onde M_2

B appareil I - onde M_2

En ce qui concerne l'appareil I il faut rejeter cette hypothèse de la répartition a et b d'après la loi normale et d'après la loi de Pearson du type VII. On constate toutefois par la figure 2 que la répartition statistique a un important excès positif, c'est-à-dire que nous avons une valeur élevée du centre de groupement. La répartition empirique b_I rappelle la répartition à deux modalités.

Les données de la table 7 permettent d'émettre les réflexions suivantes. Les divergences entre les répartitions théoriques et statistiques a et b peuvent s'expliquer par la présence dans les ensembles empiriques étudiés d'erreurs non accidentelles ou par le fait que ces ensembles ne sont en fait pas soumis aux lois de répartition dont nous nous sommes efforcés de trouver l'approximation.

Il est possible que les deux facteurs influencent simultanément. Ce qui a été dit plus haut doit avant tout se rapporter aux résultats pour l'appareil I. En ce qui concerne les erreurs systématiques possibles, leurs origines peuvent être :

- 1) des erreurs instrumentales (les erreurs de la constante $g/0$, la connaissance imprécise de la longueur du levier optique et autres)
- 2) des erreurs en relation avec l'influence des conditions extérieures (température, pression, humidité du sol etc...).

Pour expliquer le caractère de la répartition empirique a et b, nous les grouperons par mois de l'année pour toute la période des observations après avoir déterminé les valeurs moyennes mensuelles a et b. On constate par le graphique de la variation des moyennes mensuelles a et b (fig. 3) la présence d'une onde quasi annuelle avec un maximum en août-septembre et un minimum en février-mars. Dans ces mêmes périodes, on observe respectivement des températures maximale et minimale dans les salles des appareils et également des amplitudes maximales des variations journalières de la température extérieure de l'air. L'irrégularité des variations journalières de la température s'exprime dans le fait que l'onde K_1 subit également une forte variation saisonnière avec des amplitudes maximales dans les périodes de février-mars et août-septembre. C'est donc en relation avec les variations irrégulières de l'onde S_1 .

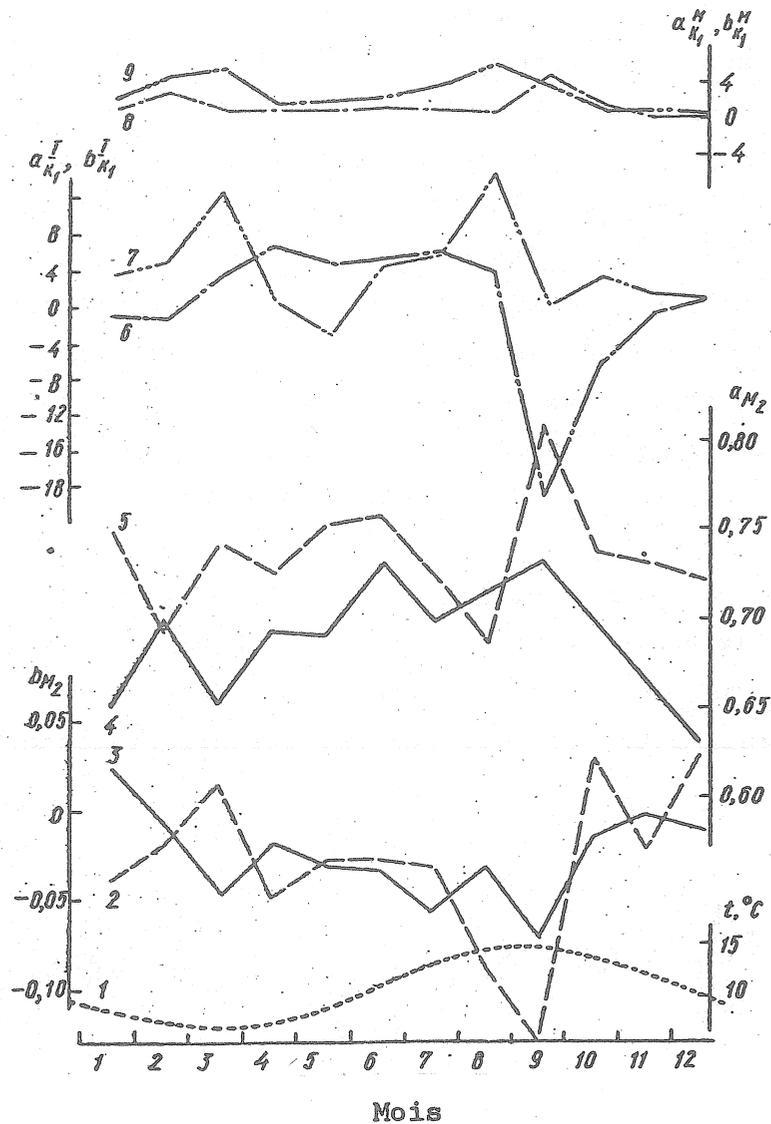


Fig. 3 - Graphiques de la variation de la température moyenne mensuelle a et b d'après les ondes M_2 et K_1 pour 1930 à 1941.

(I est la température, $2_M - b_{M_2}^I$, $3 - b_{M_2M}^M$, $4 - a_{M_2}^M$, $5 - a_{M_2}^I$, $6 - b_{K_1}^I$, $7 - a_{K_1}^I$, $8 - b_{K_1}^M$, $9 - d_{K_1}^M$)

Les indices supérieurs M et I désignent le nom de l'appareil.

De cette façon apparaît une corrélation des variations des ondes K_1 et M_2 , la plus sensible en août-septembre. Il faut alors s'attendre aux plus grandes dispersions des moyennes mensuelles a et b. Pour expliquer cette circonstance, nous étudions une série de dispersions des moyennes mensuelles a et b après avoir appliqué les critères de l'égalité des dispersions de Bartlett [8]. L'application de ce critère est dans notre cas un peu limitée mais nous donne tout de même une raison de juger de l'égalité des dispersions a et b dans les différents mois de l'année pour toute la période des observations et permet d'affirmer que l'ensemble a et b (particulièrement pour l'appareil I) ne doit pas être soumis à la loi normale exigeant une constance de la dispersion.

Il fallait s'y attendre, les observations clinométriques de Poltava ont été faites dans différentes conditions thermiques (voir les graphiques de la variation a_{K_1} et b_{K_1} sur la figure 3 et également γ_{K_1} et γ_{M_2} pour les deux appareils pour toute la période des observations - figure 4).

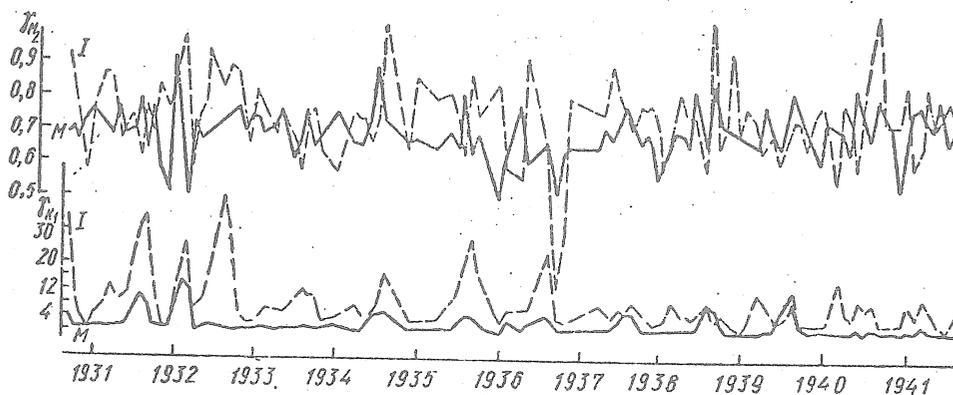


Fig. 4 - Graphiques des variations γ_{M_2} et γ_{K_1} d'après les résultats de l'analyse harmonique des séries mensuelles (pour les appareils M et I).

Cette circonstance donne une raison de considérer que l'onde S_1 influence effectivement l'onde M_2 . On constate sur la figure 4 une tendance à une augmentation de γ_{M_2} au moment d'une augmentation de γ_{K_1} et c'est le plus sensible en février-mars et août-septembre. Dans la comparaison des résultats pour les ondes M_2 et K_1 , la corrélation est masquée par un grand désaccord des résultats pour les séries séparées.

Si on élimine de la série a et b les valeurs correspondant aux périodes indiquées alors nous obtiendrons les résultats de la table 8.

TABLE 8

Pendule	a _{moy}	b _{moy}
M (n = 74)	0,6806 ± 84	- 0,0189 ± 72
I (n = 72)	0,7353 ± 99	- 0,0179 ± 109

TABLE 9

Pendule	a _{moy}	b _{moy}
M (n = 101)	0,6879 ± 82	- 0,0181 ± 78
I (n = 101)	0,7331 ± 83	- 0,0328 ± 142

Ainsi l'élimination de la série générale a et b des valeurs sur lesquelles l'onde S_1 agit le plus probablement donne, par rapport aux valeurs a et b déterminées d'après toute la série d'observations, une divergence qui reste dans les limites des erreurs.

Puisque les valeurs obtenues pour toute la série d'observations a et b ne tiennent pas compte des différences de dispersion des valeurs moyennes mensuelles, nous déterminerons a et b par tout l'ensemble des séries avec des poids inversement proportionnels aux intervalles de confiance pour les valeurs moyennes mensuelles a et b (table 9).

Les derniers résultats sont proches des valeurs calculées d'après la moyenne simple des valeurs a et b pour toutes les séries.

Ainsi, en comparant les données des tables 4 à 9 on peut prendre à titre de valeurs définitives a et b les moyennes arithmétiques (table 4). Les moyennes vectorielles correspondantes γ et x sont les suivantes :

$$\gamma_M = 0,6873 \pm 0,0074$$

$$x_M = + 0^{\circ}33 \pm 0^{\circ}61$$

$$\gamma_I = 0,7325 \pm 0,0092$$

$$x_I = + 0^{\circ}01 \pm 0^{\circ}74$$

La réduction des valeurs moyennes vectorielles γ et x aux directions fondamentales donne :

$$\begin{array}{ll} \gamma_{EW} = 0,691 \pm 0,007 & x_{EW} = + 0^{\circ}90 \pm 0^{\circ}61 \\ \gamma_{NS} = 0,730 \pm 0,009 & x_{NS} = - 1^{\circ}11 \pm 0^{\circ}74 \end{array}$$

Etant donné la petitesse des moyennes vectorielles x , les erreurs des résultats donnés n'ont pas été réduites dans les directions fondamentales. Pour comparaison nous donnons les résultats obtenus par Z.N. Aksentieva après la réduction du même volume d'observations par la méthode des marées faibles [3] :

$$\begin{array}{ll} \gamma_{EW} = 0,667 \pm 0,015 & x_{EW} = + 3^{\circ}0 \pm 0^{\circ}8 \\ \gamma_{NS} = 0,724 \pm 0,021 & x_{NS} = - 3^{\circ}2 \pm 1^{\circ}0 \end{array}$$

Ainsi, la nouvelle réduction en séries mensuelles par la méthode de P.S. Matveyev a donné des résultats qui diffèrent des résultats de la réduction par la méthode des marées faibles. Bien que le signe de l'inégalité azimuthale ait été conservé en γ et que par cela même les résultats diffèrent des déterminations du facteur de marée γ pour les autres stations de la rive gauche de l'Ukraine [9], la réduction en séries mensuelles et l'analyse ultérieure ont permis d'étudier la structure des données d'observations. Cela se rapporte en premier lieu à l'influence de l'irrégularité de la variation de l'onde S_1 sur les données de l'analyse harmonique pour l'onde M_2 .

Il ne faut pas considérer les valeurs des facteurs γ et x données plus haut comme définitives.

Nous essayerons d'évaluer l'influence des inclinaisons de température journalière sur les facteurs γ et x de l'onde M_2 comme caractéristique de la déformation de marée dans les conditions des observations de Poltava.

Nous noterons que pour la composante NS on peut considérer l'onde K_1 avec une certaine approximation comme l'onde S_1 perturbée par l'influence de l'onde K_1 . Cette hypothèse est basée sur la valeur importante déduite par l'analyse des observations de l'onde K_1 . Nous constatons par la figure 5 que le plus petit niveau $\gamma_{K_1}^{EW}$ est environ 1,0 et $\gamma_{K_1}^{NS}$ environ 4,0 c'est-à-dire pour toute une série de onze années d'observations selon la direction NS il n'y a pas de γ_{K_1} inférieur à 4,0. Cette influence systématique de l'onde diurne S_1 a provoqué apparemment une augmentation de γ_{M_2} pour cette composante. Cependant il faut chercher la corrélation entre les résultats des ondes M_2 et K_1 par séries groupées non pas en mois mais en années puisqu'on constate par la figure 5 que l'onde K_1 varie d'une année à l'autre : pour la période 1930 à 1936 nous remarquons non seulement les plus grandes valeurs de l'onde K_1 mais aussi son influence plus évidente sur l'onde M_2 .

Il faut rapporter ce qui a été dit plus haut à l'appareil I (NS). Nous constatons par la figure 5 une certaine corrélation positive entre $a_{M_2}^I$ et $a_{K_1}^I$.

Entre $a_{M_2}^I$ et $b_{K_1}^I$ il existe une corrélation inverse mais elle est tout à fait faible c'est pourquoi dans la suite on n'examinera que la corrélation $a_{M_2}^I$ et $a_{K_1}^I$. Le coefficient de corrélation est égal à + 0,75 avec une probabilité de plus de 0,99.

Une certaine évolution dans les valeurs moyennes annuelles $a_{M_2}^I$ et $a_{K_1}^I$ est provoquée apparemment par les grandes valeurs de l'onde K_1 de 1930 à 1936.

Partant de la corrélation positive $a_{M_2}^I$ et $a_{K_1}^I$ nous représenterons chaque valeur annuelle $(a_{M_2}^I)_{obs}$ sous la forme

$$(a_{M_2}^I)_{obs} = (a_{M_2}^I)_{corrig.} + a_{K_1}^I k \quad (1)$$

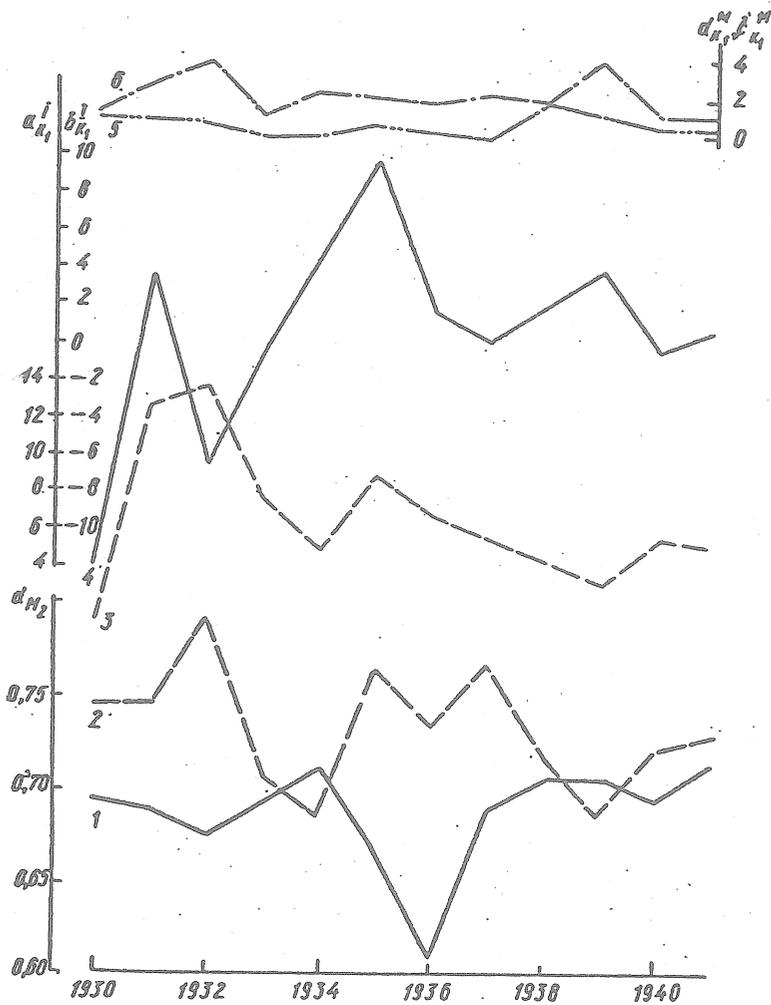


Fig. 5 - Graphiques des variations des valeurs moyennes annuelles a et b pour les ondes M_2 et K_1 de 1930 à 1941

(1 - $a_{M_2}^M$, 2 - $a_{M_2}^I$, 3 - $a_{K_1}^I$, 4 - $b_{K_1}^I$, 5 - $b_{K_1}^M$, 6 - $a_{K_1}^M$)

Après avoir composé de cette façon 12 équations et après les avoir résolues par moindres carrés, nous obtiendrons

$$(a_{M_2}^I)_{\text{corrig.}} = 0,700 \pm 0,017$$

$$k = 0,005 \pm 0,002$$

En tenant compte de b_k^I (1) il faudrait écrire

$$(a_{M_2}^I)_{\text{obs}} = (a_{M_2}^I)_{\text{corrig.}} + a_{K_1}^I k + b_{K_1}^I k' \quad (2)$$

Etant donné la faible corrélation inverse $a_{M_2}^I$ et $b_{K_1}^I$ nous négligerons le dernier terme dans (2).

Pour éliminer plus sûrement l'influence de l'onde S_1 sur l'onde M_2 il faut séparer l'onde S_1 dans chaque série mensuelle et résoudre le système d'équations de la forme (2) composé pour tout l'ensemble des séries mensuelles comme cela a été fait en 10. Il est possible qu'on puisse préciser ainsi d'autres ondes dans les inclinaisons de marées à la station "Poltava" (N_2, S_2, O_1) également aussi pour la composante EW.

Après avoir pris $a_{M_2}^I = 0,700 \pm 0,017$, $b_{M_2}^I = 0,030 \pm 0,09$, nous obtiendrons les valeurs moyennes vectorielles γ et x pour l'appareil I :

$$\gamma_I = 0,701 \pm 0,017 \quad x_I = -0,11 \pm 0,074$$

La réduction de ces valeurs à la direction principale donne

$$\gamma_{NS} = 0,698 \pm 0,017 \quad x_{NS} = -0,84 \pm 0,074$$

Ainsi, après l'élimination de l'influence de l'onde S_1 sur l'onde M_2 , les valeurs des facteurs de marées γ et x pour cette onde, caractérisant la déformation de marée à la station clinométrique "Poltava" doivent être prises comme suit :

$$\begin{aligned} \gamma_{EW} &= 0,690 \pm 0,007 & x_{EW} &= +0,43 \pm 0,061 \\ \gamma_{NS} &= 0,698 \pm 0,017 & x_{NS} &= -0,84 \pm 0,074 \end{aligned}$$

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AKSENTIEVA Z.N., BOULANIETZ V.G., TOKAR V.I.
Rotation et déformations de marées de la Terre, vol. 2 "Naoukova Doumka" K, 1970
- [2] MATVEYEV P.S.
Marées Terrestres "Naoukova Doumka" K, 1966
- [3] AKSENTIEVA Z.N.
Résultats d'une série de onze années d'observations (de 1930 à 1941) sur les variations de la verticale à Poltava.
Travaux de l'observatoire gravimétrique de Poltava II Edit. Ac. des Sc. Ukraine, K 1948.
- [4] ORLOV A. Ia.
Izv. Ac. des Sc. URSS Série Géogra. et Géophys., I, M. 1939
- [5] MELCHIOR P.
Marées Terrestres "Mir" M, 1968
- [6] MATVEYEV P.S.
Analyse harmonique des marées terrestres (série de 29 jours)
Travaux de l'Observ. gravim., XI Edit. Ac. des Sc. Ukraine, K, 1962
- [7] IDELSON N.I.
Procédé des moindres carrés et théorie de réduction mathématique des observations. Edit. Géodés. M. 1947.
- [8] BOLCHEV L.S., SMIRNOV N.V.
Tables de statistique mathématique "Naouka" M. 1965
- [9] AKSENTIEVA Z.N., OSTROVSKII A.E., MATVEYEV P.S.
"Symposium sur l'échange d'essais d'observations clinométriques et sur l'examen critique de leur sens physique"
(Léningrad, 1968) Edit. Ac. des Sc. URSS, géophys. Comité M. 1969
- [10] MATVEYEV P.S., BODGAN I. You. Présente publication, page 85
- [11] JOBERT G
Comm. Obs. Roy. Belg., 142, Sér. Géoph. 47, 1958.

Sur l'augmentation de précision de la détermination
des caractéristiques de phase des inclinaisons de marées

A.M. Koutnii, Ad. Bagmet

Rotation et déformations de marées de la Terre - V pp.46-50 - 1973

Abrégé

Nous examinerons dans ce travail l'une des erreurs instrumentales qui peut conduire à des erreurs systématiques importantes de la détermination de la phase χ : il s'agit de la précision de l'installation du bras du pendule dans l'azimut (méridien ou premier vertical). Ainsi à la latitude de 50° pour les ondes semi-diurnes en composante NS, une erreur de $46'$ provoque une erreur de phase de 1° [2] .

On considère habituellement que le bras du pendule du clinomètre est installé dans l'azimut donné si les vis de réglage de l'appareil sont montées le long de la ligne perpendiculaire à cet azimut. Ceci est correct à condition que le bras du pendule soit rigoureusement perpendiculaire à la ligne qui joint les vis de réglage. Cependant en raison de l'imperfection des procédés de détermination et de l'établissement de la perpendicularité il apparaît nécessaire de déterminer cet angle η de perpendicularité afin d'introduire les corrections correspondantes dans les constantes harmoniques des ondes de marées.

Pour cela on peut utiliser deux procédés :

Premier procédé

L'angle γ peut être déterminé en comparant la position de travail du bras du pendule et la position dans laquelle il est perpendiculaire à la base du clinomètre. La position dans laquelle le bras du pendule est perpendiculaire à la base du clinomètre est facile à déterminer d'après la méthode qui s'applique lors de la détermination de la constante l/g [4] des pendules Repsold-Levitskii. La méthode consiste à amener, à l'aide des vis de réglage, le bras du pendule dans la position pour laquelle les variations de l'angle i entre la verticale et l'axe de rotation du pendule ne provoquent pas d'écart du bras du pendule dans le plan horizontal.

Connaissant la valeur du déplacement du spot lumineux et la longueur du levier optique il est facile de déterminer l'angle de non-perpendicularité du bras du pendule à la base du clinomètre.

Le défaut de cette méthode réside dans le fait que lors de la variation de l'angle i , le bras du pendule ne reste pas rigoureusement perpendiculaire à la base du clinomètre : pour beaucoup de clinomètres, les courbes du mouvement du pendule sont des paraboles ou des sinusoides d'amplitude de 10 à 15 minutes d'arc et parfois plus. La cause réside dans un effet de la pointe des vis de réglage du clinomètre 5 et de l'excentricité de la pointe de la vis de période.

L'erreur réelle de la détermination des angles par cette méthode ne peut être inférieure à ± 10 à $15'$.

Un autre défaut de la méthode directe est qu'il est impossible de l'appliquer si l'angle de non-perpendicularité du bras du pendule est plus grand que le champ angulaire de son déplacement.

Second procédé

La formule reliant trois éléments principaux θ , ψ , i du pendule horizontal, est

$$\theta = \frac{\psi}{i}$$

où θ est l'angle de déclinaison du bras du pendule depuis sa position d'équilibre, ψ est l'angle d'inclinaison de la base de l'appareil dans la direction perpendiculaire au bras du pendule, i est l'angle entre la verticale et l'axe de rotation du pendule.

La différentielle totale de cette équation donne :

$$d\theta = \frac{d\psi}{i} - \frac{\theta}{i} di \quad (1)$$

le bras du pendule se trouvant dans la position de travail d'azimut , le galvanomètre fixe le zéro du courant photoélectrique. Pour une variation de l'angle i d'une valeur Δi l'azimut du bras du pendule varie d'une valeur $\Delta \theta$ et le galvanomètre indique la présence d'un courant photoélectrique. Si l'on incline maintenant la base de l'appareil d'un angle $\Delta \psi$ afin que le galvanomètre fixe à nouveau le zéro du courant photoélectrique, le bras du pendule retournera dans la position précédente.

Ainsi, l'azimut θ du bras du pendule pour une valeur zéro du courant photoélectrique reste constant pour n'importe quelle valeur de l'angle i .

Tenant compte de cela on peut annuler le premier membre de l'équation (1). Nous noterons également que l'angle θ correspondant au zéro du courant photoélectrique n'est rien d'autre que l'angle η de la non-perpendicularité du bras du pendule à la base du clinomètre. Tenant compte de cela la formule (1) prend la forme

$$\eta = \frac{d\psi}{di}$$

Passant aux accroissements finis, nous obtiendrons :

$$\eta = \frac{\Delta\psi}{\Delta i} \quad (2)$$

Ainsi, la formule (2) permet de déterminer la non-perpendicularité du bras du pendule à la base de l'appareil après avoir mesuré l'amplification des angles i et ψ .

On peut mesurer la variation de l'angle i à l'aide de la vis micrométrique, d'un bon niveau astronomique ou de la plateforme. L'accroissement de l'angle ψ a été calculé à partir de la constante électrodynamique I_0 du clinomètre et la valeur du courant I compensant l'inclinaison. La force du courant I connue lors de l'étalonnage des clinomètres [6] se détermine par la formule :

$$I = \frac{UR_3}{R_3R_1 + R_2R_3 + R_3R_5 + R_1R_5}$$

où U est la tension, R_g est la résistance de la bobine de réglage du pendule, R_1, R_2, R_3 sont les résistances du diviseur de tension.

Si on tient compte de ce que la variation de l'angle ψ de l'inclinaison de la base est égale à $\frac{I}{I_0}$ alors la formule (2) prend la forme définitive :

$$\eta = \frac{I}{I_0 \Delta i} \quad (3)$$

Comme on le constate, ce procédé ne tient pas compte de la position du bras du pendule au moment de sa perpendicularité à la base du clinomètre et c'est pourquoi il peut s'appliquer avec succès pour les grands angles η . Il faut rappeler que la formule $\theta = \frac{\psi}{i}$ a été déduite pour le cas des petits angles θ , c'est pourquoi l'erreur de sa détermination croît avec l'angle η . Pour un angle $\eta = 5^\circ$ l'erreur est environ 2'.

Ainsi, on peut appliquer ce procédé avec succès pour déterminer les angles η ne dépassant pas 5 à 10°.

Méthode de mesures

Le clinomètre a été installé de telle sorte que la base de l'appareil soit parallèle à l'axe de rotation de la plate-forme. Il faut tenir compte de ce que l'erreur accidentelle de détermination de l'axe de rotation de la plate-forme agit de manière systématique sur la variation de l'angle. C'est pourquoi la position de cet axe doit être déterminée avec une précision suffisante. Dans notre cas, l'erreur sur la parallèle à l'axe de rotation de la plate-forme ne dépassait pas 3'. On ramène alors le pendule du clinomètre dans la position de travail. Ensuite le haut du levier de la plate-forme est déplacé à l'aide de la vis de l'interféromètre d'une valeur égale à un tour de vis. La valeur du tour de la vis est calibrée à l'aide de l'interféromètre. Si l'angle η n'est pas égal à zéro, l'azimut du bras du pendule varie. Ainsi le galvanomètre s'écarte de la position zéro.

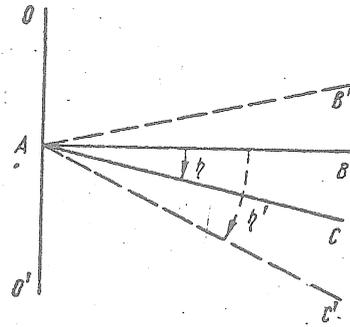
En faisant passer le courant par la bobine du pendule, on le remet dans la position initiale définie par le zéro du courant photo.

Ainsi, la condition $\theta = \text{const.}$ s'obtient par le passage par la bobine du pendule du courant I équivalent à l'inclinaison de la base d'un angle $\Delta\psi$

La valeur du courant est déterminée avec une erreur ne dépassant pas 5 %. Connaissant la constante électrodynamique du clinomètre, d'après la formule (3) nous déterminerons l'angle η .

Pour sûreté, les mesures ont été faites avec des valeurs $\Delta\psi$ de 5 à 10 tours de la vis de l'interféromètre.

Le signe de l'angle de non-perpendicularité du bras du pendule à la base du clinomètre est facile à déterminer d'après le graphique où OO' est l'axe de rotation de la plate-forme, AB - son levier. Supposons que le bras du pendule AC se trouve dans le premier quadrant. La direction du nord s'identifie avec la direction axe de rotation - centre de masse du pendule. Si l'angle i diminue de Δi , l'azimut du bras du pendule s'accroît. Si le bras du pendule se trouvait dans le quatrième quadrant, alors la direction de son mouvement serait opposée.



Cependant il faut encore établir la "polarité" du galvanomètre. Pour cela, on dévisse un peu la vis de réglage du clinomètre placée du côté de l'arrêt et ceci indique la direction du mouvement de l'indicateur du galvanomètre. Cette direction est considérée comme positive car elle correspond à l'augmentation de l'azimut du bras du pendule.

Si on diminue l'angle i de Δi alors, pour γ positif (premier quadrant), l'indicateur lumineux du galvanomètre se déplace dans la direction qui a été prise comme positive. Si le bras du pendule se trouve dans le quatrième quadrant la direction sera opposée

Numéro de l'appareil	I_0 , мкА/сер. дуги	I , мкА	Δi , сек. дуги	γ
1	1,972	3,083	325,7	-0,27
2	1,981	3,130	232,7	-0,38
03	1,018	4,021	221,3	+1,02
05	1,054	7,121	537,8	+0,72
10	0,980	3,178	604,9	-0,31
16	2,025	3,183	465,4	-0,19
18	1,985	3,316	232,7	-0,40
20	1,993	4,012	465,4	-0,25
26	0,975	0,772	465,4	+0,10
28	0,994	2,763	558,4	-0,28
55	0,988	3,373	279,2	-0,71
61	0,994	2,399	232,7	+0,72
92	0,997	3,115	651,5	-0,27
99	0,999	0	651,5	0

Si, pour une diminution de l'angle i la direction de mouvement correspond avec la direction lors du dévissage de la vis de réglage du clinomètre (côté de l'arrêt), le bras du pendule se trouve dans le premier quadrant et l'angle η a le signe plus. Dans le cas inverse, le bras du pendule se trouve dans le quatrième quadrant et il faut attribuer le signe plus à l'angle η .

Nous donnons dans la table les résultats de la détermination de l'angle η pour certains clinomètres photoélectriques. Dans des cas isolés, les angles de non-perpendicularité atteignent $1^{\circ}0$. Si on ne tient pas compte de l'erreur instrumentale cela peut amener à une erreur systématique dans la détermination de λ (à la latitude de 50° , pour la composante NS, l'erreur peut atteindre $1,5^{\circ}$).

CONCLUSIONS

1. La méthode proposée permet de déterminer l'angle de non-perpendicularité du bras du pendule à la base du clinomètre avec une erreur qui ne dépasse pas $3'$.
2. Pour une élimination plus complète des erreurs systématiques sur les constantes harmoniques des ondes de marées, il faut tenir compte du retard instrumental causé par la non-perpendicularité du bras du pendule à la base du clinomètre.

En conclusion, les auteurs expriment leurs remerciements à A.E. Ostrovskii et à V.G. Balenko pour leurs précieux conseils qui ont aidé à la réalisation de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 PARIISKII N.N.
Revue astronomique T 37 V.3. - Edit. Ac. des Sc. URSS, 1960
- 2 SCHNEIDER M.
Zur Bestimmung des Azimuts bei Lotschwankungsmessungen,
B.I.M., N 32, 1963
- 3 OSTROVSKII A.E.
Etude des marées terrestres N° 2 Edit. Ac. des Sc. URSS, 1961
- 4 ORLOV A. Ya.
Sur la détermination de la constante du pendule horizontal d'après
le procédé du prince B.B. Galitzine - Travaux Choisis, T.2, 1960
page 268.
- 5 DUCARME B
Etalonnage des crapaudines au moyen d'un pendule étalon
B.I.M. N° 55, 1969
- 6 CHIROKOV I.A.
Marées Terrestres et structure interne de la Terre
"Naouka" M. 1967

Détermination de la dérive instrumentale du clinomètre

avec agrandissement photoélectrique

A.L. BAGMET

Rotation et déformations de marées de la Terre - V - pp.63-69, 1973

Les causes les plus probables de la dérive d'un clinomètre sont :

- 1°) instrumentales : provoquées par l'imperfection de l'appareil et également par l'influence des variations de la température de l'air dans la salle sur le clinomètre;
- 2°) thermiques : déformation des roches dues à des variations journalières et saisonnières de la température, déformations hydrothermiques de la surface de la Terre, déformations provoquées par les phénomènes météorologiques, déformations d'origine industrielle;
- 3°) les déformations tectoniques englobant les régions importantes géologiques et les structures et également les déformations qui se développent dans les structures locales.

Le problème de la mesure des inclinaisons lentes de la surface de la Terre prend à présent une importance toujours plus grande pour la recherche des signes précurseurs des tremblements de terre, des mouvements actuels de l'écorce terrestre dans les endroits d'installations hydrauliques, la mesure des mouvements tectoniques sur les structures locales et des inclinaisons des importantes installations de génie civil, l'étude de la stabilité des sols etc...

Les méthodes qui indiquent avec une grande précision la somme totale des mouvements sur de grandes surfaces et pour un laps de temps entre deux mesures consécutives, ne donnent pas une vue continue du développement de ces mouvements dans le temps.

Le problème le plus difficile est la découverte des déformations tectoniques régionales de l'ordre de quelques centièmes de secondes d'arc par an. Dans de telles conditions, le paramètre important du clinomètre est sa dérive instrumentale qu'il faut rendre la plus petite possible. A la station d'Obninsk on a fait dans ce but des observations avec des appareils d'Ostrovski mis en parallèle.

Les observations ont été faites à la profondeur de 30 m dans une couche épaisse de calcaire de marbre [1]. Le corridor principal de la mine est orienté suivant le méridien. Dans la partie centrale de l'installation il y a deux embranchements de 50 m à l'ouest et à l'est. Les sorties latérales mènent dans les salles où sont placés des socles en béton, directement sur le calcaire et séparés du sol par une couche de bitume. Toute la mine a été recouverte d'une enveloppe de béton armé reliée de façon monolithique avec le calcaire. La surface intérieure de l'installation a été couverte par une couche de résine d'époxide pour l'isolation d'eau.

La température de l'air dans les salles est environ de 9°C, l'humidité relative est de 85 à 90 %, les variations de la température de l'air ne dépassent pas 0,001 à 0,002°C.

Les clinomètres ont été installés sur une dalle de contrôle en fonte de dimensions de 1 x 0,8 x 0,25 m³ placée sur un socle en béton

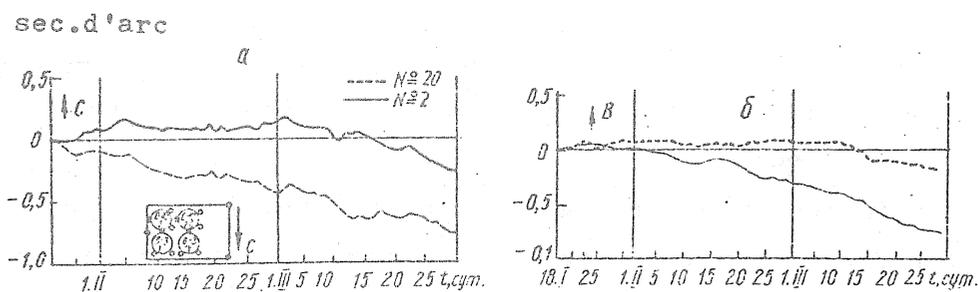


Fig. 1 - Résultats des variations des inclinaisons lentes sur la dalle installée directement sur le socle. Les observations ont commencé directement après son installation sur le socle (voir Obninsk, en 1968).

Observations sur la dalle de contrôle en fonte
se trouvant directement sur le socle

Les premières séries d'observations ont été faites sur la dalle placée directement sur le socle. Quatre clinomètres ont été placés par paires de sorte qu'ils enregistrent les inclinaisons NS et EW (fig. 1). Les valeurs des inclinaisons enregistrées par des appareils parallèles diffèrent sensiblement : pour la composante NS la différence a atteint $0''7$ en 70 jours, ce qui est plus grand que l'inclinaison moyenne ($0''5$), et pour la composante EW est de $0''8$. La cause de cette divergence peut être soit la déformation de la dalle, soit la dérive instrumentale.

La première cause est plus probable car avec le temps la différence des inclinaisons des appareils parallèles devint plus petite.

La figure 2 donne les graphiques des inclinaisons sur la même dalle mais cinq mois après son installation sur le socle. En trois mois la divergence des inclinaisons enregistrées par les appareils N° 1 et N° 10 a diminué jusqu'à $0''2$, soit 30% de l'inclinaison moyenne mesurée, valeur qu'ont obtenue Khorowskii A.V. et Okhotsinskaja M.V. dans la même mine sur un socle en béton dans une salle voisine [2].

Il s'ensuit que :

- a) immédiatement après l'installation de la dalle sur le socle les divergences des indications des appareils parallèles étaient très grandes : 0"3 à 0"4 par mois
- b) après trois mois, les divergences des inclinaisons se sont réduites à 0"21 par mois et sont devenues les mêmes que les divergences des appareils parallèles placés directement sur un socle en béton.

Observations sur une plate-forme en fonte
placée sur calandre

Ainsi, l'installation des clinomètres sur une dalle en fonte placée directement sur un socle en béton n'améliore pas l'allure des inclinaisons mesurées par des appareils parallèles, en comparaison avec leur installation sur le socle. L'une des causes de ce phénomène peut être la diminution lente des déformations de la dalle au moment de son installation sur le socle (le poids de la dalle est d'environ 300 kg). Pour diminuer ces déformations et aussi les déformations thermiques de la dalle, nous avons installé deux points d'appui de la dalle sur des calendres permettant de la déplacer dans deux directions réciproquement perpendiculaires si la température de l'air varie dans la salle. Le troisième point d'appui repose directement sur le socle. On a fait sur la dalle deux séries d'observations.

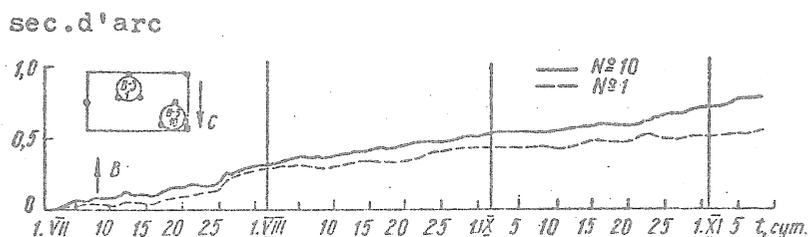


Fig. 2 - Inclinaisons enregistrées par les appareils parallèles sur la dalle 5 mois après son installation sur le socle (voir Obninsk 1968).

Première série

On a placé sur la dalle six clinomètres. La figure 3 montre la situation des appareils et les graphiques des inclinaisons. La plus petite inclinaison a été enregistrée par quatre clinomètres N° 10, 55, 92, 99 et la plus grande par les N° 94, 98. La différence maximale de l'allure des inclinaisons enregistrées par les appareils parallèles dans les deux groupes ne dépasse pas 0"05 en 80 à 90 jours et pour 110 jours la différence est encore plus faible - 0"01 + 0"02.

La table 1 donne les valeurs des inclinaisons enregistrées par six clinomètres.

Les résultats montrent que la dalle fléchit pendant les observations (probablement sous l'effet du poids des clinomètres) et la partie qui fléchit le plus fort est celle qui s'appuie sur un seul point (là où se trouvent les appareils N° 10, 55, 92, 99). Cela se remarque pour les clinomètres N° 94 et 98 qui enregistrent les inclinaisons Est-Ouest, c'est-à-dire du côté où se trouvent les autres appareils.

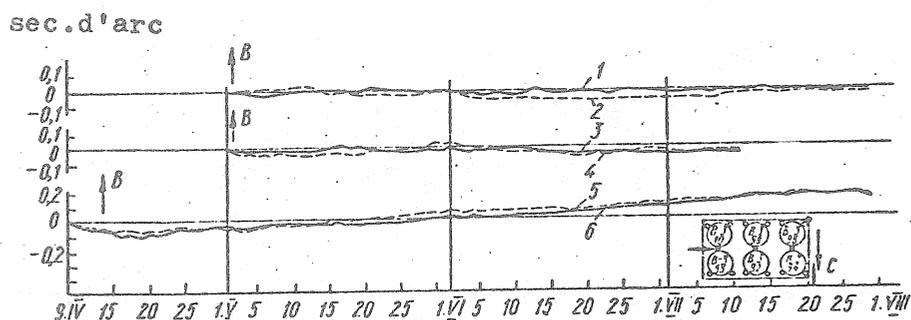


Fig. 3 - Inclinaisons enregistrées par les appareils parallèles placés sur la dalle avec les calandres.

Première série d'observations (Obninsk, 1969)

Clinomètres : 1 - N° 10, 2 - N° 99, 3 - N° 92, 4 - N° 55,
5 - N° 94, 6 - N° 98.

Seconde série

Pour en rechercher les causes, on a fait des essais en permutant les appareils. La figure 4 donne les graphiques des inclinaisons et le schéma des permutations. A la place du N° 98, on a placé le N° 99, au lieu du N° 99, le N° 10 et au lieu du N° 92, le N° 55. On constate qu'après les permutations on a gardé une inclinaison intense sur le bord de la plate-forme qui s'appuie sur deux points - le clinomètre N° 99 a commencé à enregistrer l'inclinaison dans la même direction et les valeurs qu'enregistrait précédemment là le N° 98. De même les clinomètres N° 10 et N° 55 ont confirmé l'existence d'une faible valeur de l'inclinaison sur l'autre partie de la dalle. Par conséquent, pendant les observations, la dalle se déforme et on ne peut comparer les inclinaisons que des appareils parallèles qui se trouvent sur la dalle et qui s'inclinent presque comme un seul ensemble (N° 94 et N° 98; N° 10, 55, 92, 99).

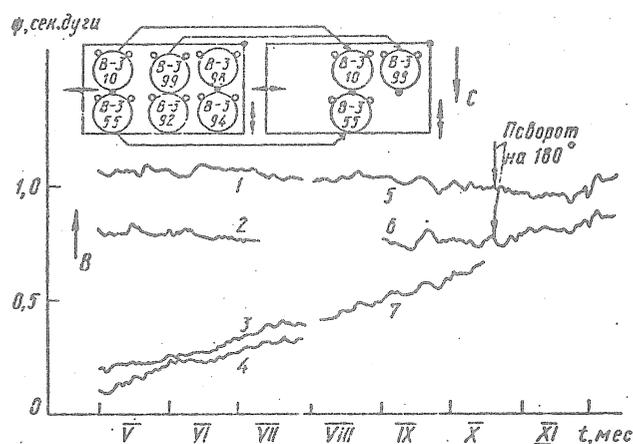


Fig. 4 - Inclinaisons enregistrées par les appareils parallèles placés sur la dalle avec les calandres.

Seconde série d'observations.

La figure supérieure montre le schéma de déplacement des clinomètres dans les limites de la dalle (Obninsk 1969) :

Clinomètres : 1 - N° 99, 2 - N° 92, 3 - N° 98, 4 - N° 94,
5 - N° 10, 6 - N° 55, 7 - N° 99

Tenant compte de cette inconstance, nous résumons en bref les résultats des observations données plus haut.

1. La dalle de contrôle en fonte se déforme probablement sous l'effet du poids des appareils qui y sont placés. La partie de la dalle qui s'appuie sur un seul point fléchit plus fort, ce qu'ont montré les clinomètres N° 94 et 98.

TABLE 1

Composante	Numéro de l'appareil	Durée de l'observation jour	Inclinaison mesurée sec. d'arc.
EW	10	90	- 0,01
EW	55	71	- 0,04
EW	92	71	- 0,04
EW	99	90	- 0,03
EW	98	110	0,12
EW	94	110	0,14

2. La précision des mesures des inclinaisons par le groupe des quatre clinomètres est telle que tous les graphiques de l'allure des inclinaisons pour 70 à 110 jours se trouvent dans une bande d'une largeur de 0"06. Deux autres clinomètres enregistrent des inclinaisons qui divergent entre elles d'une valeur qui ne dépasse pas 0"05.

3. On ne découvre pas de tendance à l'augmentation avec le temps de la divergence dans l'allure des inclinaisons enregistrées par les appareils parallèles. Ainsi la divergence maximale pour les appareils N° 10, 55, 92 et 99 atteint 0"07 alors que pour 71 jours (N° 92 et 55) la différence totale est égale à 0"01 et pour les N° 10 et 99 pendant 90 jours à 0"03. Dans les observations avec les clinomètres N° 94 et 98 la divergence maximale a atteint 0"04 et pour 110 jours la différence totale de l'allure

des inclinaisons était en tout de $0''02$. Il s'ensuit que la valeur maximale de la dérive instrumentale des clinomètres Ostrovski est de moins de $0''05$ pour 100 jours, c'est-à-dire de moins de $0''1$ par an.

Essais d'installation des clinomètres en
enregistrement anti-parallèle (rotation de 180°)

On peut déterminer séparément la dérive instrumentale après avoir placé les clinomètres en enregistrement anti-parallèle. Si l'inclinaison enregistrée par l'appareil renferme une partie importante de la dérive instrumentale alors le clinomètre à 180° doit montrer une direction opposée.

Des appareils en enregistrement anti-parallèle ont été placés dans la station Obninsk dans des conditions de très faibles inclinaisons : environ $0''05$ par mois. Les graphiques de l'allure des inclinaisons sont donnés à la figure 5. Après une rotation de 180° des trois clinomètres, l'allure des inclinaisons n'a pas varié ce qui montre une très faible dérive instrumentale des clinomètres Ostrovski de moins de $0''1$ /an.

La table 2 donne les valeurs des inclinaisons annuelles à la station Obninsk. Dans ces inclinaisons entrent aussi bien la dérive instrumentale que l'inclinaison du socle (dalle). En moyenne l'inclinaison annuelle est égale à $0''137 \pm 0''052$.

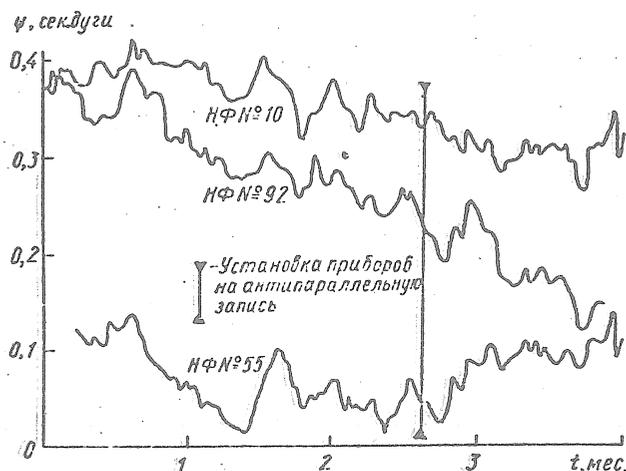


Fig. 5 - Essais d'installation des clinomètres en enregistrement anti-parallèle (Station Obninsk).

TABLE 2

N° de l'appareil	Inclinaison par an sec.d'arc/an
10	0,040
15	0,049
55	0,160
92	0,152
99	0,283
Inclinaison moyenne	0,137
Ecart quadratique moyen	0,052

TABLE 3

Type d'appareil	Station	Inclinaison moyenne annuelle le sec.d'arc/an		Bibliographie
		NS	EW	
VM	Sclaigneaux	-	1,2	[3]
VM	Warmifontaine	-	0,7	[4]
VM	Warmifontaine	0,4	1,0	[5]
VM	Kanne	-	3,0	[6]
Schweydar	Monteponi	0,7	0,7	[7]
Blum	Paris	0,3-0,5		[8]
		1-2		[9]

Nous essayerons maintenant de comparer la valeur de la dérive instrumentale des clinomètres des différents types. On peut obtenir l'estimation maximale de la dérive instrumentale du clinomètre en analysant les résultats de la mesure des inclinaisons lentes dans les régions tectoniquement calmes où les vitesses des inclinaisons doivent être très faibles.

Nous donnons dans la table 3 les inclinaisons moyennes annuelles dans différentes stations obtenues par les clinomètres sans commande à distance.

Le passage à la commande à distance diminue le bruit provoqué par l'observateur et ces appareils enregistrent dans les régions tectoniquement calmes des inclinaisons moyennes annuelles très faibles. Ainsi, nous donnons dans la table 4 les inclinaisons moyennes annuelles dans les différentes stations obtenues par les clinomètres ($H\phi$) avec commande à distance. Les clinomètres avec agrandissement photoélectrique ont une dérive instrumentale insignifiante en valeur, de moins de 0"1/an et probablement même de moins de 0"05/an (voir exemple table 4, $M\phi$ N° 10 et N° 15).

Aussi faut-il accorder une attention particulière au choix de la station et sa protection contre les influences extérieures. Il faut tenir compte qu'on peut obtenir des résultats représentatifs de la mesure des inclinaisons lentes uniquement dans les stations où il n'y a pas d'inclinaisons saisonnières annuelles, très faibles et où on n'observe pas de corrélation de l'allure des inclinaisons avec la variation des facteurs météorologiques.

TABLE 4

Station	Inclinaisons moyennes annuelles sec.d'arc/an	Source bibliographique
Kisselikka	0,2	[9]
Saïani (51)	0,1	[9]
Saïani (66)	0,2	[11]
Saïani (10)	0,3	[11]
Obninsk (10)	0,040))))) le présent travail
Obninsk (15)	0,049	
Obninsk (92)	0,152	
Obninsk (55)	0,160	

Il n'y a pas de doute que les mauvaises conditions d'observations ne peuvent être compensées par l'augmentation de la durée des observations. Il ne faut faire l'enregistrement des inclinaisons qu'avec des appareils avec commande à distance, tenir compte soigneusement et éliminer les erreurs importantes de mesure.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 POPOV I.I.
Observatoire Géophysique Central à Obninsk, Obninsk 1967
- 2 KHOROMSKII A.V., OKLOTSINSKAIA M.V.
Méthode de mesures des marées terrestres et des déformations lentes de la surface de la Terre "Naouka" M. 1970
- 3 MELCHIOR P.
Sclaigneaux 1, Bull. d'Obs. Bruxelles, 1963
- 4 VERBAANDERT J, MELCHIOR P.
Warmifontaine 2, Bull. d'Obs. Bruxelles, 1963
- 5 BRAGARD L.
Etude de la dérive de pendules horizontaux de type différent observée à la station de Kanne (Université de Liège) de 1966 à 1969, en composante EW
6e Symp. Int. sur les Marées terrestres, Strasbourg, 1969
- 6 TRUDU R.
La stazione clinografica di Monteponi nell'anno Geofisico Internazionale. Roma, 1963
- 7 BLUM P.A.
Contribution à l'étude des variations de la verticale en un lieu
Ann. de Géoph. 1963, 19, 3.
- 8 FANDIOUCHINA S.M.
Méthode de mesures des marées terrestres et des déformations lentes de la surface de la Terre - "Naouka" M. 1970.

Traduction

Résultats de l'étalonnage des gravimètres "Askania"
par la méthode de l'inclinaison

I.A. Ditchko, P.S. Korba

Rotation et déformations de marées de la Terre -V pp.73-75- 1973

La détermination de la valeur de division de l'échelle du gravimètre dans le système absolu d'unités et le contrôle constant de cette valeur constituent les éléments les plus importants de la réalisation de n'importe quels travaux gravimétriques et à ce titre des observations des marées terrestres. Les difficultés d'étalonnage sur un polygone sont bien connues. Les principales de celles-ci sont la dérive du gravimètre qui, pour une durée prolongée d'observations, amène à des erreurs importantes et la nécessité de dépenses économiques certaines. Pour cela on applique les procédés d'étalonnage des gravimètres dans des conditions de laboratoire : utilisation du gradient vertical de la force de pesanteur, méthode de l'inclinaison, méthode de suspension de charges et autres.

Dans les gravimètres "Askania" on utilise une installation spéciale pour l'étalonnage par la méthode de suspension de charges qui permet de déterminer avec suffisamment de simplicité et un haut degré de précision la valeur de division de l'échelle. Cependant comme n'importe quel autre dispositif de mesure, il nécessite un contrôle constant. C'est pourquoi les gravimètres "Askania" sont étalonnés périodiquement également sur des polygones [1 à 4] .

Nous avons essayé de déterminer le coefficient d'étalonnage des gravimètres "Askania" par la méthode de l'inclinaison à l'aide de la plate-forme de l'Observatoire de Poltava destinée à l'étalonnage des clinomètres [5].

Il est indiqué dans la littérature que les particularités de construction de ces gravimètres ne permettent pas d'appliquer la méthode de l'inclinaison car lors de l'inclinaison, les indications du galvanomètre varient [6].

On peut cependant éviter cette difficulté par l'application d'un autre galvanomètre (extérieur) pour le branchement duquel le gravimètre a des sorties spéciales*. En outre, avec de petits angles d'inclinaison on peut se servir aussi du galvanomètre intérieur mais il faut tenir compte de la variation de son point nul. Nous noterons que dans notre cas pour une inclinaison de 30' cette variation était de 3,2 et 7,0 divisions respectivement pour les gravimètres n° 159 et n° 185.

A la base de la méthode d'étalonnage par inclinaison on pose le fait que lors de l'inclinaison du gravimètre d'un angle β les indications de l'appareil diminuent de la valeur

$$g = g \frac{\beta^2}{2} \quad (1)$$

où g est la pesanteur au point donné. Il faut mesurer l'angle β depuis la position horizontale du levier du système sensible. La méthode bien connue de construction de paraboles de dépendance des mesures du gravimètre à partir des indications du niveau n'a pas une précision suffisante. Le calcul par moindres carrés du petit angle entre l'horizon et la position initiale à partir de laquelle on calcule l'inclinaison β est plus précis. Les équations de départ utilisées ont la forme

$$C(s_0 - s_n) + g \frac{\beta^2}{2} + g \beta_n \Delta\beta = 0 \quad (2)$$

* L'utilisation du galvanomètre proposé pour l'enregistrement des marées allonge sensiblement le processus de l'étalonnage à cause de sa plus grande inertie.

où C est le coefficient d'étalonnage; s_0 est la lecture initiale du gravimètre correspondant à la position du levier proche de l'horizon; S_n est la lecture du gravimètre pour une inclinaison d'un angle β_n depuis la position initiale; $\Delta\beta$ est le petit angle inconnu entre la position initiale du levier et l'horizon.

Puisqu'avec le dispositif de mesure de la plate-forme on ne peut pas déterminer de grands angles d'inclinaison, nous nous sommes servis de la méthode avec miroir pour la mesure des petits angles [7]. Elle consiste dans l'observation à l'aide d'une lunette de l'image de l'échelle dans le miroir qui, dans notre cas, a été fixé solidement au bâti du gravimètre. La longueur du levier optique était de plus de 9 m.

Pour chaque gravimètre (n° 159 et n° 185) cela a été fait pour deux séries d'inclinaisons avec un intervalle de 10'. L'écart maximum en haut et en bas par rapport à l'horizon était de plus de 30'. Avec ces données, on a résolu par moindres carrés, le système des équations (2) et on a déterminé les inconnues C et $\Delta\beta$. On a donné à chaque équation un poids proportionnel au carré de l'angle d'inclinaison. Les valeurs de la grande division de l'échelle sont données dans la table où nous donnons à titre de comparaison les résultats de l'étalonnage des gravimètres obtenus précédemment et les données du constructeur (q).

Nous constatons que les coefficients d'étalonnage des deux gravimètres n'ont pas subi de variations sensibles. Tous les résultats, excepté celui du constructeur pour le gravimètre n° 185, se trouvent dans les limites des erreurs des mesures.

La bonne concordance des résultats de l'étalonnage des gravimètres sur la plate-forme et par la bille montre que le coefficient E correspondant à l'effet de déplacement de la bille d'étalonnage est donné par le constructeur avec une précision suffisante. Un écart sensible de la valeur de division de l'échelle du gravimètre n° 185 par rapport à la détermination du constructeur (0,130 $\mu\text{gal/div.}$), découvert précédemment [8] est confirmé également par l'étalonnage par la méthode de l'inclinaison.

Cela ne peut expliquer que par une erreur dans le graphique joint au gravimètre pour la variation de la valeur de division de l'échelle en fonction de la mesure

Résultats de l'étalonnage des gravimètres

Méthode	Gravimètre GS-11 n° 159			Gravimètre GS-12 n° 185		
	$\mu\text{gal}/\text{div.}$	Position moyenne de l'échelle	Année	$\mu\text{gal}/\text{div.}$	Position moyenne de l'échelle	Année
Inclinaison	$7,148 \pm 0,018$	-	-	$17,798 \pm 0,069$	-	-
Inclinaison	$7,147 \pm 0,022$	-	-	$17,887 \pm 0,071$	-	-
Moyenne des 2 précéd.	$7,147 \pm 0,014$	43,4	1972	$17,842 \pm 0,050$	40,8	1972
Bille	$7,123 \pm 0,002$	43,9	1972	$17,828 \pm 0,004$	44,9	1972
Idem	$7,100 \pm 0,002$	43,7	1961	-	-	-
Polygone	$7,098 \pm 0,001$	47,3	1961	-	-	-
Bille	$7,102 \pm 0,001$	44,7	1968	$17,812 \pm 0,004$	40,0	1968
Polygone (selon le constructeur)	$7,108 \pm 0,014$	43,0	1960	$17,681 \pm 0,035$	40,0	1964

Nous constatons que la précision des résultats obtenus par la méthode de l'inclinaison est suffisante pour les observations de marées terrestres. En cas de nécessité, on peut l'améliorer par une simple augmentation du nombre d'observations.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 DOBROKHOTOV Ion. S.
Recherches gravimétriques. Edit. Ac. des Sc. URSS, M 1960
- 2 DOBROKHOTOV Ion. S., IVANOVA M.V., SCHEGLOV S.T.
Recherches gravimétriques. Edit. Ac. des Sc. URSS, M 1960
- 3 DOBROKHOTOV Ion. S.
Etude des marées terrestres "Naouka" M 1964
- 4 DITCHKO I.A.
Travaux de l'observatoire gravimétrique de Poltava - 12
Edit. Ac. des Sc. d'UkraineK, 1963
- 5 GOLOUBITSKEI V.G.
Rotation et déformations de marées de la Terre v.l.
"Naoukova Doumka" K, 1970
- 6 SCHOKIN P.F.
Gravimétrie. Edit. Géodés. M, 1960
- 7 GALITZINE B.B.
Travaux choisis 2. Edit. Ac. des Sc. URSS M, 1960
- 8 AKSENTIEVA Z.N., KORBA P.S., LISSENKO G.M.
Rotation et déformations de marées de la Terre v.l
"Naoukova Doumka" K, 1970
- 9 Schwermesser GS-11. Askania-Werke A.G. Berlin - Fridenau, 1959,
1964.

Ein Vorschlag zur Beschleunigung des Analysenverfahrens

Chojnicki

=====

von K. SCHÜLLER *)

I. Bestimmung der plausibelsten Schwingungsparameter δ und K gemäß dem Verfahren von Chojnicki

I. 1 Das funktionale Modell

Ausgehend von blockweise äquidistanten, gleichgewichtigen Werten der gemessenen Gezeitenregistrierung, die im Beobachtungsvektor

$$\underline{y}^T = [y_1, y_2, \dots, y_n] \quad (1)$$

zusammengefaßt sind, lauten die Verbesserungsgleichungen:

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{y} \quad (2)$$

In (2) bedeuten:

a) $\underline{v}^T = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ - Verbesserungsvektor (2a)

b) $\underline{x}^T = [a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_u, b_u, c]$ - Unbekanntenvektor (2b)

mit $a_i = \delta_i \cos K_i$

$b_i = \delta_i \sin K_i \quad i = 1, 2, \dots, u$ (2c)

$c = \text{const}$

c) \underline{A} -- Verbesserungsgleichungskoeffizientenmatrix mit den Elementen

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} A_{t_1}^1 & B_{t_1}^1 & A_{t_1}^2 & B_{t_1}^2 & \dots & A_{t_1}^u & B_{t_1}^u & 1 \\ A_{t_2}^1 & B_{t_2}^1 & A_{t_2}^2 & B_{t_2}^2 & \dots & A_{t_2}^u & B_{t_2}^u & 1 \\ \dots & \dots \\ A_{t_n}^1 & B_{t_n}^1 & A_{t_n}^2 & B_{t_n}^2 & \dots & A_{t_n}^u & B_{t_n}^u & 1 \end{bmatrix} \quad (2d)$$

*) Dipl.-Ing. K. Schüller, Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn

mit

$$A_{t_j}^i = \sum_{k=1}^{m_i} H_{iK} \cos(\omega_{iK} t_j + \phi_{iK})$$

$$B_{t_j}^i = -\sum_{k=1}^{m_i} H_{iK} \sin(\omega_{iK} t_j + \phi_{iK})$$

$j=1,2, \dots, n$

n = Anzahl der Registrierwerte

u = Anzahl der in Ansatz gebrachten Frequenzbänder

m_i = Anzahl der im Frequenzband Nr. i enthaltenen theoretischen Partialtiden

H_{iK} , ω_{iK} , ϕ_{iK} = Schwingungsparameter der theoretischen Partialtide Nr. K im i -ten Frequenzband

Aus dem Minimumsprinzip

$$\Omega = \underline{v}^T \underline{v} = \text{Min} \quad (3)$$

folgen bekanntlich die Normalgleichungen

$$\underline{A}^T \underline{A} \underline{x} - \underline{A}^T \underline{y} = \underline{0}, \quad (4)$$

deren Lösung

$$\underline{x} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{y} \quad (4a)$$

die Unbekannten a_i , b_i sowie c ergibt. Gemäß (2c) werden dann die Schwingungsparameter δ_i und κ_i bestimmt, während die Verbesserungen \underline{v} durch Einsetzen von (4a) in (2) berechnet werden können.

I.2 Die Vorausgleichung zum Zwecke der Gangbestimmung

Da Chojnicki in (2) nur die ganz-, halb- und dritteltägigen theoretischen Partialtiden in Ansatz bringt (ausgenommen im Sonderfall *à priori* gangbefreiter Daten), enthalten die Verbesserungen \underline{v} nicht nur zufällige Anteile, da (2) nur dann gilt, wenn die Registrierwerte y_j um die Gangwerte einschließlich langperiodischer Anteile D_j vermindert werden, also

$$\underline{v} + \underline{y} - \underline{D} = \underline{Ax} \quad (5)$$

$$\text{oder } \underline{v} - \underline{D} = \underline{Ax} - \underline{y} = -\underline{v}^* \quad (5a)$$

Aus (5a) folgt aber, daß die Zielfunktion

$$\bar{\Omega} = (\underline{v} - \underline{D})^T (\underline{v} - \underline{D}) = \underline{v}^{*T} \underline{v}^* \quad (6)$$

minimiert wird und nicht $\Omega = \underline{v}^T \underline{v}$, was dazu führt, daß auch die Unbekannten (vergl.(4a)) "verzerrt" werden. Denkt man sich nämlich y_j zerlegt in

$$y_j = S_j + D_j + \xi_j$$

mit S_j = ganz-, halb-, dritteltägige gemessene Gezeiten

D_j = langperiodische Gezeiten + Gang

ξ_j = zufälliger Anteil ,

so ergibt sich für \underline{v}^* mit $\underline{M} = \underline{Ax}$

$$\underline{v}^* = \underline{S} - \underline{M} + \underline{D} + \underline{\xi} \quad (7)$$

Die \underline{v}^* werden sodann einer Pertsev-Filterung unterworfen, bei der die Anteile \underline{S} - \underline{M} und $\underline{\xi}$ weitestgehend getilgt werden. Diese Filteroperation läßt sich als lineare Transformation der \underline{v}^* mittels der Filtermatrix \underline{P} deuten, so daß

$$\underline{D}_p = \underline{P} \underline{v}^* \quad (8)$$

den Gang nach Pertsev ergibt. \underline{D}_p ist gegenüber \underline{v}^* am Anfang und Ende um die Filterlänge des Pertsev-Filters verkürzt. Der sich auf diese Weise ergebende Gang \underline{D}_p wird nun von den Registrierwerten abgezogen, wobei vorher die entsprechende Verkürzung der Originaldaten am Anfang und Ende um die Filterlänge des Pertsev-Filters durch Anwendung des linearen Operators

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

vorgenommen werden muß. Mit (7) und (8) erhält man nach Chojnicki für die gangbefreiten Daten \bar{y}_j

$$\bar{y} = \underline{Z} \underline{y} - \underline{P} \underline{v}^* = \underline{Z} (\underline{S} + \underline{D} + \underline{\xi}) - \underline{P}(\underline{S} + \underline{D} + \underline{\xi}) + \underline{P} \underline{M} \quad (10)$$

Mit diesem Ergebnis endet die sogenannte Vorausgleichung. Die sich anschließende Endausgleichung besteht darin, daß die gangbefreiten Daten einer erneuten Analyse unterworfen werden, die dann endgültige Amplitudenquotienten δ bzw. γ und Phasenverschiebungen K liefert.

II. Beschleunigung des Analysenverfahrens "Chojnicki" durch Gangbestimmung mittels direkter Pertsev-Filterung der Originaldaten.

Wendet man den Pertsev-Filter auf die Originalbeobachtungen an, so ergibt sich

$$\underline{D} = \underline{P} (\underline{S} + \underline{D} + \underline{\xi}) \quad (11)$$

Gangbefreite Daten erhält man entsprechend (10) :

$$\underline{y}^* = \underline{Z} (\underline{S} + \underline{D} + \underline{\xi}) - \underline{P} (\underline{S} + \underline{D} + \underline{\xi}) \quad (12)$$

Vergleicht man (12) mit (10), so unterscheiden sich beide Arten von gangbefreiten Daten um:

$$\underline{\Delta y} = \underline{\bar{y}} - \underline{y}^* = \underline{P} \underline{M} \quad (13)$$

Da \underline{M} jedoch nur Schwingungen mit Winkelgeschwindigkeiten des in Ansatz gebrachten Bezugsmodells der ganz-, halb- und dritteltägigen theoretischen Gezeiten enthält, werden diese durch den Pertsev-Filter hinreichend genau eliminiert, also

$$\underline{\Delta y} = \underline{PM} = \underline{0}$$

Somit ist gezeigt, daß gangbefreite Daten als Ergebnisse der Vorausgleichung äquivalent einer direkten Pertsev-Filterung der Originaldaten ist. Es kann daher die Vorausgleichung durch eine direkte Pertsev-Filterung ersetzt werden.

S u m m a r y:

It is shown that in modifying Chojnicki's analysis method by replacing the pre-adjustment and Pertsev-filtering of the residuals (for the purpose of drift determination) by a direct Pertsev-filtering of the observations, nearly 40% of computer time (CPU) can be saved without significant loss of accuracy.

Literatur:

T. CHOJNICKI: Ein Verfahren zur Erdgezeitenanalyse
in Anlehnung an das Prinzip der
kleinsten Quadrate

Mitteilungen aus dem Institut für
Theoretische Geodäsie der Universität
Bonn, Heft Nr. 15, 1973

H. WOLF Ausgleichungsrechnung nach der
Methode der kleinsten Quadrate
Dümmler Verlag, Bonn, 1968

EARTH TIDES IN 1974

(A report from the International Centre for Earth Tides)

by

P. Melchior

A. Introduction

The Earth tides research field has been much enlarged since 1957 when, with the impulse of the International Geophysical Year, a program was developed for the continuous registration of this phenomenon.

At that epoch, the problem could be considered as restricted to some special investigation on the physics of the Earth's interior. Its importance resulted from the fact that it is the only known geophysical phenomenon for which one is able to compute a priori, and with very high precision, the acting forces as well as their frequencies (tidal frequencies are known with eight digits exact!). Owing to the smallness of the measured amplitudes, it seemed however to be without real practical meaning for other research fields.

The development of new techniques, with always higher precision requirements has radically changed this view in the six different fields as described here :

1. Fundamental Astronomy

The unicity of the precession-nutations phenomenon and of the diurnal tesseral earth tides has been understood and demonstrated. This is of particular importance with respect to the liquid core dynamical effects (see § 6).

A similar relation must exist between the Moon's librations and the tidal deformations of the Moon.

The determination of the irregularities of the rotation of the Earth, including the polar motion, derived from doppler tracking of satellites, laser measurements of the Earth-Moon distance or by very long base interferometry implies a very precise determination of the total earth tide.

On the other hand the phase lag of the semi-diurnal sectorial earth tides is a basic factor producing the secular retardation of the Earth's rotation and it is a parameter representative of the Earth's viscosity (see § 6).

There is now some hope that we could be able to derive it in the next ten years.

2. Space Dynamics

- a) The perturbing effects of tidal variations of the Earth potential on artificial satellite orbits have been derived from the observations themselves by R. Newton and by Y. Kozai. They amount to as much as 50 meters on a satellite position.
- b) As laser distance measurements to the Moon and satellites will have ratings of some centimeters and as the radial tidal deformation reaches an amplitude of 30 to 40 cm, the latter must be taken into account. But (as reported by J. Derral Mulholland to Cospar) a simple analytical elastic earth-model being insufficient to calculate exactly this tidal deformation, experimental measurements are necessary at the sites concerned.

3. Gravimetry

Absolute determinations of g are made now with a precision of nearly one microgal (10^{-9}) (Sakuma, Faller). The comparison of such determinations made at different sites and at different epochs also depends upon the precision with which the tidal correction can be given. Special high precision gravity profiles presently developed (Scandinavia) request a comparable precision. Here again a simple analytical model is not sufficient.

In equatorial regions, the tidal variations of gravity amount to 0.4 milligal. If the local elastic factors and local phase lags are not measured in a reasonable number of stations, systematic errors of 10% can be expected.

In the same way, when high precision gravity base lines are developed (a recent exemple is the new line Port Moresby - Hobart), the tidal parameters (amplitude and phase) must be measured at these stations to insure that no systematic errors, even little, can be introduced in the base line through some erroneous tidal corrections.

4. Oceanography

Ocean-continent interactions are carefully investigated in Marine Geodesy. Transcontinental tidal profiles are now under way in the United States, in Europe and in Asia in order to determine with precision the loading effects produced by the oceanic tides on the upper crust.

The Asiatic profile just undertaken already, gives quite different results than the European profile because the distribution of oceanic tides in the Atlantic Ocean is mostly of semi-diurnal type while it is of diurnal type in the China Sea.

There is a serious hope that one will be able to solve the inverse problem, that is to improve the cotidal and corange charts on the basis of the amplitudes and phases observed on the mainland for the solid earth tide (J.T. Kuo's programme).

5. Tectonics

Harmonic constants (amplitude and phase) of the main tidal waves determined at many places could perhaps give new informations on the plates constituting the earth's crust.

Stations have been occupied on the Philippine plate to check if this is a reasonable possibility.

6. Physics of the Earth's interior

To describe easily the global elastic behaviour of the Earth one uses convenient fundamental parameters called Love's numbers.

The determination of these numbers is evidently a basic goal in the earth's tide study.

As indicated by Poincaré and later on by Jeffreys, Jeffreys-Vicente and Molodensky, a resonance due to dynamical effects in the liquid core causes a perturbation in the Love's numbers values for waves having their frequency near the resonance. Therefore we carefully separate these waves from the other ones by harmonic analysis. New investigations are presently under way at the International Earth Tide Center on six very long series (3000 to 4000 days) obtained with quartz horizontal pendulums to try to determine the fine structure of the diurnal spectrum.

On the other hand, the measure of the eventual lag of the tides with respect to the acting potential should give basic informations on the viscosity of the Earth. The present results show a clear regional distribution but the extension of the world net will help to understand correctly this effect.

B. Program of measurements

1. Results of 14 years observations (1960-1974)

A great part of these investigations have been conducted under supervision or with support of the International Centre of Earth Tides located at Brussels. This Centre was founded in 1958 under the direction of P. Melchior.

New instruments (quartz horizontal pendulums VM), calibration devices, methods of computation, computer programs have been developed at the Centre.

Presently Bruxelles Centre is a fundamental world point for calibration of instruments (tiltmeters and gravimeters).

The new problem arising now is the determination of radial tidal deformation which is necessary to correct laser distance measurements. This deformation is described by the first Love number called h . It can not be determined directly but current earth tide measurements give two simple arithmetic combinations containing h :

the ratio of observed to theoretical tidal amplitude measured with a gravimeter

$$\delta = 1 + h - \frac{3}{2} k \quad (\text{vertical component})$$

and the similar ratio measured with a tiltmeter :

$$\gamma = 1 + k - h \quad (\text{horizontal component})$$

Thus, for h determination, it should be necessary to install not only gravimeters but also horizontal pendulums or vertical pendulums.

Horizontal pendulums are cheap and of easy maintenance (once a week) but one needs a 50 meters deep place to install them. If one can find a mine in the vicinity of laser stations, it could be done.

Vertical pendulums are very expensive and one has to drill a borehole 50 meters deep to have a good installation. The borehole is also expensive but not so much as a special galery. But the azimuth of the instrument must be controlled at the moment of the installation at such a depth. Until now nothing has yet been published or available to have a clear idea of the performances of this instrument (calibration, phase lag etc...).

From present experience, european stations equipped with VM horizontal quartz pendulums have given very consistent results in EW component, for the diurnal tidal waves called K_1 (period 1 sidereal day - associated to the Luni-Solar precession), P_1 (period 1 solar day - associated to the six months solar nutation) and O_1 (period 1 lunar day - associated to the lunar fortnightly nutation). O_1 is practically static and not disturbed by indirect oceanic effects. Mean values for 14 stations (18.056 days of observations) are just now :

	observed	<u>factor $\gamma = 1 + k - h$</u>	
		Molodensky models	
		I	II
K_1	0.743 ± 0.004	0.734	0.730
P_1	0.705 ± 0.015	0.699	0.697
O_1	0.679 ± 0.005	0.688	0.686

433.864 hourly readings

in agreement with Molodensky Earth's models with a liquid core.

For the gravimeters the situation is more complex because some instruments, although excellent, seem to have been uncorrectly calibrated.

After some discussion and eliminations, one obtains for 18 stations (10.512 days of observations) :

	observed	<u>factor $\delta = 1 + h - 3/2 k$</u>	
		Molodensky models	
		I	II
K_1	1.148 ± 0.002	1.136	1.142
P_1	1.155 ± 0.030	1.154	1.158
O_1	1.162 ± 0.001	1.161	1.164

252.288 hourly readings

also in agreement with Molodensky model.

From these data we can derive the following experimental values :

	K_1	P_1	O_1
h	0.474	0.573	0.638
k	0.217	0.279	0.317
k/h	0.458	0.486	0.497

As a theoretical relation gives (for $C/Ma^2 = 0,333$) :

$$k/h = 0.4989$$

in the case of homothetic deformations and, without this assumption :

$$k/h \leq 0.4989$$

we can be satisfied with O_1 value.

Consequently, as a first approximation one can recommend to adopt $k/h = 0.499$ and check the values of h and k at each place from tidal gravity variations only which should indicate if there is any anomalous behaviour at the place concerned.

Such a check is necessary because the known numerical results concern presently only one part of Europe. As an exemple Scandinavia is giving quite different results for gravimeters but not for pendulums.

2. The Trans World Tidal Gravity Profiles

Several North American profiles have been completed by John T. Kuo covering United States and South East of Canada. They are tied with Bruxelles station (calibrations are in agreement within 0,5 % between Bruxelles and New York).

Several European profiles are also completed by the International Centre for Earth Tides (B. Ducarme and P. Melchior) from South of France, Italy, Austria through Germany, Switzerland, Belgium, Holland, Denmark and England (figure 1). Other stations are planned in Spain (J.M. Torroja), Portugal and Scandinavia (M. Bonatz). A separate profile has been made in Finland (T. Honkasalo). All the instruments have been calibrated at Bruxelles for amplitude and phase.

To solve the different described problems, it is of primary importance that the different transcontinental profiles will be tied together.

A first positive step has been completed by making a 4 months period of observation at Torshavn/Faeroe.

This should allow to tie Europe with North America as stations are occupied presently in Iceland (Reykjavik) and in Greenland (Godhavn) and later on in the Labrador.

The "Trans World Profile I" has been undertaken by the International Centre for Earth Tides in november 1973 from Bruxelles to Asia and includes already nine stations : C airo, Hyderabad, New Delhi, Kathmandu, Bangkok, Chiang Mai, Manila, Hong Kong and Port Mor esby (figure 2) where preliminary values have already been determined for the main tidal parameters.

One month observations made by UCLA at Baguio (100 km north of Manila), at Saigon and at Delhi has been reanalysed by the new methods (see § 4) and gives results in close agreement with ours.

This experience will be continued in Australia in 1975 at Darwin, Alice Springs, Broken Hill, Canberra, Perth, Charters Tower and Hobart.

Bruxelles has been tied to Japan by T. Sato in 1974, using two different gravimeters.

On the other hand several stations have been occupied in the Southern hemisphere by M. Bonatz (Bonn University) at Kerguelen Islands, La Réunion and in South West Africa.

A project exists also to make measurements in South America in 1976 or 1977, with the cooperation of the Geodetic Institute of Tucuman University (J.C. Usandivaras).

3. The Underground Laboratory at walferdange (Luxembourg)

In 1974 great efforts have been made to develop the exceptional possibilities offered by the Ministry of Culture of the Grand Duchy of Luxembourg and the Royal Observatory of Belgium in the gypsum mine at Walferdange.

The good conditions in this mine permitted to install many instruments with sophisticated registration and calibration systems and permitted to realize a comparison of instruments of different constructions :

- a) two sets of VM quartz pendulums with one set of Tsubokawa electromagnetic pendulums
- b) two Cambridge invar wire extensometers with one Ozawa super invar bar extensometer
- c) five Gravimeters of Geodynamics, LaCoste-Romberg and Askania type
- d) one vertical extensometer which has given a new kind of numerical information about radial deformations (published in Physics of the Earth and planetary interiors).

All these results are now prepared for publication.

This work, organized by the International Centre for Earth Tides has involved the following Institutions and people :

Ministère des Affaires Culturelles Luxembourg (J. Flick)
 Observatoire Royal de Belgique Bruxelles
 (P. Melchior, B. Ducarme, J.M. Van Gils,
 M. Van Ruymbeke, A. Vandewinkel, C. Verstraete)
 Universität Bonn (M. Bonatz)
 Universität Darmstadt (E. Groten, C. Gerstenecker)
 University of Cambridge (U.K.) (G. King, R. Bilham)
 Earthquake Research Institute Tokyo (I. Tsubokawa, Yanagisawa)
 Geophysical Institute, Univ. Kyoto (I. Ozawa)
 Intern. Latitude Observatory Mizusawa (Ch. Sugawa)
 Lamont Doherty Geol. Obs. New York (J.T. Kuo)

All the measurements of the registered curves and the computations have been performed at the International Centre.

4. Measurements and Programs for computations

The tidal curves are measured with a semi-automatic machine and directly stored on magnetic tapes (minicassettes).

The computations are performed on an IBM 360/44.

B. Ducarme has revised and greatly improved the whole chain of programs to improve their efficiency:

Program 1 introduces julian epochs for all data and by application of Numerical filters allows to check for readings errors or for jumps in the curves. The corrections to be eventually applied to some readings are given by the program itself.

Program 2 prepares calibration values for any kind of instrument (pendulum, gravimeter or extensometer) and for any kind of calibration device.

Program 3 is the application of calibration and of daily filters (Venedikov) for separation of diurnal, semi-diurnal and ter-diurnal components.

Program 4 is the final procedure of analysis. It is extremely flexible as it can be used for any kind of tidal phenomenon, it provides global analysis of all the available data (with gaps) or successive 30 days analysis (to check internal stability).

It uses the luni-solar potential development of Cartwright-Tayler-Edden with all waves (363) or with the limited number of principal waves (83) for short intervals.

The results may be printed or punched on cards.

The catalogue of stations and instruments descriptions having been put on a disk pack, this description is printed (or punched) as a heading for the numerical results.

This organization reduces to practically nothing the clerical work and minimizes the possibilities of errors.

Copies of these programs have been given to several cooperating Institutes in Germany (Hannover, Darmstadt), Sweden (Stockholm), Finland (Helsinki), Japan (Mizusawa), Thailand (Bangkok), Rumania (Bucarest), USA (A F Cambridge Res. Lab.)

Miscellaneous

Other activities performed by the International Centre since its foundation (i.e. Translations, publications, bibliography, data center etc...) have been regularly continued.



Figure I

- B BAGUIO (UCLA)
- D DELHI
- MZ MIZUSAWA
- BK BANGKOK
- H HYDERABAD
- P PORT MORESBY
- C CAIRO/HELWAN
- K KATHMANDU
- S SAIGON (UCLA)
- CM CHIANG MAI
- M MANILA
- HK HONG KONG

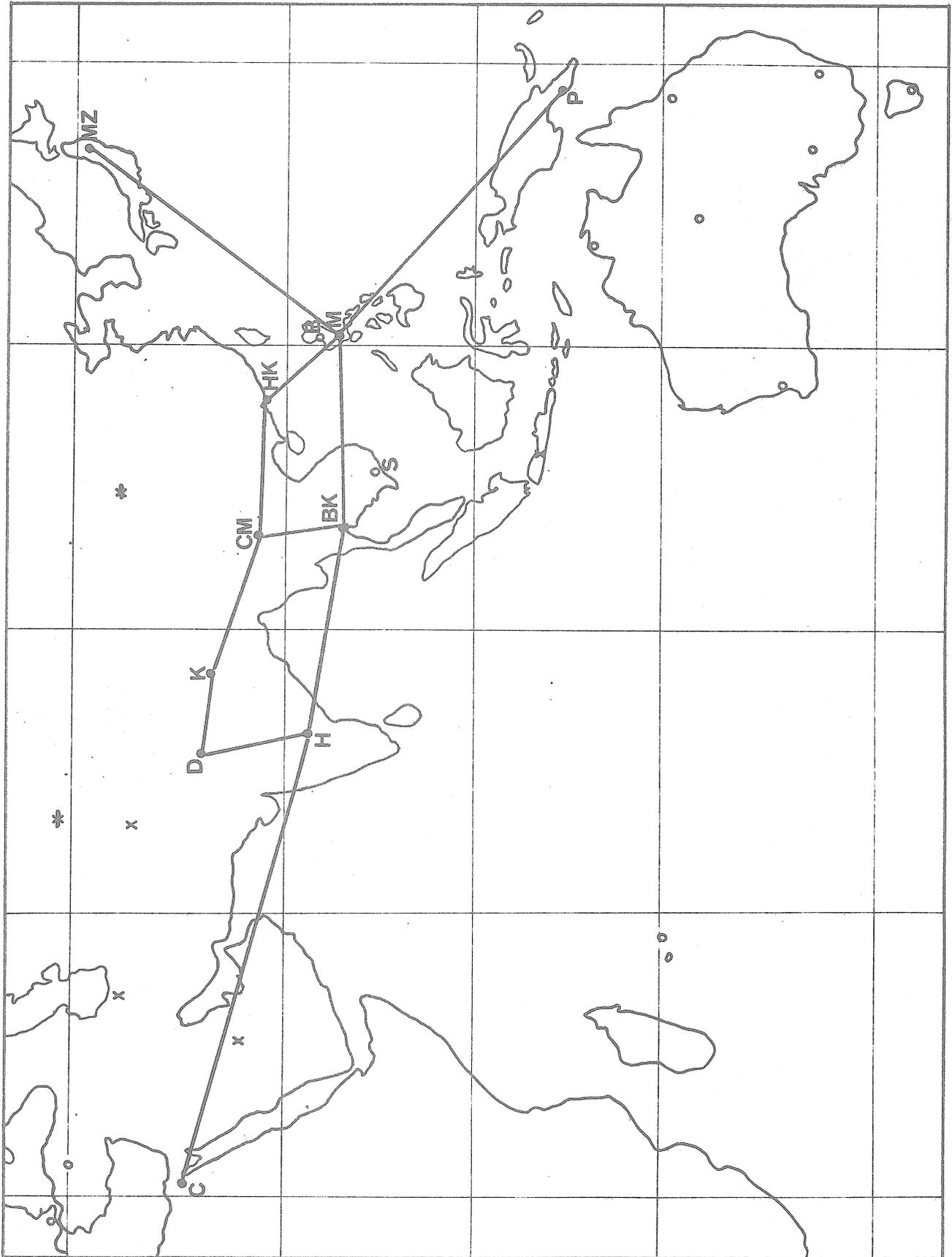


Figure II

TABLE 1
BIBLIOGRAPHIE GENERALE
DES
MAREES TERRESTRES

NOMBRE D ARTICLES RECENCES

	I	SUPP 1	SUPP 2	TOTAL	CUMULE
1800-49	2			2	2
1850-74	7			7	9
1875-99	61	1		62	71
1900-09	16			16	87
1910-19	45			45	132
1920-24	18	1		19	151
1925-29	32			32	183
1930-34	53	1		54	237
1935-39	30			30	267
1940-44	26	1		27	294
1945-49	27			27	321
1950-54	127	1		128	449
1955-57	116			116	565
1958	66	1	1	68	633
1959	36	1	1	38	671
1960	96			96	767
1961	86	2	2	90	857
1962	51		1	52	909
1963	88	1	1	90	999
1964	117	2		119	1118
1965	58		3	61	1179
1966	86	1	4	91	1270
1967	68	3	2	73	1343
1968	64	2	2	68	1411
1969	77	2	3	82	1493
1970	157	5	5	167	1660
1971	99	31	3	133	1793
1972		85	8	93	1886
1973		135	40	175	2061
1974			69	69	2130
TOTAUX	1709	276	145	2130	

T A B L E 2

BULLETIN D INFORMATIONS DES MAREES TERRESTRES.

EDITEUR - PROF. P. MELCHIOR

NO.	DATE D EDITION	PAGES	ANNEES	PAGES
1	DECEMBRE 1956	12	1956	12
2	JANVIER 1957	15		
3	FEVRIER 1957	33		
4	MARS 1957	9		
5	AVRIL 1957	15		
6	JUIN 1957	15		
7	AOUT 1957	6		
8	OCTOBRE 1957	32		
9	DECEMBRE 1957	14	1957	139
10	FEVRIER 1958	34		
11	AVRIL 1958	5		
12	MAI 1958	8		
13	SEPTEMBRE 1958	10	1958	57
14	JANVIER 1959	21		
15	MARS 1959	25		
16	AOUT 1959	12		
17	DECEMBRE 1959	24	1959	82
18	MARS 1960	21		
19	JUIN 1960	17		
20	JUILLET 1960	40		
21	SEPTEMBRE 1960	47		
22	DECEMBRE 1960	45	1960	170
23	JANVIER 1961	21		
24	AVRIL 1961	18		
25	SEPTEMBRE 1961	41		
26	NOVEMBRE 1961	67	1961	147
27	MARS 1962	38		
28	MAI 1962	22		
29	AOUT 1962	41		
30	NOVEMBRE 1962	68	1962	169
31	FEVRIER 1963	61		
32	MAI 1963	78		
33	SEPTEMBRE 1963	121		
34	NOVEMBRE 1963	100	1963	360
35	FEVRIER 1964	50		
36	MAI 1964	58		
37	SEPTEMBRE 1964	56		
38	NOVEMBRE 1964	62	1964	226

39	AVRIL 1965	81		
40	JUILLET 1965	85		
41	SEPTEMBRE 1965	37		
42	DECEMBRE 1965	44	1965	247
43	MARS 1966	79		
44	JUILLET 1966	85		
45	NOVEMBRE 1966	85		
46	DECEMBRE 1966	71	1966	320
47	AVRIL 1967	105		
48	JUILLET 1967	108		
49	OCTOBRE 1967	80	1967	293
50	FEVRIER 1968	86		
51	JUIN 1968	79		
52	DECEMBRE 1968	90	1968	255
53	MARS 1969	55		
54	MAI 1969	64		
55	SEPTEMBRE 1969	78		
56	DECEMBRE 1969	27	1969	224
57	MAI 1970	65		
58	SEPTEMBRE 1970	54		
59	OCTOBRE 1970	86	1970	205
60	FEVRIER 1971	79		
61	SEPTEMBRE 1971	112		
62	DECEMBRE 1971	126	1971	317
63	SEPTEMBRE 1972	94	1972	94
64	JANVIER 1973	89		
65	MARS 1973	138		
66	MAI 1973	113		
67	AOUT 1973	81	1973	421
68	MAI 1974	86		
69	NOVEMBRE 1974	81	1974	167

TOTAL - 69 NUMEROS

3.919 PAGES

T A B L E 3

TRADUCTIONS DE PUBLICATIONS RUSSES PUBLIEES DANS LE
BULLETIN D INFORMATIONS DES MAREES TERRESTRES.

EDITEUR - PROF. P. MELCHIOR.
C/O OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE,
1180 BRUXELLES - BELGIQUE.

	BULLETIN NO.	NOMBRE D ARTICLES	NOMBRE DE PAGES
1961	25	1	38
	26	3	60
1962	27	2	29
	28	2	13
	29	1	12
	30	2	58
	31	1	19
1963	32	6	46
	33	2	75
	34	4	57
	35	3	29
1964	36	4	40
	37	3	18
	38	3	44
	39	9	39
1965	40	2	40
	41	5	24
	42	3	25
1966	43	7	48
	44	1	6
	45	1	7
1967	47	5	74
	48	7	59
1968	49	4	40
	50	4	70
	51	4	53
1969	52	8	69
	53		
	54	1	20
	55	6	56
1970	56		
	57	9	65
1971	59	1	13
	60	7	45
	61	9	90
1972	62	12	101
	63	6	75
1973	64	9	71
	65	10	96
	66	6	73
	67	5	72
	68	5	48
	69	10	76
1974			
TOTAL		193	1.993

T A B L E 4

STATIONS AYANT COMMUNIQUE LEURS DONNEES D OBSERVATIONS AU CENTRE.

ALLEMAGNE R.F.	BERCHTESGADEN BONN I WINGST WIEHL KIEL SCHILTACH	BAD GRUND BONN II HANNOVER CLAUSTHAL HELIGOLAND	ERPEL FRANKFURT/MAIN KARLSRUHE FURSTENFELDBRUCK BERLIN
ALLEMAGNE R.D.	BAD SALZUNGEN FREIBERG TIEFENORT 1	BERGGIESHUBEL 1 KIESELBACH TIEFENORT 2	BERGGIESHUBEL 2 POTSDAM
AUTRICHE	GRAZ 1	GRAZ 2	
BELGIQUE	BASECLES DOURBES 1 SCLAIGNEAUX 1 UCCLE 1 VIELSALM VEDRIN HEIBAART MANHAY	BATTICE DOURBES 2 SCLAIGNEAUX 2 UCCLE 2 WARMIFONTAINE 1 KANNE TURNHOUT MEMBACH	CHEVRON REMOUCHAMPS SCLAIGNEAUX 3 UCCLE 3 WARMIFONTAINE 2 DINANT LIEGE
BULGARIE	SOFIA	CHRISTO BOTEV	
CANADA	MEANOOK	OTTAWA	RESOLUTE
DANEMARK	FAEROE	AARHUS	
EGYPTE	HELWAN		
FINLANDE	HELSINKI OULU	LOHJA KEVO	SODANKYLA VAASA
FRANCE	STRASBOURG BORDEAUX	CLERMONT FERRAND PARIS	GRASSE
GRANDE BRETAGNE	BIDSTON HERSTMONCEUX	WINSFORD	CAMBRIDGE
GROENLAND	GODHAVN		
HONGRIE	TIHANY	SOPRON	
INDE	HYDERABAD	DELHI	
IRAN	TEHERAN		
ITALIE	BARI 1 GENOVA PALERMO ROBURENT	BARI 2 MONTEPONI NICOLOSI TOIRANO	COSTOZZA NAPOLI RESINA PADOVA

4000

	TRIESTE	TORINO	
JAPON	AKAGANE ASO MIZUSAWA OMAEZAKI KAMIGAMO	CHIBA KANOZAN NAZE SHIONOMISAKI BARIM	KYOTO MATSUSHIRO NEMURO TOTTORI
G.D. LUXEMBOURG	LUXEMBOURG	WALFERDANGE 1	WALFERDANGE 2
NEPAL	KATHMANDU		
PAPOUASIE	PORT MORESBY		
PHILIPPINES	MANILA		
POLOGNE	BOROWIEC		
PAYS BAS	WITTEVEEN		
SUEDE	DANNEMORA	STOCKHOLM	
SUISSE	CHUR		
TCHECOSLOVAQUIE	PRIBRAM 1 PRIBRAM 4	PRIBRAM 2	PRIBRAM 3
THAILANDE	BANGKOK	CHIANG MAI	
U.R.S.S.	ALMA ATA FROUNZE KONDARA POULKOVO LANGCHOW	ASHKABAD KAZAN KRASNAYA-PAKHRA TALGAR BAMAKO	KOUNRAD KIEV MOSCOU TASCHKENT
U.S.A.	AUSTIN BERMUDA BUKAVU NEW DEHLI WAKE BLACKSBURG SIOUX FALLS JACKSON ATLANTA COLUMBIA	FRANKLIN BIDSTON GLENLORA SAIGON PITTSBURGH FAIRFAX LEONARD MEMPHIS KNOXVILLE DURHAM	BAGUIO BUNIA HONOLULU TRIESTE WACO DEVILS LAKE RUSTON TUSCALOOSA HUNTINGTON
VENEZUELA	CARACAS		
SPITSBERG NORVEGE	LONGYEARBYEN B	LONGYEARBYEN N	LONGYEARBYEN D