

**MAREES TERRESTRES**

---

**BULLETIN D'INFORMATIONS**

---

**N° 51**

**15 juin 1968**

**Association Internationale de Géodésie**

**Commission Permanente des Marées Terrestres**

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



TABLE DES MATIERES N° 51.

---

|   |      |
|---|------|
| C.W. LENNON<br>Arthur Thomas Doodson  | p.   |
| G.P. PILNIK ( <i>Traduction</i> )<br>Sur la réduction du nombre de Love $k$ d'après l'irrégularité de rotation de la Terre  | 2318 |
| M. BONATZ<br>Ergebnisse der Gravimetreichung durch Spindelverstellung bei Verwendung eines elektronischen Registrierverstärkers   | 2332 |
| I.A. OURASINA ( <i>Traduction</i> )<br>Quelques résultats des observations des inclinaisons de la Terre à l'Observatoire d'Engelhardt pour 1964                                 | 2341 |
| V.G. BALENKO, A.M. KOUTNII, A.N. NOVIKOVA ( <i>Traduction</i> )<br>Résultats préliminaires des observations clinométriques à la station de la réserve Lavro-Petcherskii de Kiev | 2349 |
| M. BONATZ<br>Eine Bemerkung zur Elimination des durch Änderungen der Registrierempfindlichkeit verursachten Driftanteils  | 2358 |
| W. PALLAS<br>Einige Bemerkungen zu den Labrousteschen Symbolen $Y_m$ und $Z_m$ und deren Produktbildung   | 2360 |
| V.G. BOULATSEN ( <i>Traduction</i> )<br>Quelques questions d'application des extensomètres  | 2366 |
| P. MELCHIOR<br>Analyses harmoniques de longues séries d'observations par la méthode Vénédikov<br>Compléments aux BIM Nos 46 et 48.  | 2386 |

Arthur Thomas DOODSON, C.B.E., D. Sc., F.R.S., Hon. F.R.S.E.

1890 - 1968

The death of Arthur Thomas Doodson on January 10th, 1968, brought to a close a long and distinguished scientific career and also a life devoted to the welfare of colleagues, friends and associates.

Dr. Doodson was a man of great aptitude in many fields. After studying mathematics and chemistry in the University of Liverpool, he obtained in 1912 the degree of B. Sc. with First Class Honours in Mathematics. Prevented by a hearing defect from following a career in teaching, which was his initial aim, he was employed for a time in the Ferranti Engineering Works and later in the electrical engineering department of the Corporation of Manchester. Meanwhile he retained his connection with the University of Liverpool and carried out extensive numerical calculations on the diffraction of electromagnetic waves by a sphere. This work led him to evaluate certain mathematical functions which he termed "Riccati-Bessel functions". Already the stage was set for a career which embraced light engineering, an enviable mathematical ability and the courage to undertake rigorous numerical procedures on a scale which would have discouraged a lesser man. At this time such tasks were perforce undertaken without any mechanical aid, and his expertise in this connection resulted in his being appointed in 1916 as Assistant to Professor Karl Pearson of University College, London. Under Pearson's direction he became well-versed in statistics and later in the use of desk calculating machines.

It was in 1919 that the word "tide" first assumed significance in the life of Dr. Doodson. In this year, the Tidal Institute was established within the University of Liverpool, with Professor J. Proudman, C.B.E., L.L.D., F.R.S. as its Honorary Director and Dr. Doodson appointed as Secretary. With no previous knowledge of the subject he began an intensive analysis of tidal observations from Newlyn and immediately gained an insight into the response mechanism of geophysical phenomena under the influence of the tide-generating forces which can only be described as instinctive. By 1922 he had already produced and published an entirely new harmonic development of the tide-generating potential which takes the concept of harmonic tidal constituents to its logical, and perhaps ultimate, conclusion. The system of "Doodson numbers" has been adopted internationally and will without doubt ensure that his name will remain inseparably linked with the subject. Concurrently he was bringing his experience in statistics to bear upon the treatment of meteorological perturbations of sea level and also investigating the solution of Proudman's dynamical equations of the tides in the production of a cotidal chart for the North Sea. There followed a flood of scientific papers of great merit not the least of these being his outstanding paper on the harmonic analysis of a year's tidal observations in 1927, which has revolutionised tidal analytical procedures. Even today the advent of the electronic computer has failed to

displace this technique since its elegance, viability and economy of computation has caused it to be retained as a routine process in many countries. Subsequent papers gave methods for the treatment of 29 days and 15 days of hourly elevations of the tide, of observations of high and low waters and even of daylight only observations. His analytical ingenuity probably reached its fullest expression, however, in the harmonic shallow water correction analysis which made possible the accurate prediction of tides in the presence of non-linear processes which exist in enclosed gulfs and estuaries where, incidentally, most of the world's most important ports are sited.

At the time of his retirement in 1960 more than half of the world's tidal predictions were being computed under his direction at the Tidal Institute. In this it is noteworthy that Dr. Doodson first calculated tidal predictions in 1923 when, aided by desk calculating machines alone, he produced times and heights for high water at Liverpool. The following year by the same process he predicted both high and low water data. Dr. Doodson was a practical man at heart in more senses than one. He was happy when he could see the results of his labours in the service of others in this way, and again, in a different sense, his early engineering experience emerged in the association which his name has with the design of the mechanical analogue tidal predictor. By coincidence his retirement coincided in time with the passing of the first generation of electronic computers which had been tried in their application to tidal computation and had been found wanting. With the coming of the second generation of computers, his work was complete and he was able to pass his responsibilities to more pampered mortals. It should be recalled in this context that in 1936 Doodson accomplished a feat of hand computation which would strain the capacity of many electronic computers today. In the previous year Proudman had developed the dynamical equations of the tides in a hemispherical ocean. Doodson solved these equations producing cotidal charts for both diurnal and semi-diurnal constituents in oceans of different depths, and proceeded to further investigations of the theoretical tides in oceans bounded by meridians.

In the earth tide discipline his contribution lies mainly in the field of analytical procedures and their theoretical basis, but it should be noted that, together with R.H. Corkan, in 1934 he devised the first method for the separation of indirect oceanic effects from the body tide using observations of tilt made at Bidston.

Many honours were conferred upon him. He was appointed Associate Director of the Tidal Institute from 1929-1946 and Director thereafter until his retirement in 1960. He gave valued service to many national and international committees, particularly noteworthy being his election in 1954 to the chair of the Finance Committee of the International Union of Geodesy and Geophysics and also of the Union's Committee on Policy and on Statutes and Bye-laws. In 1933 he was elected a Fellow of the Royal Society and in 1953 an Honorary Fellow of the Royal Society of Edinburgh. Yet despite his many scientific achievements it says much for Arthur Thomas Doodson that those who worked with him remember more clearly the man, a kindly gentleman, a valued friend and a tolerant master.

G.W. LENNON

SUR LA DEDUCTION DU NOMBRE DE LOVE  $k$  D'APRES L'IRREGULARITE DE ROTATION  
DE LA TERRE

*G.P. Pilnik*

Fisika Zemli N° 7 1967.

О ВЫВОДЕ ЧИСЛА ЛОВА  $k$  ПО НЕРАВНОМЕРНОСТИ  
ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ.

Г.П. ПИЛЬНИК.

Физика Земли №7 1967.

La question de l'influence des marées luni-solaire sur la variation de la vitesse de la rotation de la Terre n'a pas été développée en détail car on considérait cet effet comme peu important. Les ondes de marées dans la vitesse de rotation de la Terre ont d'abord été découvertes par W. Markowitz par l'analyse d'observations suffisamment précises obtenues à l'aide de deux PZT [1-4].

Nous avons montré en [5] que les ondes de marées à longue période provoquées par l'attraction de la Lune peuvent aussi être mises en évidence par les observations aux instruments de passage. Mais les recherches montrent qu'étudier les marées terrestres d'après les observations d'un seul Observatoire est une chose assez difficile [2, 4, 5]. Par conséquent, il est apparu nécessaire de créer un système général spécial à partir des observations astronomiques de beaucoup d'Observatoires. Bien entendu, en faisant la moyenne des observations différentes en un seul système il apparaît des erreurs complémentaires mais la pratique de construction de catalogues des coordonnées des étoiles, la déduction des coordonnées du pôle et de l'heure démontrent la nécessité de réunir les observations de beaucoup d'Observatoires pour constituer un seul système.

Pour l'étude des ondes de marées dans la vitesse de rotation de la Terre dont les périodes ne dépassent pas un mois, on utilise toutes les observations publiées dans les bulletins horaires pour 1955-1964 [6]. Les écarts des corrections d'heure obtenues par les différents observateurs en fonction du système moyen  $u_* - u$  et aussi les erreurs purement instrumentales  $\Lambda$  [6] ont servi de données de départ.

Etant donné que pour composer le bulletin horaire on opère sur chaque mois un lissage parabolique des observations, les ondes de périodes d'un mois et moins [7] ne peuvent être renfermées dans les valeurs de  $u$ . Ces ondes manquent aussi dans les erreurs purement instrumentales mensuelles moyennes lissées  $\Delta$  [7]. Ce ne sont que les corrections origines d'heure  $u_*$  obtenues par les différents observateurs qui sont affectées par les marées lunaires. Les ondes examinées doivent se manifester dans les observations ramenées à un seul système

$$(u_* - u) - \Delta = - \Delta t \quad (1)$$

Après avoir composé ces différences séparément d'après les observateurs et après les avoir moyennées d'après les dates, nous avons obtenu un système général des observations astronomiques utilisé dans la suite pour l'étude des marées lunaires à longue période.

Nous donnons dans la table 1 la répartition par année des déterminations de l'heure.

Table 1.

| Nombre de corrections d'heures \ Année | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0                                      | 13   | 9    | 4    | 4    | 1    | 3    | 8    | 3    | 9    | 8    |
| 1-2                                    | 55   | 44   | 12   | 6    | 5    | 14   | 12   | 12   | 13   | 14   |
| 3-5                                    | 108  | 91   | 37   | 25   | 24   | 35   | 34   | 42   | 43   | 57   |
| 6-10                                   | 114  | 117  | 80   | 43   | 50   | 79   | 84   | 141  | 117  | 103  |
| 11-20                                  | 74   | 95   | 107  | 90   | 134  | 167  | 161  | 149  | 149  | 145  |
| >20                                    | 1    | 10   | 125  | 197  | 151  | 63   | 66   | 18   | 34   | 39   |
| Somme                                  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  | 365  | 365  | 365  | 366  |

Etant donné que pour résoudre le problème posé il faut avoir des observations pour chaque jour de l'année, les lacunes peu nombreuses (voir table 1) sont rétablies par des  $\Delta t$  contigus. Les observations à l'intérieur de l'année sont réparties très irrégulièrement et ce n'est que pour quelques jours que le nombre des corrections d'heure atteint 70 - 80.

Table 2.

| $\Delta t$ \ Année | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0:000-0:002        | 37   | 27   | 29   | 34   | 44   | 37   | 41   | 35   | 40   | 43   |
| 0:003-0:005        | 25   | 28   | 29   | 33   | 31   | 30   | 32   | 37   | 37   | 33   |
| 0:005-0:010        | 23   | 30   | 31   | 26   | 48   | 26   | 21   | 20   | 19   | 22   |
| > 0 010            | 15   | 15   | 11   | 7    | 7    | 7    | 6    | 8    | 2    | 2    |

Nous donnons dans la table 2 la répartition en pourcent des  $\Delta t$  diurnes moyens par an.

Les résultats de la table 2 témoignent de la précision assez élevée de ce nouveau système qui peut être utilisé pour l'étude des irrégularités de rotation de la Terre dont la période ne dépasse pas un mois.

La déformation de la Terre, provoquée par les marées luni-solaires, modifie le moment d'inertie  $C$  et il s'ensuit des variations périodiques dans la vitesse de rotation  $\omega$ .

D'après la loi de conservation du moment de la quantité de mouvement

$$C\omega = \text{const.}, \quad \Delta C/C = -\Delta\omega/\omega \quad (2)$$

La diminution de la vitesse de rotation par jour  $-\Delta\omega$  entraîne une augmentation de durée du jour de  $\Delta t$

$$-\Delta\omega/\omega = \Delta t/t \quad (3)$$

Dans le travail de Woolard [8] on a tenu compte de toutes les irrégularités de marée dans la rotation de la Terre pour des amplitudes allant jusqu'à  $0,00010$ . De ce travail nous n'avons extrait que les ondes de marées qui nous sont nécessaires et dont les périodes vont jusqu'à un mois. Le nouveau système ne convient pas pour l'étude des ondes de période plus longue.

|  | période |
|--|---------|
| $\Delta t = k[0,00032 \sin(2\mathcal{C} + g) + 0,00013 \sin(2\mathcal{C} + g - \Omega) +$                    | 9,1     |
| $+ 0,00247 \sin 2\mathcal{C} + 0,00122 \sin(2\mathcal{C} - \Omega) + 0,00010 \sin(2\mathcal{C} - 2\Omega) +$ | 13,7    |
| $+ 0,00011 \sin 2g +$  | 13,8    |
| $+ 0,00023 \sin(2\mathcal{C} - 2\Theta) +$   | 14,8    |
| $+ 0,00263 \sin g - 0,00017 \sin(g + \Omega) - 0,00017 \sin(g - \Omega) -$                                   | 27,6    |
| $- 0,00014 \sin(2\mathcal{C} - g) - 0,00006 \sin(2\mathcal{C} - g - \Omega) +$                               | 27,1    |
| $+ 0,00058 \sin(2\mathcal{C} - g - 2\Theta) ]$   | 31,8    |
|  | (4)     |

où  $\mathcal{C}$  est la longitude moyenne de la Lune,  $g = \mathcal{C} - \Gamma'$  est l'anomalie moyenne de la Lune,  $\Omega$  est la longitude moyenne du noeud lunaire. Le facteur en évidence n'est autre que le nombre de Love  $k$ .

A cause des déformations de marée de la Terre il apparaît un potentiel additionnel  $\Delta\omega$ , et  $\Delta\omega = k\omega$ . Ainsi,  $k$  est le rapport du potentiel additionnel au potentiel des forces provoquant la déformation. La valeur précise de la constante de Love  $k$  n'a jusqu'à présent pas été déterminée

par les observations. Les valeurs théoriques des nombres de Love  $h$ ,  $k$  et  $l$  pour les différents modèles de structure interne de la Terre ont été déduites dans les travaux de M.S. Molodenskii [9 - 12] et d'autres. La comparaison de  $h$ ,  $k$  et  $l$  théoriques et déduites des observations donne la possibilité de juger de la structure interne de la Terre.

Nous essayerons d'utiliser le nouveau système et l'expression (4) pour déduire le nombre de Love  $k$ . Nous désignerons  $\Delta t_1$  par  $b_1$  et le coefficient de  $k$  par  $a_1$ . Alors l'expression (4) s'écrit

$$a_1 k = b_1 \quad (5)$$

Les valeurs de la fonction périodique  $a_1$  sont calculées, pour chaque jour, d'un intervalle de temps de dix ans, sur ordinateur "Striela". Les arguments ont été présentés en forme de séries (6) où  $d$  est compté en jours depuis l'époque 1955, janvier 0,18<sup>h</sup> ET = JD2735108,25.

$$\begin{aligned} 2\zeta + g &= 311,4 + 39,41780d \\ 2\zeta + g - \Omega &= 36,0 + 39,47075d \\ 2\zeta &= 2,4 + 26,35280d \\ 2\zeta - 2\Omega &= 87,0 + 26,40575d \\ 2\zeta - 2\Omega &= 171,6 + 26,45870d \\ 2g &= 258,0 + 26,43000d \\ 2\zeta - 2\odot &= 163,2 + 24,38150d \\ g &= 309,0 + 13,06500d \\ g + \Omega &= 224,4 + 13,01205d \\ g - \Omega &= 33,6 + 13,41795d \\ 2\zeta - g &= 53,4 + 13,28780d \\ 2\zeta - g - \Omega &= 138,0 + 13,34075d \\ 2\zeta - g - 2\odot &= 214,2 + 11,31650d \end{aligned} \quad (6)$$

On a calculé sur l'ordinateur trois variantes de solution du problème d'après les observations annuelles et quatre variantes d'après toutes les données de dix ans. Les deux premières variantes sont calculées par moindres carrés sans poids et avec poids proportionnels au nombre des observations. La solution des équations (5) a été réalisée d'abord séparément pour chaque série annuelle d'observations.

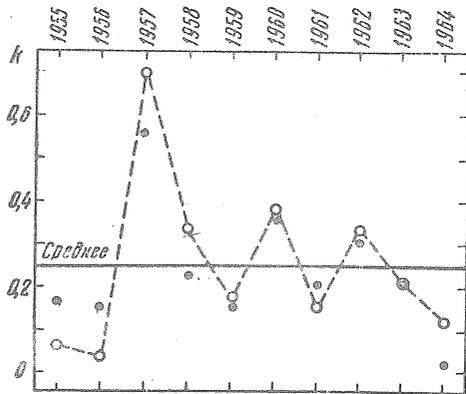


Fig. 1. Solutions des équations  $a_1 k = b_1$  pour les observations annuelles

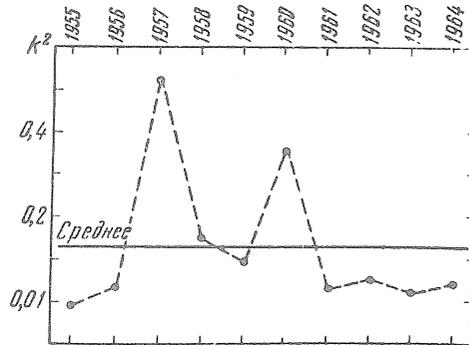


Fig. 2. Solutions d'après les transformations de corrélation  $k^2 R_{aa}(r) = R_{bb}(r)$

Sur la figure 1, les valeurs de  $k$ , calculées avec poids sont notées par des points et celles sans poids par des cercles. On constate que toutes les valeurs de  $k$  sont positives et par conséquent que les données utilisées conviennent pour la solution du problème posé. Mais les obstacles sont tout de même importants et on ne peut déduire sûrement le nombre de Love  $k$  d'après une série annuelle d'observations.

Pour diminuer l'influence des erreurs accidentelles, nous appliquons la méthode d'auto-corrélation [12-14].

Nous représenterons la fonction  $b(t)$  accidentelle stationnaire tirée des observations astronomiques et jouissant d'une propriété d'ergodicité sous la forme :

$$b(t) = s(t) + v(t) \quad (7)$$

où  $s(t)$  est la somme des signaux sinusoïdaux et  $v(t)$  est l'obstacle accidentel.

Alors la fonction d'auto-corrélation s'écrit :

$$\begin{aligned} R_{bb}(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [s(t) + v(t)][s(t + \tau) + v(t + \tau)] dt = \\ &= R_{ss}(\tau) + R_{sv}(\tau) + R_{vs}(\tau) + R_{vv}(\tau). \end{aligned} \quad (8)$$

Pour un nombre infini d'observations, les termes en croix  $R_{sv}(\tau)$ ,  $R_{vs}(\tau)$  donnent zéro puisqu'entre le signal sinusoïdal et les obstacles, il n'y a pas de corrélation réciproque. La fonction  $R_{vv}(\tau)$  aussi décroît jusque zéro puisque les obstacles sont accidentels.

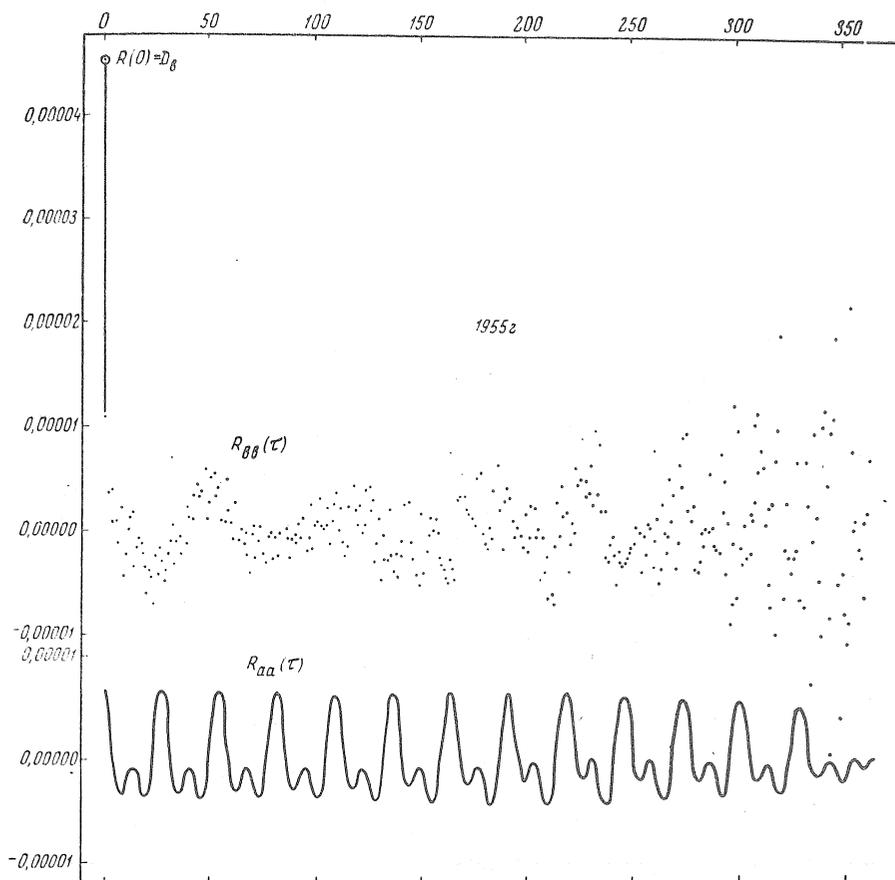


Fig. 3. Transformations de corrélations  $R_{b_b}(r)$  et  $R_{a_a}(r)$  pour 1955.

La solution du problème donné se partage en deux parties. A l'aide de l'analyse de corrélation on isole le faible signal de marée et ensuite par moindres carrés on détermine la valeur du signal constant, c'est-à-dire du nombre de Love  $k$ . Les transformations de corrélation  $R_{a_a}(r)$ ,  $R_{b_b}(r)$  sont obtenues d'après les données annuelles et on a effectué leur comparaison. En posant  $s(t) = ka(t)$  et  $R_{s_s}(r) = k^2R_{a_a}(r)$ , nous obtenons :

$$k^2R_{a_a}(r) = R_{b_b}(r) \quad (9)$$

En résolvant les équations (9) par moindres carrés avec des poids proportionnels au nombre de moments corrélatifs dans les fonctions  $R_{a_a}(r)$  et  $R_{b_b}(r)$  nous obtenons la valeur  $k^2$ . L'équation pour l'intervalle de la corrélation  $r = 0$  n'est pas prise en considération. Les valeurs  $k^2$ , calculées par transformations corrélatives annuelles, sont données à la figure 2. Dans ce cas on n'a pas obtenu non plus de solution tout à fait satisfaisante puisque les erreurs accidentelles des fonctions  $R_{b_b}(r)$  sont trop grandes. Tout est dans le fait que c'est évidemment insuffisant pour éliminer l'influence des termes  $R_{s_v}(r)$  et  $R_{v_v}(r)$  dans l'expression (8) de la série annuelle des observations.

Table 3.

| Variante |     | Nombre d'équations | k     | $E_k$       | Remarques         |
|----------|-----|--------------------|-------|-------------|-------------------|
| 1        | I   | 3653               | 0,249 | $\pm 0,034$ | a, b - avec poids |
| 2        | II  | 3653               | 0,252 | $\pm 0,039$ | a, b - sans poids |
| 3        | III | 300                | 0,307 | $\pm 0,028$ | $R_{aa}, R_{bb}$  |
| 4        | IV  | 180                | 0,303 | $\pm 0,010$ | A(0), B(0)        |
| 5        |     |                    | 0,38  | $\pm 0,05$  | W. Markowitz [2]  |
| 6        |     |                    | 0,34  | $\pm 0,05$  | W. Markowitz [15] |
| 7        |     |                    | 0,533 | $\pm 0,036$ | A. Stoyko [16]    |
| 8        |     |                    | 0,540 | $\pm 0,019$ | A. Stoyko [16]    |
| 9        |     |                    | 0,521 | $\pm 0,091$ | A. Stoyko [16]    |
| 10       |     |                    | 0,292 | $\pm 0,017$ | G.P. Pilnik [5]   |
| fl       |     |                    | 0,306 | $\pm 0,024$ | G.P. Pilnik [5]   |

Les résultats donnés aux figures 1 et 2 montrent d'une manière convaincante qu'on ne peut tirer une valeur k quelque peu sûre d'une série annuelle d'observations. C'est pourquoi les calculs ont été prolongés sur toutes les données de dix ans. Pour les quatre cas, les valeurs k et leurs erreurs ont été calculées par moindres carrés : les deux premières variantes avec poids proportionnels au nombre d'observations, et sans poids d'après les équations (5) et la troisième et la quatrième variantes selon les transformations corrélatives des fonctions a(t) et b(t). Les deux dernières variantes seront examinées en détail.

La figure 3 donne les fonctions  $R_{b_b}(\tau)$  et  $R_{a_a}(\tau)$  pour 1955. Les intervalles de la corrélation  $\tau$  sont reportés en abscisse, et  $R(\tau)$  en ordonnée. La figure 3 montre que la fonction  $R(\tau)$ , composée d'après les observations données, présente des erreurs accidentelles assez grandes. Ces mêmes erreurs sont propres aussi aux fonctions  $R_{b_b}(\tau)$  pour les autres années. Par erreurs accidentelles il faut entendre ici aussi bien les obstacles corrélés aussi bien que ceux non corrélés déformant le signal de marée. Puisque les transformations corrélatives sont des intervalles restreints de réduction, s'il y a en  $v(t)$  (7) des périodicités cachées, des composantes harmoniques supplémentaires apparaîtront dans les fonctions  $R_{b_b}(\tau)$ . Ainsi, par exemple, dans les observations de 1955 on découvre très clairement une onde de période deux mois (voir figure 3).

Pour diminuer les erreurs accidentelles dans les fonctions  $R_{b_b}(\tau)$ , on a effectué leur moyenne pour toutes les années. Dans le cadre du problème donné, cette opération est licite puisque les fonctions autocorrélées  $R_{a_a}(\tau)$  calculées pour les valeurs théoriques a(t) pour les différentes années correspondent pratiquement.

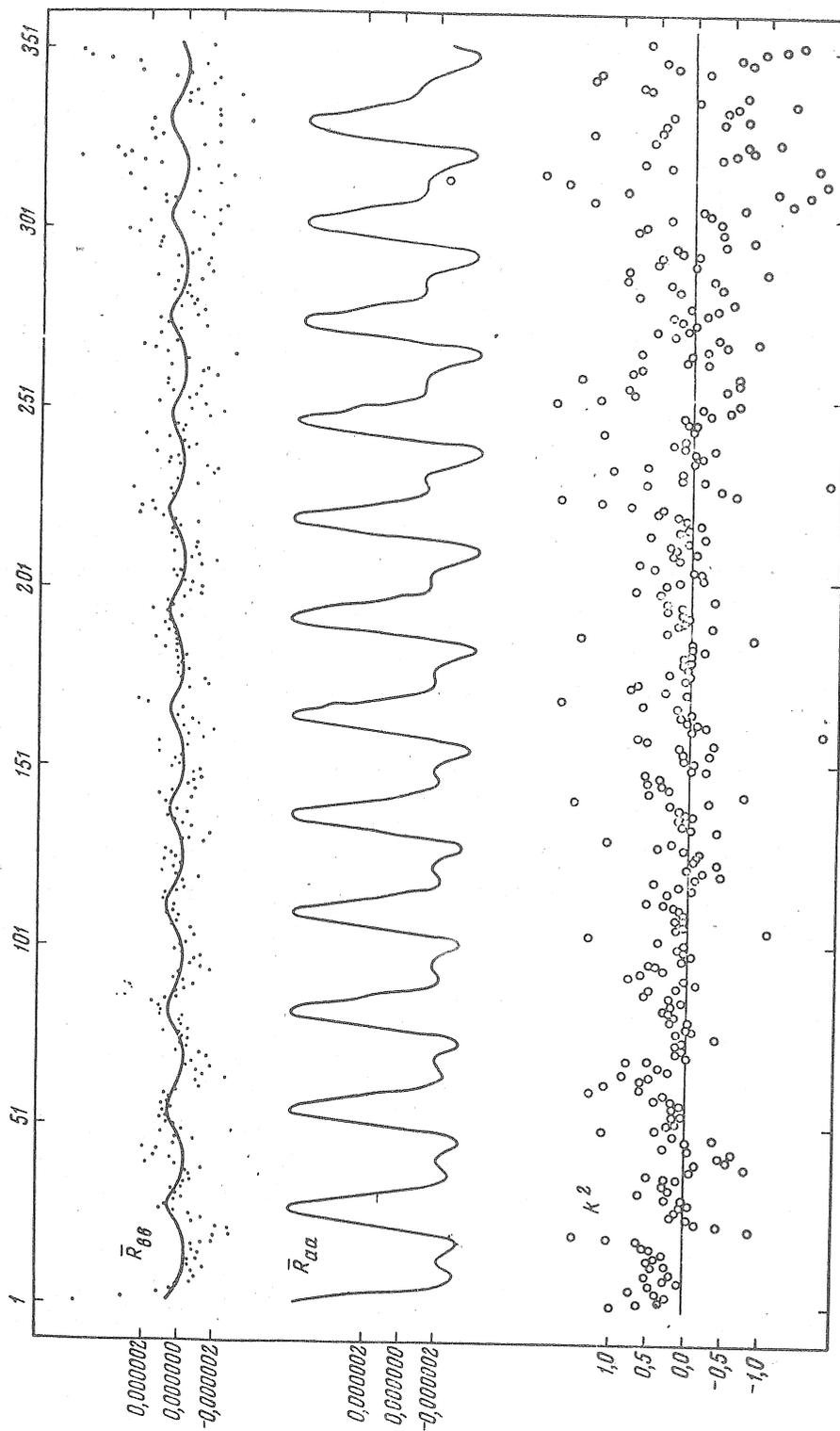


Fig. 4 Transformations moyennes corrélatives  $\bar{R}_{bb}(r)$ ,  $\bar{R}_{aa}(r)$  et  $k^2 = \bar{R}_{bb}(r) : \bar{R}_{aa}(r)$ .

Nous désignerons la moyenne des fonctions autocorrélées pour dix ans par  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  et  $\bar{R}_{a_a}(\tau)$ .

La figure 4 donne  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$ ,  $\bar{R}_{a_a}(\tau)$  et aussi les valeurs  $k^2 = \bar{R}_{b_b} / \bar{R}_{a_a}$  pour les intervalles de la corrélation de  $\tau = 1$  à  $\tau = 350$ . La ligne continue sur le graphique de la fonction  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  désigne l'allure approximative du signal de marée utile  $k^2 \bar{R}_{a_a}(\tau) \approx 0,1 \bar{R}_{a_a}(\tau)$ . Par ce graphique on voit que même la fonction moyenne  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  est affectée de grandes erreurs accidentelles.

Par conséquent on ne peut obtenir la valeur sûre de  $k^2$  par simple division d'une fonction autocorrélée par l'autre (voir fig. 4). D'autant plus que  $\bar{R}_{a_a}(\tau)$  est une fonction périodique et pour certaines valeurs d'argument peut donner zéro.

Dans la troisième variante, la valeur  $k^2$  a été calculée par moindres carrés. L'équation normale

$$[\bar{R}_{a_a}^2] k^2 - [\bar{R}_{a_a} \bar{R}_{b_b}] = 0 \quad (10)$$

a été obtenue en fonction des équations conventionnelles composées d'après les valeurs  $\bar{R}_{a_a}(\tau)$  et  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  pour les intervalles de corrélation de 3 à 302. Puisque la précision de la fonction  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  dans ce secteur est à peu près la même, les poids n'ont pas été introduits (voir fig. 4). L'allure de  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  montre qu'on peut déduire une valeur quelque peu sûre de la fonction autocorrélée à partir des observations de 600-700 et plus moments corrélés.

En fait, la fonction  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  est également la somme du signal sinusoïdal utile et de certaine réalisation du processus accidentel et peut être soumise une seconde fois à une transformation de corrélation. A la suite de la transformation de corrélation des fonctions  $\bar{R}_{a_a}(\tau)$  et  $\bar{R}_{b_b}(\tau)$  dans le secteur  $3 \leq \tau \leq 312$  (voir fig. 4) nous obtiendrons le système des équations

$$k^4 A(\theta) = B(\theta), \quad (11)$$

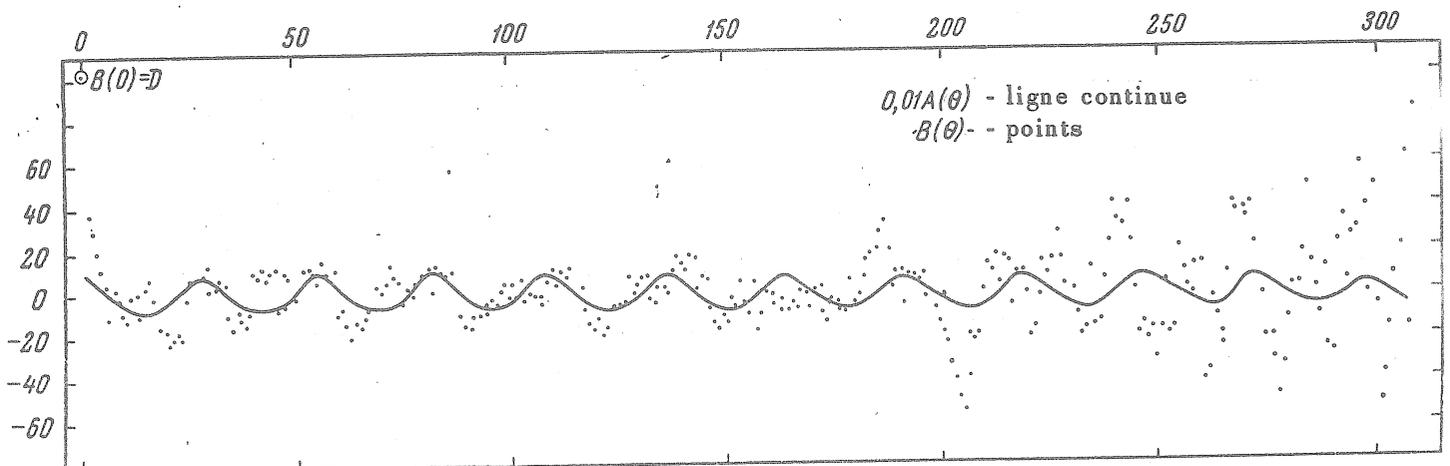


Fig. 5. Transformations itératives corrélatives  $B(\theta)$  et  $k^4 A(\theta)$ .

Les valeurs des fonctions sont multipliées par  $10^{14}$ .

Sur la figure 5 est représentée l'allure des fonctions  $0,01 A(\theta)$  et  $B(\theta)$  pour les intervalles de corrélation de  $\theta = 0$  à  $\theta = 309$ . Pour calculer  $k^4$  dans la quatrième et dernière variante on a utilisé 180 équations sur un intervalle de  $4 \leq \theta \leq 183$  (voir figure 5).

Nous donnons dans la table 3 les valeurs  $k$  pour les quatre variantes de solution du problème pour toutes les données de dix ans. A la fin de la table 3, nous donnons également les autres déterminations de  $k$  d'après l'irrégularité de rotation de la Terre. Puisque la solution selon les transformations corrélatives donne  $k^2$ ,  $E_{k^2}$  ou  $k^4$ ,  $E_{k^4}$ , alors les erreurs  $E_k$  dans les troisième et quatrième variantes sont calculées d'après les formules :

$$E_k = \frac{E_{k^2}}{2k}, \quad E_k = \frac{E_{k^4}}{4k^3}. \quad (12)$$

Les variantes I et II de la table 3 témoignent de la faible efficacité du procédé des moindres carrés pour la solution des équations (5). On ne peut obtenir l'erreur  $E_k$  à moins de  $\pm 0,01$  même par des séries plus longues d'observations analogues de 20 - 40 ans réduites par le procédé des moindres carrés. La réduction préliminaire des observations par la méthode autocorrélative est dans ce cas susceptible de donner un bon résultat. On peut considérer la transformation corrélatrice comme l'expression originale particulièrement effective sous le rapport de l'élimination de l'influence des obstacles accidentels.

On a obtenu la solution la plus sûre dans la quatrième variante :  $k = 0,303 \pm 0,010$ . Si on prend non pas 180 mais 240 équations alors nous obtiendrons  $k = 0,307 \pm 0,013$ . L'augmentation sensible de la dispersion de la transformation corrélatrice réitérative  $B(\theta)$  pour les écarts  $\theta > 180$  constitue une justification du rejet des équations incertaines (voir fig. 5).

Dans la troisième variante on a obtenu  $k = 0,307 \pm 0,028$ . Si les fonctions corrélatives  $R_{b,b}(r)$  et  $R_{a,a}(r)$  étaient calculées d'emblée pour toute une série de dix années d'observations alors le nombre d'équations favorables pour trouver  $k^2$ , augmenterait de dix fois. La précision de la détermination de  $k$  pour les mêmes données d'observations serait plus élevée. Lors de la solution des équations par la troisième variante, le poids et l'erreur de l'inconnue sont égaux à  $\rho_{k^2} = [\bar{R}_{aa}^2]$  et  $E_{k^2} = E_1 / \sqrt{[\bar{R}_{aa}^2]}$ .

L'augmentation du nombre des équations de dix fois donne le poids  $\rho_{k^2} = 10 [\bar{R}_{aa}^2]$ . Pour la même valeur de l'erreur d'unité de poids  $E_1$ , la nouvelle erreur de l'inconnue sera :

$$E_{k^2}' = \frac{E_1}{\sqrt{10[\bar{R}_{aa}^2]}} = \frac{E_{k^2}}{\sqrt{10}} \cong \pm 0,0055, \quad E_k' = \frac{E_{k^2}'}{2k} \cong \pm 0,009. \quad (13)$$

Dans le cas de la réduction des observations par la quatrième variante, nous obtiendrons  $E_k' = \pm 0,003$ . Ainsi, le même système peut donner aussi des résultats plus sûrs. Puisque l'estimation de la précision  $k^2$  ou  $k^4$ , obtenus par les observations lissées par la méthode autocorrélative peut amener une objection, alors il est utile de partager les équations (9) ou (11) en une série de groupes successifs et de trouver l'erreur du résultat final d'après la concordance apparente des solutions séparées. Les solutions par groupes de cinquante équations pour la variante III et par trente équations pour la variante IV sont données dans la table 4.

Table 4.

|                  | k                    |                      |
|------------------|----------------------|----------------------|
|                  | III                  | IV                   |
| 1                | 0,369                | 0,310                |
| 2                | 0,426                | 0,282                |
| 3                | 0,262                | 0,302                |
| 4                | 0,206                | 0,301                |
| 5                | 0,248                | 0,315                |
| 6                | 0,295                | 0,304                |
| Moyenne<br>$E_k$ | 0,301<br>$\pm 0,033$ | 0,302<br>$\pm 0,005$ |

Les résultats moyens de la table 4 concordent bien avec les données de la table 3 pour ces mêmes variantes. Ces résultats s'accordent avec les valeurs théoriques,  $k = 0,307$  et  $k = 0,302$  obtenues par M.S. Molodenskii pour tous les modèles les plus probables de la structure interne de la Terre [10]. On peut déduire le nombre de Love  $k$  aussi par un autre procédé plus rationnel mais pour cela il faut effectuer une décomposition spectrale des fonctions  $b(t)$ .

Notre travail avait au fond le but de se convaincre de l'utilité de l'analyse des irrégularités de rotation de la Terre pour la détermination de la structure interne de la Terre. Les valeurs déduites de cette analyse sont en accord satisfaisant avec les autres déterminations de cette valeur d'après l'irrégularité de rotation de la Terre. Les nombres de  $k$  obtenus par A. Stoyko pour les ondes de périodes de 27,6, 183 jours et 18,6 années (voir table 3) constituent une exception. Dans le travail [16] il ne dit rien du procédé des calculs et dans la formule principale il y a une erreur : au lieu des sinus se trouvent les cosinus des arguments correspondants.

Ces dernières années, la méthode gravimétrique d'étude des marées terrestres a eu une large diffusion. Dans la thèse de Y.A. Ditchko [17] est donné un résumé très complet des valeurs  $\delta = 1 + h - 3/2 k$ , obtenues par les observations avec des gravimètres précis.

Dans le travail il y a également une référence à la bibliographie. Prenant en considération le rapport obtenu par M.S. Molodenskii  $k = 0,489 h$  ou  $h = 2,045 k$  ([10], page 21) nous obtiendrons  $k = 1,835 (\delta - 1)$ . D'après cette formule avec les valeurs  $\delta$  données dans la thèse de Y.A. Ditchko on a calculé les valeurs du nombre de Love  $k$ . Pour composer la table 5 on n'a utilisé que les observations des variations de marées à courte période de la force de pesanteur étendues sur non moins de six mois [17].

Table 5.

| N° | Observateur        | Lieu            | $k$   |       |       |       |       |
|----|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    |                    |                 | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $O_1$ | $K_1$ |
| 1  | P. Melchior        | Bruxelles       | 0,321 | 0,382 | 0,283 | 0,294 | 0,275 |
| 2  | R. Lecolazet       | Strasbourg      | 0,365 | 0,360 | 0,339 | 0,328 | 0,297 |
| 3  | R. Brein           | Frankfurt/M     | 0,347 | 0,350 | 0,297 | 0,279 | 0,268 |
| 4  | J. Byl             | Potsdam         | 0,418 | 0,277 | 0,272 | 0,305 | 0,308 |
| 5  | T. Dambaï          | Tihany          | 0,477 | 0,367 | 0,472 | 0,462 | 0,411 |
|    | S. Oslakzky        | (Hongrie)       |       |       |       |       |       |
| 6  | M. Bossolasco      | Vesima          | 0,358 | 0,239 | 0,123 | 0,358 | 0,240 |
|    | G. Cicconi         | (Italie)        |       |       |       |       |       |
| 7  | Imbo               | Résina (Italie) | 0,316 | 0,308 | 0,431 | 0,310 | 0,064 |
| 8  | M. Bossolasco      | Genova          | 0,380 | 0,530 | 0,400 | 0,382 | 0,352 |
|    | G. Cicconi         |                 |       |       |       |       |       |
| 9  | You.S. Dobrochotov | Poulkovo        | 0,437 | 0,398 | 0,407 | 0,330 | 0,356 |
| 10 | You.S. Dobrochotov | Kiev            | 0,358 | 0,439 | 0,317 | 0,301 | 0,273 |
|    | V.I. Lissenko      |                 |       |       |       |       |       |
| 11 | Y.A. Ditchko       | Poltava         | 0,336 | 0,345 | 0,420 | 0,332 | 0,277 |
| 12 | You.S. Dobrochotov | Krasnaïa Packra | 0,345 | 0,338 | 0,321 | 0,264 | 0,246 |
| 13 | N.N. Pariiskii     | Tachkent        | 0,275 | 0,257 | 0,211 | 0,284 | 0,239 |
| 14 | N.N. Pariiskii     | Alma-Ata        | 0,257 | 0,297 | 0,290 | 0,262 | 0,189 |
| 15 | S.N. Barsenkov     | Frounze         | 0,288 | 0,246 | 0,284 | 0,286 | 0,250 |
| 16 | I. Nakagawa        | Kyoto           | 0,262 | 0,141 | 0,261 | 0,349 | 0,310 |
| 17 | T. Okuda           | Chiba (Japon)   | 0,257 | 0,209 | 0,051 | 0,167 | 0,356 |
| 18 | G. Fiedler         | Caracas         | 0,339 | 0,361 | 0,347 | 0,415 | 0,861 |
| 19 | Innes              | Ottawa          | 0,308 | 0,494 | 0,312 | 0,191 | 0,312 |
|    |                    | Moyenne         | 0,339 | 0,334 | 0,307 | 0,310 | 0,303 |

Les résultats moyens de la table 5 concordent le mieux avec la troisième et la quatrième variantes de solution du problème d'après les fonctions corrélatives (voir tables 3-5).

A strictement parler, on ne peut prendre la moyenne simple d'après les colonnes de la table 5 puisque la valeur  $\delta$  pour l'Europe et l'Asie est différente. D'après les recherches de I.A. Ditchko la moyenne générale sans tenir compte de  $\delta$  (K1) pour l'Europe est égale à  $\delta=1,190\pm 0,002$  et pour l'Asie  $\delta = 1,147 \pm 0,002$  [17]. A ces moyennes correspondent les valeurs  $k = 0,349$  et  $k = 0,270$ .

Ainsi des difficultés supplémentaires surgissent dans le problème de l'étude de la structure interne de la Terre par les variations de marées de la force de pesanteur. Les autres méthodes géophysiques de détermination des nombres de Love examinées en détail dans le travail de N.N. Pariiskii [4] ne donnent pas non plus de résultats suffisamment précis et concordants. Il apparaît donc nécessaire d'étudier soigneusement les marées terrestres d'après les données des observations astronomiques. L'étude des marées à partir des irrégularités de rotation de la Terre mérite une attention particulière.

#### CONCLUSIONS

---

1. Les irrégularités de rotation de la terre composées d'après les écarts des corrections séparées des heures à partir du système "Temps étalonné" sont tout à fait utiles pour déduire les ondes de marées dans la vitesse de rotation de la Terre.
2. Les valeurs du nombre de Love  $k$  déduites d'après l'irrégularité de rotation de la Terre sont analogues aux données des observations géophysiques. L'application des méthodes mathématiques strictes à l'analyse des irrégularités de rotation pour beaucoup d'années peut donner le nombre de Love  $k$  le plus précis, intégral pour toute la Terre.

En conclusion, je remercie A.I. Ribakov et V.L. Panteleiev pour leur intérêt au travail et leurs utiles conseils. J'exprime ma reconnaissance à E.P. Kalinina et A.A. Polieva pour la composition du programme pour l'ordinateur "Strieba".

#### BIBLIOGRAPHIE

---

1. W. MARKOWITZ  
The annual variation in the rotation of the Earth,  
1951 - 54, *Astron. J.* 60, 171, 1955.
2. W. MARKOWITZ  
Variations in rotation of the Earth, results obtained with dual-rate Moon camera and photographic zenith tubes.  
*Astron. J.*, 64, 106, 1959.

3. W. MUNK and G. MAC DONALD  
The Rotation of the Earth.  
*Univ. press, Cambridge, 1960.*
4. N.N. PARIISKII  
Marées terrestres et structure interne de la Terre.  
*Nouvelles de l'Ac. des Sc. d'URSS Série Géophys. N° 2, 1963.*
5. G.P. PILNIK  
Marées lunaires et rotation de la Terre,  
*Nouvelles de l'Ac. des Sc. d'URSS, Physique de la Terre, N° 8, 1966.*
6. Bulletin  
"Temps étalonné" 1955-1964
7. D. You. BELOTSEKOVSKII  
Sur le calcul du temps étalonné en moments moyens de transmissions de signaux radio.  
*Travaux des Instituts du Comité des mesures standards et des appareils de mesure. Publ. 58 (118), 65, 1962.*
8. E. WOOLARD  
Inequalities in mean solar time from tidal variations in the rotation of the Earth.  
*Astron. J. 64, 140, 1959.*
9. M.S. MOLODENSKII  
Marées élastiques, nutation libre et certaines questions de structure de la Terre.  
*Trav. de l'Institut de Géophys. de l'Ac. des Sc. d'URSS, N° 9 (146), 1953.*
10. M.S. MOLODENSKII  
Théorie de la nutation et des marées terrestres diurnes.  
*Marées terrestres et Nutation de la Terre. Edit. Ac. des Sc. d'URSS 1961.*
11. M.S. MOLODENSKII, M.V. KRAMER.  
Le nombre de Love pour les marées terrestres statiques du 2e et 3e ordres.  
*Marées terrestres et nutation de la Terre. Edit. Ac. des Sc. d'URSS 1961.*
12. I.V. LI, T.P. TCHITEM, J.B. VISNER  
Application de l'analyse corrélative pour déceler les signaux périodiques dans le bruit.  
*Recueil. 1er "Théorie de l'information et son appendice", 1959.*
13. A.A. CHARKEVITCH  
Lutte contre les obstacles  
*Ed. "Naouka" 1965.*
14. M.G. SEREBRENNIKOV, A.A. PERVASVANSKII  
Découverte des périodicités cachées, 74.  
*Edit. "Naouka" 1965.*
15. W. MARKOWITZ  
Lunar and Solar Earth-tides and the rotation of the Earth.  
*Bolletino di Geofisica A 11, N° 5, 27, 1960*
16. A. STOYKO  
L'influence des marées terrestres sur la rotation de la Terre.  
*Com. Obs. Roy. Belg. 236, sg. 69, 440, 1964.*
- 17 Y.A. DITCHKO.  
Etude des déformations de marées de la Terre par les observations avec le gravimètre Askania (GS-11) à Poltava, 1966 *Thèse, Fond. Rauch.*

## ERGEBNISSE DER GRAVIMETEREICHUNG DURCH SPINDELVERSTELLUNG BEI VERWENDUNG EINES ELEKTRONISCHEN REGISTRIVERSTÄRKERS

*Manfred BONATZ*

Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn.

In [1] und [2] wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, durch Einsatz eines elektronischen Meßverstärkers die Eichgenauigkeit der Askania-Gravimeter GS 11 und GS 12 bei Anwendung des konventionellen Verfahrens der Verstellung der Meßspindel erheblich zu steigern, und zwar über eine Meßbereichsumschaltung (z.B. 10:1) am Verstärker. In der Erdgezeitenstation Bonn wird seit Oktober 1967 versuchsweise ein Keithley 150 B Mikrovoltmeter [3] in Verbindung mit dem Askania-Gravimeter GS 12 Nr. 85 a zur Erdgezeitenregistrierung eingesetzt. Über die bisher erzielten Eichergebnisse soll in folgendem kurz berichtet werden.

Es wurden in 3 Monaten 22 Spindeleichungen ausgeführt. Die durchschnittliche Dauer einer Eichung betrug 20 min. Der Skalenwert des Gravimeters wurde, in Übereinstimmung mit den Angaben des Prüfzeugnisses, durch Kugleichung zu  $188,55 \pm 0,36 \mu\text{Gal}/10^{-2}$  Mskt bestimmt [4] (Mskt  $\hat{=}$  Maßstabsskalenteil). Das Mikrovoltmeter arbeitete zur Gezeitenregistrierung im  $3 \mu\text{V}$ -Bereich (ein  $3 \mu\text{V}$ -Meßsignal entspricht Vollausschlag am Anzeigeinstrument des Mikrovoltmeters) und wurde bei der Eichung auf den  $30 \mu\text{V}$ -Bereich umgeschaltet. Das Meßbereichsverhältnis  $30 \mu\text{V}$  zu  $3 \mu\text{V}$  ist vom Hersteller auf den Betrag 10 mit einer maximalen Abweichung von etwa 1,3 % abgeglichen. Im vorliegenden Falle wurde dieses Verhältnis durch direkten Vergleich der Eichaus schläge in beiden Bereichen zu  $10,04 \pm 0,07$  ermittelt. Zur Eichung der Registrieranlage wurde die Meßspindel des Gravimeters um jeweils 15 Hundertstelmaßstabsskalenteile verstellt, das entspricht einem Schwereunterschied von  $2829 \mu\text{Gal}$  !

Die Eichergebnisse sind in der Tabelle zusammengestellt. Es bezeichnet T den Zeitparameter in Monaten,  $\Delta g$  den der Spindelverstellung zugeordneten Schwereunterschied ( $2829 \mu\text{Gal}$ ),  $\Delta s$  den Meßwertausschlag in mm an dem an das Mikrovoltmeter angeschlossenen Registrierschreiber, k die zugeordnete Eichkonstante und  $\bar{k}$  den durch Ausgleichung ermittelten Wert der Eichfunktion jeweils in  $\mu\text{Gal}/100$  mm. Die einzelnen Eichkonstanten sowie die ausgleichende Funktion sind in der Abbildung graphisch dargestellt.

Das in dem Beachtungszeitraum vom 17.10.1967 bis 25.1.1968 gültige Eichpolynom lautet

$$\bar{k} = (125,15 \pm 0,30) + (1,325 \pm 0,123) T \text{ } \mu\text{Gal}/100 \text{ mm.}$$

Der mittlere Fehler eines Eichfaktors  $k$  ergibt sich zu  $\pm 0,63 \mu\text{Gal}/100 \text{ mm}$  entsprechend  $\pm 0,5 \%$  ! Die maximale Abweichung eines einzelnen Eichfaktors vom ausgeglichenen Wert beträgt  $- 1,93 \mu\text{Gal}/100 \text{ mm}$  entsprechend  $1,5 \%$  . Der mittlere Fehler der ausgeglichenen Eichkonstanten lautet am Anfang und am Ende des Beobachtungszeitraumes  $\pm 0,24 \mu\text{Gal}/100 \text{ mm}$  entsprechend  $0,2 \%$  , in der Mitte des Intervalls  $\pm 0,13 \mu\text{Gal}/100 \text{ mm}$  entsprechend  $0,1 \%$  . Bei der Interpretation dieser Eichergebnisse ist zunächst festzustellen, daß durch die angegebenen mittleren Fehler nur die innere Genauigkeit des Eichverfahrens beschrieben wird.

Jedoch sind selbst mit dieser Einschränkung die dargelegten Eichergebnisse insofern bemerkenswert, als sie zeigen, daß die üblicherweise bei der Methode der Spindelverstellung in den Eichwerten festgestellten großen Streuungen ihre Ursache in der Unsicherheit bei der Ermittlung des Betrages der Meßspindelverstellung haben und nicht einer tatsächlichen Schwankung der Registrierempfindlichkeit der Askania-Gravimeter zuzuschreiben sind.

Auch die zu erwartende äußere Genauigkeit des Eichverfahrens dürfte bei dem hier gewählten Verfahren höher liegen als bei den Verfahren der Spindelverstellung ohne Meßbereichsänderung, da mit zunehmendem Betrag der Spindelverstellung (hier umgerechnet  $2,8 \text{ mGal}$ ) der Einfluß systematischer Teilungsfehler etc. des Mikrometermaßstabes abnimmt.

Insofern sind bei dem dargelegten Verfahren die Vorteile der Nullmethode und der Ausschlagmethode miteinander kombiniert.

Prinzipiell ließe sich der Betrag der Spindelverstellung über entsprechende Meßbereichsumschaltungen noch weiter vergrößern, jedoch werden dann in zunehmendem Maße Fragen der Linearität des photoelektrischen Meßsystems des Askania-Gravimeters angesprochen. Entscheidend hängt jedoch die äußere Genauigkeit des Eichverfahrens von der Genauigkeit ab, mit der der Meßbereichsfaktor bestimmt wird.

Hier sollte im Hinblick auf die hohe innere Genauigkeit des Eichverfahrens eine Genauigkeit von relativ  $1 \text{ ‰}$  angestrebt werden.

Es sei noch bemerkt, daß die in jüngster Zeit in der Erdzeitenstation Bonn ausgeführten Parallelregistrierungen mit den Askania-Gravimetern GS 11 Nr. 116 (einmal wöchentliche Eichung mit vertikaler Laboreichstrecke) [5] und GS 12 Nr. 85a (zweimal wöchentliche Eichung durch Spindelverstellung ohne Meßbereichsumschaltung) Übereinstimmung in den ermittelten Amplitudenquotienten der Haupttiden von etwa  $1 \%$  erkennen lassen; dies deutet darauf hin, daß der prinzipielle Nachteil der Spindeleichung, nämlich Verstellung der Meßspindel bei der Eichung gegenüber konstanter Stellung der Meßspindel bei der Registrierung, mindestens im vorliegenden Falle

keinen systematischen Fehleranteil innerhalb der derzeitigen Registriergenauigkeit liefert.

Dennoch soll festgestellt werden, daß das Prinzip der Registrierung und Eichung in gleichen Dimensionen, d.h. Eichung von Schweremessern mit einem unmittelbar gegebenen Eich-Schwereunterschied, oder Eichung von Neigungsmessern mit einem unmittelbar gegebenen Neigungsunterschied, die nicht nur gedanklich bessere Lösung darstellt.

Es ist geplant, das Gravimeter GS 12 Nr. 85a zusätzlich auf der vertikalen Laboreichbasis der Erdzeitenstation Bonn zu eichen, um die verschiedenen Eichmethoden direkt miteinander vergleichen zu können. Dieser Vergleich ist bisher unterblieben, um die laufende, nunmehr über 20 Monate dauernde ununterbrochene Registrierung mit dem Gravimeter GS 11 Nr. 116 nicht zu stören.

**Eichergebnisse**  
Askania-Gravimeter GS 12 Nr. 85a

| Datum      | T<br>[Monat] | $\Delta g$<br>[ $\mu\text{Gal}$ ] | $\Delta s$<br>[mm] | k<br>[ $\mu\text{Gal}/100\text{mm}$ ] | $\bar{k}$<br>[ $\mu\text{Gal}/100\text{mm}$ ] |
|------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---|
| 17.10.1967 | 0,57         | 2829                              | 226,0              | 125,18                                | 125,90  |
| 21.10.     | 0,70         |                                   | 221,0              | 128,01                                | 126,08  |
| 24.10.     | 0,80         |                                   | 224,5              | 126,01                                | 126,21  |
| 27.10.     | 0,90         |                                   | 224,5              | 126,01                                | 126,34  |
| 30.10.     | 1,00         |                                   | 225,0              | 125,73                                | 126,47  |
| 3.11.      | 1,10         |                                   | 223,0              | 126,86                                | 126,61  |
| 9.11.      | 1,30         |                                   | 224,0              | 126,29                                | 126,87  |
| 13.11.     | 1,43         |                                   | 222,0              | 127,43                                | 127,05  |
| 15.11.     | 1,50         |                                   | 224,0              | 126,29                                | 127,14  |
| 19.11.     | 1,63         |                                   | 221,5              | 127,72                                | 127,31  |
| 10.12.     | 2,33         |                                   | 220,5              | 128,30                                | 128,24  |
| 16.12.     | 2,53         |                                   | 219,5              | 128,88                                | 128,50  |
| 20.12.     | 2,67         |                                   | 218,5              | 129,47                                | 128,69  |
| 27.12.     | 2,90         |                                   | 220,0              | 128,59                                | 128,99  |
| 30.12.     | 3,00         |                                   | 219,5              | 128,88                                | 129,12  |
| 3. 1.1968  | 3,10         |                                   | 218,5              | 129,47                                | 129,26  |
| 6. 1.      | 3,20         |                                   | 218,5              | 129,47                                | 129,39  |
| 9. 1.      | 3,30         |                                   | 219,0              | 129,18                                | 129,52  |
| 12. 1.     | 3,40         |                                   | 218,0              | 129,77                                | 129,65  |
| 16. 1.     | 3,53         |                                   | 218,5              | 129,47                                | 129,83  |
| 21. 1.     | 3,70         |                                   | 217,0              | 130,37                                | 130,05  |
| 25. 1.     | 3,83         |                                   | 217,5              | 130,07                                | 130,22  |



L I T E R A T U R

---

[1] M. BONATZ

Gravimetric Earth Tide Recording with Askania-Gravimeter GS 11 or 12 by Electronic Amplification of the Gravimeter-Signal.

*Dem Erdgezeitensymposium anlässlich der Generalversammlung der IUGG 1967 in Luzern vorgelegter Bericht.*

[2] M. BONATZ

Genauigkeitssteigerung der Eichung durch Spindelverstellung bei Verwendung eines elektronischen Registrierverstärkers zu den Askania-Gravimetern GS 11 und GS 12

*Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, Nr 49 (1967) S. 2226*

[3] KEITHLEY ENGINEERING NOTES

150 B Microvolt-Ammeter,

*Vol. 15, Nr 1.*

[4] M. BONATZ

Ergebnisse von Parallelregistrierungen mit zwei Askania-Gravimetern in der Erdgezeitenstation Bonn.

*Veröff. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Nr. 158, München 1968.*

[5] M. BONATZ

Über die Eichung von Registriergravimetern mittels einer vertikalen Laboreichstrecke

*Veröff. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 84, München 1965.*

---

QUELQUES RESULTATS DES OBSERVATIONS DES INCLINAISONS DE LA TERRE A  
L'OBSERVATOIRE D'ENGELHARDT POUR 1964.

I. A. Ourasina

Isvestia Observatoire Astronomique Engelhardt N° 35 pages 30-32 Kazan 1966

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМНЫХ НАКЛОНОВ  
В АОЭ ЗА 1964 ГОД.

И.А. Урасина.

Известия Астрономичес. Энгельгардтовс. Обсерватории.  
№ 35 Стр. 30-32 Казань 1966.

A la fin de 1963 la station clinométrique de l'Observatoire Engelhardt a reçu deux clinomètres photoélectriques d'Ovstrovskii de nouveau type (1) pour l'enregistrement des inclinaisons de la Terre sous l'action de l'attraction luni-solaire. Les appareils sont installés sur un pilier de la salle principale dans les azimuts du méridien et du premier vertical. L'azimut de l'appareil N° 19 est égal à 90° de l'appareil N° 18 il est 180° (l'azimut a été calculé du nord vers l'est). Par conséquent, l'appareil N° 19 a enregistré la composante des inclinaisons de la Terre dans la direction N-E, et le N° 18 dans la direction E-W. Toute la partie d'enregistrement a été installée dans une cabine spécialement équipée pour elle, située en haut du puits de la station.

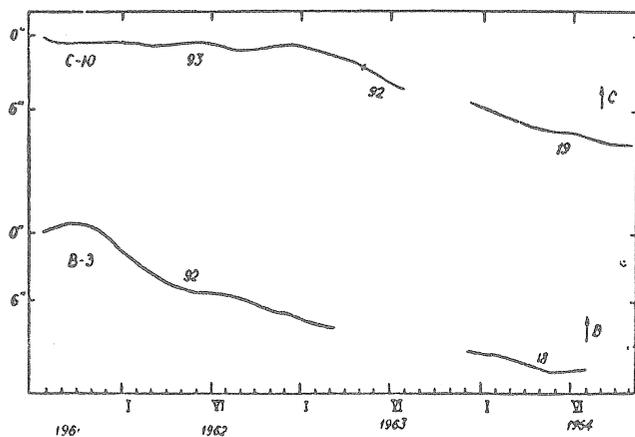


Fig. 1.

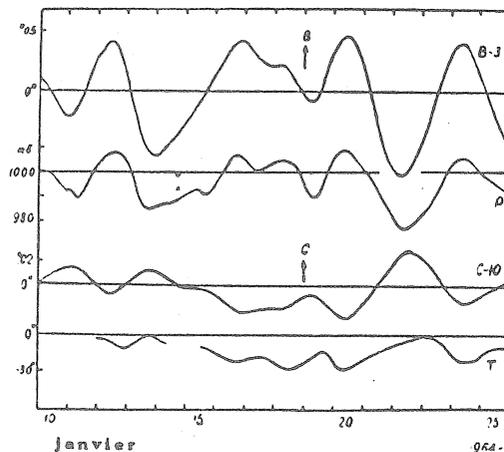


Fig. 2

L'enregistrement des inclinaisons de la Terre a été réalisé avec une sensibilité de 700 à 1.000 mm/1" c'est-à-dire qu'au déplacement du spot lumineux sur le papier photographique de 1 mm correspondait une inclinaison de 0"0013 à 0"0010.

Pour des causes techniques, l'enregistrement des inclinaisons par l'appareil N° 18(E-W) a été effectué jusqu'en juillet 1964, par l'appareil N° 19(N-S) jusqu'à la fin d'octobre 1964.

Comme on le sait, les observations clinométriques permettent de déterminer non seulement la valeur  $\gamma = 1 + k - h$  reliant entre eux les nombres de Love  $k$  et  $h$  mais donnent aussi la possibilité de juger de l'allure dite séculaire de l'inclinaison du site (2).

La figure 1 montre l'allure de l'inclinaison depuis août 1961 jusqu'octobre 1964 dans les directions N-S et E-W, obtenue à l'aide de différents complexes de clinomètres photoélectriques d'Ostrovskii. On voit que la vitesse est différente pour les différentes années ; l'azimut varie un peu aussi, cependant dans son ensemble l'inclinaison du site a une direction exprimée de façon nette vers le sud-ouest. En 1964, la vitesse de la direction résultante de l'inclinaison est à peu près égale à 4" par an et a un azimut Sud-Sud-ouest.

Les causes de la variation séculaire des inclinaisons sont les plus diverses (2). Ce ne sont pas seulement les processus tectoniques et les hétérogénéités de température mais aussi les phénomènes karstiques qui ont une grande diffusion en Tatarie, les accumulations de gaz dans les couches profondes de la Terre (3).

En ce qui concerne l'existence d'une composante annuelle il est difficile de dire quelque chose de précis car en 1963 eurent lieu de fréquents déplacements de clinomètres de l'ancien type. Cependant si une onde existe aussi dans nos observations des inclinaisons (elle est probablement la conséquence des variations annuelles de température dans les couches supérieures de la Terre (4) son amplitude n'est pas grande

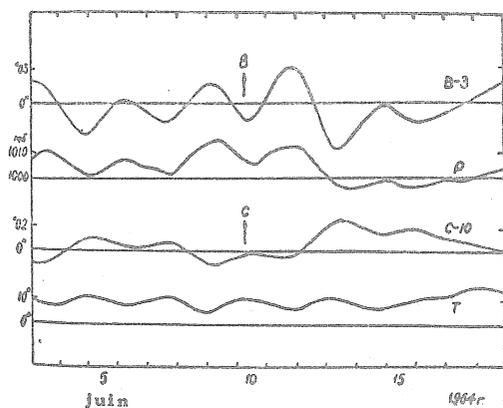


Fig. 3

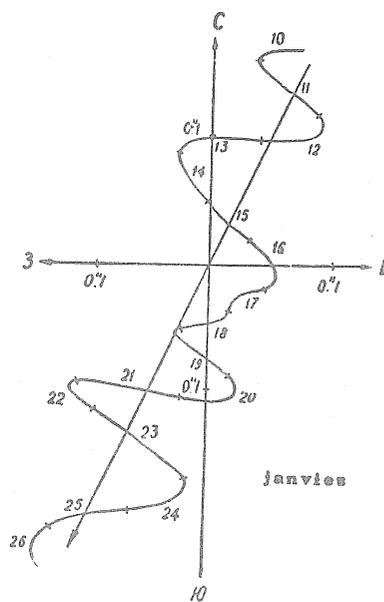


Fig. 4

Nos appareils ayant été installés à une profondeur d'environ 14 m sous la surface de la Terre et dans un sol sédimentaire peu rigide, il était intéressant d'établir l'existence d'un lien entre les variations des inclinaisons et les variations de la pression et de la température extérieures (2, 4, 5, 6). Pour cela nous avons comparé le graphique des inclinaisons obtenu pour chacun des appareils après l'élimination de la marée, avec le graphique de l'allure de la pression atmosphérique et de la température extérieure de l'air au point d'observation. La figure 2 donne cette dépendance pour janvier 1964 (la sensibilité des appareils est égale à  $0^{\circ}0010/1\text{mm}$ , la fig. 3, pour juin 1964 (la sensibilité des appareils est de  $0^{\circ}0014/1\text{mm}$ ). Ces figures montrent un lien étroit entre les phénomènes indiqués.

La figure 4 montre une direction générale de l'inclinaison en janvier 1964 vers le sud-ouest avec de petits écarts dans la direction perpendiculaire qui concordent bien avec les variations de la pression atmosphérique et de la température extérieure de l'air au site.

Il est intéressant de noter que la corrélation de l'allure de l'inclinaison et de la pression atmosphérique et aussi de la température extérieure a lieu sans aucune différence apparente des phases (fig. 2, 3).

La corrélation nettement exprimée entre les variations non périodiques des inclinaisons et la pression atmosphérique au site a probablement un caractère purement local.

Etant donné que la pression et la température de l'air sont liées entre elles et que chacune d'elles perturbe l'inclinaison du lieu, il est très difficile de trouver la corrélation précise entre l'inclinaison et la pression de l'air et aussi entre l'inclinaison et la variation de la température extérieure. C'est pourquoi, en considérant que les variations d'inclinaison données sur les figures 2 et 3 sont provoquées uniquement par des perturbations barométriques, nous avons trouvé préalablement, en moyenne, pour la variation de la pression de 1 mb, une inclinaison de  $0^{\circ}0030$  dans l'azimut E-W et de  $0^{\circ}0015$  dans l'azimut N-S.

Conformément à ces données, la valeur du module de rigidité  $\mu$  des couches de la Terre, se déformant sous l'action de la pression atmosphérique est égal à  $0,5 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>

Cette valeur de  $\mu$  confirme l'opinion que les couches supérieures de l'écorce terrestre (5) participent aux déformations de ce genre.

BIBLIOGRAPHIE

---

1. A.E. OSTROVSKII  
Le clinomètre avec enregistreur photoélectrique  
*Publ. "Etude des marées terrestres", 1961, N° 2*
  
2. V.F. BONTCHKOVSKII  
Résultats du cycle annuel de mesures des mouvements lents des couches de la Terre par les méthodes géophysiques.  
*Publ. "Mouvements actuels de l'écorce terrestre", 1963, N° 1.*
  
3. N.N. NELIDOV, A.M. GOUBAÏDOULLINE  
Mouvements verticaux actuels de la surface de la Terre sur le territoire de Kazan.  
*Publ. "Mouvements actuels de l'écorce terrestre", 1963 N° 1.*
  
4. V.V. POPOV  
Sur les déformations de température de la surface de la Terre  
*Izvestia Ac. des Sc. URSS, série géophys. 1960, N° 7*
  
5. V.F. BONTCHKOVSKII  
Les déformations de la surface de la Terre sous l'influence des forces extérieures.  
*Rapports de l'Ac. des Sc. d'URSS, 1948 Tome LX, N° 6*
  
6. H. LETTAU  
Über die unmittelbare Einwirkung atmosphärischer Kräfte auf Erdkruste,  
*Meteorol. Zeitschr. 54, 453, 1937*

Traduction.

QUELQUES RESULTATS D'ANALYSE HARMONIQUE DES OBSERVATIONS CLINOMETRIQUES  
D'APRES DES PROGRAMMES GLISSANTS

*S.N. Korba et P.S. Matveyev*

Marées Terrestres Acad. Sc. R.S.S.d'Ukraine Observ. Grav. de Poltava  
Institut Géophysique de la R.S.S. d'Ukraine, Kiev 1966.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
НАКЛОНОМЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПО СКОЛЬЗЯЩЕЙ ПРОГРАММЕ.

С.Н. Корба. П.С. Матвеев.

Земные Приливы Акад. Наук Укр. ССР Полтавск.  
Гравиметр. Обсерв. Инст. Геофиз. АН УССР Киев-1966.

A la session du Conseil de Séismologie de l'Académie des Sciences d'URSS (octobre 1962, Douchambe) on a entendu une série de rapports relatifs à la périodicité des valeurs  $\delta$ ,  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues par analyse harmonique des observations des marées terrestres suivant les méthodes de R. Lecolazet [10] et B.P. Pertsev [2] appliquées sous forme de programmes glissants.

Ainsi, You. K. Saritcheva a noté que les valeurs de  $\delta$  obtenues à Tachkent par la méthode Lecolazet, en déplaçant l'époque centrale d'heure en heure peut varier jusqu'à 3 % en amplitude avec une nette périodicité. Des recherches supplémentaires effectuées plus tard ont permis à l'auteur [3] de déterminer la période de ces oscillations. Pour l'onde  $K_1$  il met en évidence une période nette de 10.6 heures à laquelle correspond une amplitude de variation de  $\delta$  d'environ 2 %. Pour l'onde  $M_2$ , la période est de 6.9 heures, et l'amplitude d'environ 6 %.

A.B. Bachrouchine et K.M. Anochina [4,5] et aussi A.E. Ostrovskii, A.V. Choromskii et S.M. Fandiouchina [6,7] ont fait un rapport sur la périodicité des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues par la méthode de Pertsev avec un déplacement régulier de l'époque centrale d'un jour. Les données de départ étaient les observations effectuées à l'aide des clinomètres photo-électriques d'Ostrovskii à Kondara et Alma-Ata. La périodicité la plus nette était obtenue pour les ondes  $M_2$  (période d'environ 7 jours, amplitude jusqu'à 5 à 7 %) et  $N_2$  (période d'environ 4,5 jours, amplitude jusqu'à 15 à 20 %).

Cette périodicité peut naturellement conduire à une erreur systématique importante dans le résultat moyen.

En 1963, S.N. Korba a composé un programme pour la réduction des observations de marées terrestres sur ordinateur électronique d'après le schéma d'analyse harmonique établi à l'Observatoire gravimétrique de Poltava [1, 11]. On a eu ainsi la possibilité de vérifier encore une méthode sur la stabilité des résultats obtenus par elle. Comme données de départ on a pris les observations d'inclinaisons effectuées dans le puits "Central" de la mine "Ingouletz" à une profondeur de 260 m dans l'azimut  $\alpha = 76^{\circ}43'7''$  à l'aide du pendule horizontal Repsold-Levitskii. Pour l'analyse on a choisi une série ininterrompue d'observations de 0<sup>h</sup> T.U. le 20.XI.1961 à 23<sup>h</sup> T.U. le 11.1.1962. La sensibilité de l'appareil au cours de ce temps s'est maintenue aux environs de 7.2 msec/mm.

Le programme utilisé permet d'obtenir des résultats avec un déplacement régulier du début de la série d'une heure ou de n'importe quel intervalle, multiple de 12 heures.

Lors du calcul avec déplacements horaires, la sensibilité pour chaque jour successif a été prise comme constante. On a effectué 234 analyses qui ont donné 1872 paires de valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$ . Les amplitudes des ondes  $Q_1$ ,  $M_1$ ,  $N_2$  et  $\mu_2$  sont relativement petites et leurs résultats ne présentent pas un grand intérêt pour le problème étudié. Pour mettre en évidence le caractère de variabilité des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  avec le temps on a utilisé les valeurs plus précises obtenues pour les ondes  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$  et  $S_2$ . Des modèles de courbes construites sur la base de ces données pour trois jours sont donnés sur les figures 1 et 2 par des lignes continues.

On constate que pour chacune des quatre ondes de marées principales, la périodicité est propre aux courbes caractérisant la variation des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  avec le temps. Les courbes  $\gamma = \gamma(t)$  et  $\chi = \chi(t)$  pour l'onde  $M_2$  ont une période plus ou moins stable. En moyenne pour les trois jours la période de variation des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  pour cette onde était égale à 5,1 heures avec une amplitude relative d'environ 0,8 à 0,9 %. Pour l'onde  $S_2$  on observe moins bien la périodicité. Cependant, on peut y noter la présence d'une période d'environ 6 heures avec une amplitude allant jusqu'à 1.2 à 1.5 % qui est sensiblement altérée par des composantes plus faibles de périodes de 2 à 3 heures. Les courbes  $\gamma = \gamma(t)$  et  $\chi = \chi(t)$  pour l'onde  $K_1$  sont tout à fait semblables aux courbes de l'onde  $S_2$ .

En ce qui concerne l'onde  $O_1$  la périodicité des courbes se caractérise principalement par une période d'environ 5,5 heures et aussi par la présence d'une certaine variation journalière irrégulière. L'amplitude de la variation des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  pour cette onde atteint 4 %.

Lors du calcul avec déplacement d'un jour on a effectué 25 analyses dont la première se rapporte à l'époque initiale de la série, c'est-à-dire à 0<sup>h</sup> T.U. le 20.XI.1961.

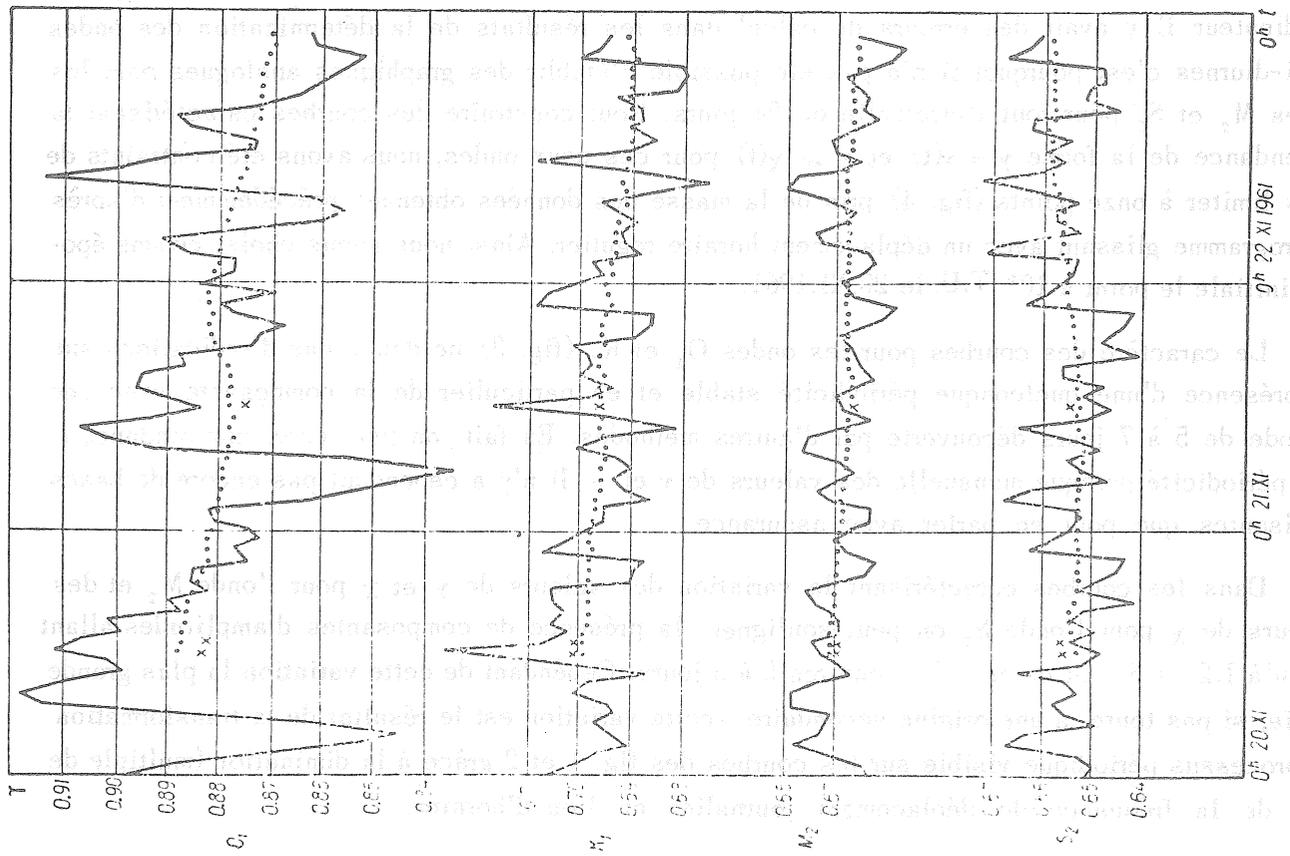


Fig. 1 : Graphiques de la variation des valeurs de  $\gamma$  pour les ondes  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$  et  $S_2$  avec déplacement de l'époque moyenne de la série des observations d'une heure.

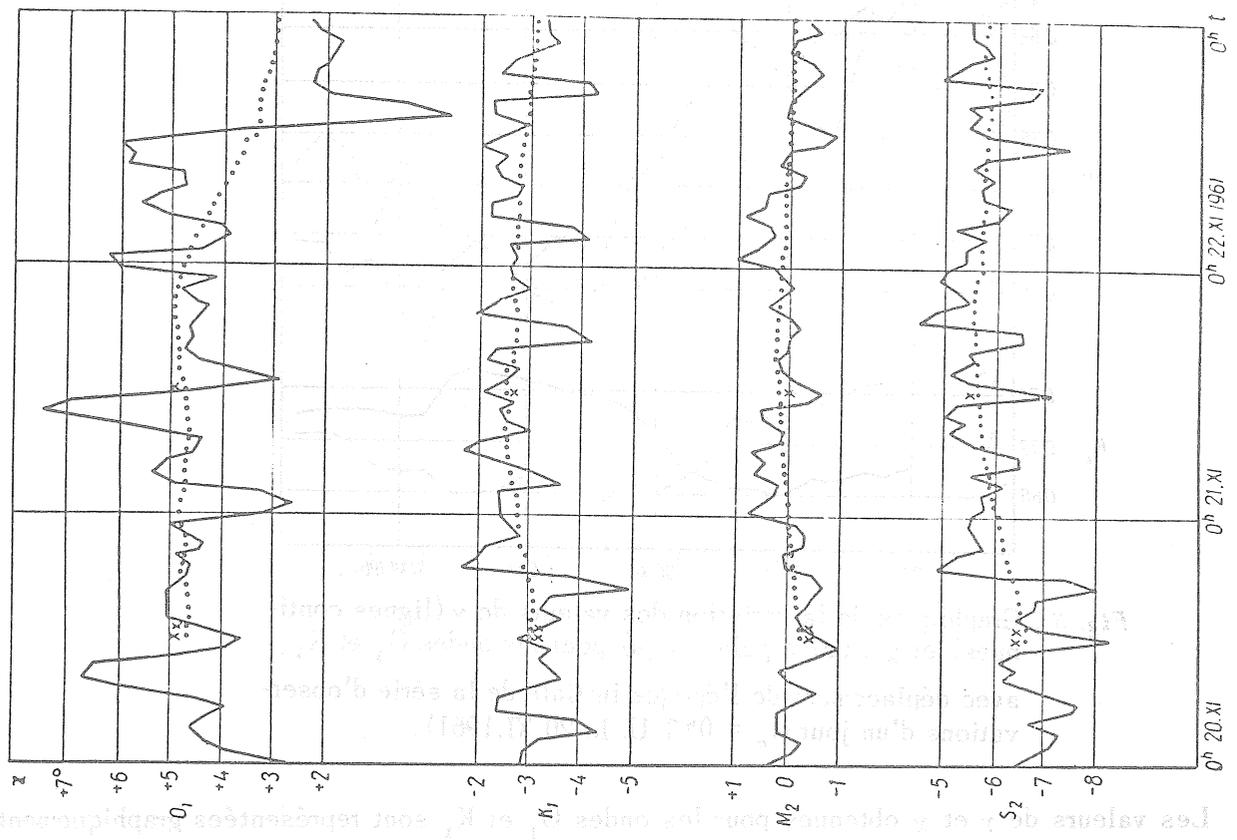


Fig. 2 : Graphiques de la variation des valeurs de  $\chi$  pour les ondes  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$  et  $S_2$  avec déplacement de l'époque initiale de la série des observations d'une heure.

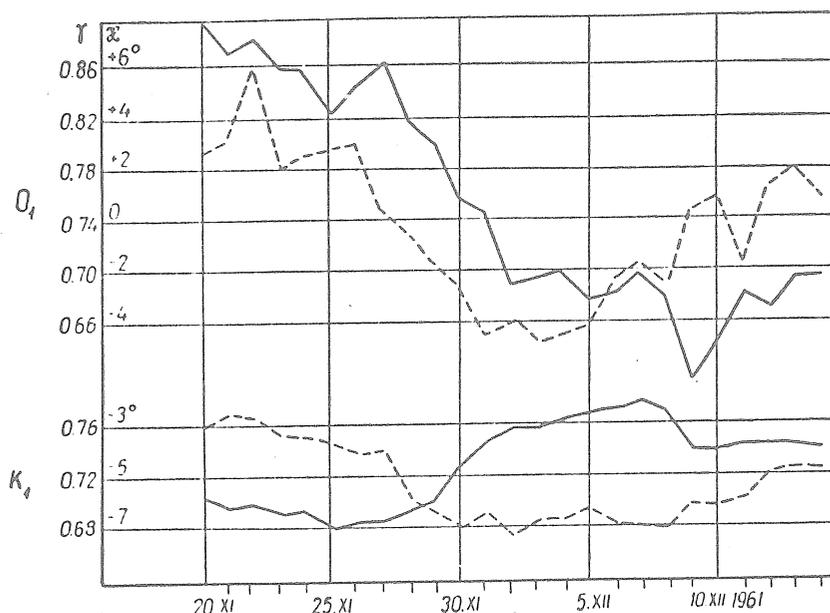


Fig. 3 : Graphiques de la variation des valeurs de  $\gamma$  (lignes continues) et  $\chi$  (lignes pointillées) pour les ondes  $O_1$  et  $K_1$  avec déplacement de l'époque initiale de la série d'observations d'un jour ( $t_0 = 0^h$  T.U. le 20.XI.1961).

Les valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues pour les ondes  $O_1$  et  $K_1$  sont représentées graphiquement sur la figure 3. Malheureusement à cause du mauvais fonctionnement de la partie imprimante de l'ordinateur il y avait des erreurs de calcul dans les résultats de la détermination des ondes semi-diurnes c'est pourquoi il n'a pas été possible d'établir des graphiques analogues pour les ondes  $M_2$  et  $S_2$  pour tout l'intervalle de 24 jours. Pour construire des courbes caractérisant la dépendance de la forme  $\gamma = \gamma(t)$  et  $\chi = \chi(t)$  pour ces deux ondes, nous avons été contraints de nous limiter à onze points (fig. 4) pris de la masse des données obtenues précédemment d'après le programme glissant avec un déplacement horaire régulier. Ainsi nous avons choisi comme époque initiale le point à  $10^h$  T.U. le 20.XI.1961.

Le caractère des courbes pour les ondes  $O_1$  et  $K_1$  (fig. 3) ne donne pas d'indications sur la présence d'une quelconque périodicité stable et en particulier de la composante avec une période de 5 à 7 jours découverte par d'autres méthodes. En fait, on peut noter une tendance à une périodicité presque mensuelle des valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$ . Il n'y a cependant pas encore de bases suffisantes que pour en parler avec assurance.

Dans les courbes caractérisant la variation des valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$  pour l'onde  $M_2$  et des valeurs de  $\chi$  pour l'onde  $S_2$  on peut souligner la présence de composantes d'amplitudes allant jusqu'à 1.2 - 1.3 % et de période d'environ 5 à 6 jours. Cependant de cette variation la plus grande partie, si pas toute, a une origine secondaire : cette variation est le résultat de la transformation du processus périodique visible sur les courbes des fig. 1 et 2 grâce à la diminution (multiple de 24) de la fréquence de déplacement journalier au lieu d'horaire.

On peut trouver une confirmation à ce qui a été dit dans les données représentées graphiquement sur la figure 5 qui sont des valeurs adoucies de  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues précédemment d'après le programme glissant avec déplacement horaire régulier (fig. 1-2).

A titre de combinaison de lissage on a utilisé la formule de la moyenne glissante de 25 valeurs courantes successives de la valeur adoucie

$$y_{\text{moy.}} = \frac{1}{25} \sum_{i=-12}^{i=+12} y_i \quad (1)$$

où par  $y_i$  on entend les valeurs  $\gamma_i$  ou  $\chi_i$ . Cette formule filtre suffisamment bien la composante diurne et la plupart des oscillations à courte période découvertes.

Les valeurs lissées de  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues par cette formule sont données dans les figures 1 et 2 par des lignes pointillées. Ces valeurs lissées ont été aussi utilisées pour la construction des courbes de la figure 5 destinées à la découverte des oscillations dans les valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  dont la période est de quelques jours. Les courbes ont été construites d'après les points séparés par des intervalles semi-diurnes.

Après avoir comparé les courbes de variation de  $\gamma$  et  $\chi$  données à la figure 5 avec les courbes analogues à celles-ci sur les figures 3 et 4, on peut noter qu'après avoir éliminé les oscillations à courte période, la période de 5 jours dans la courbe de la forme  $\gamma = \gamma(t)$  pour l'onde  $M_2$  est pratiquement disparue. Pour les courbes de la forme  $\chi = \chi(t)$  pour les deux ondes semi-diurnes, cette composante n'a pas disparu mais son amplitude a diminué un peu.

On peut tirer les conclusions préliminaires suivantes :

- 1) Les valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues avec un écart d'une heure sont soumises aux oscillations à courte période avec une amplitude allant jusque 0,9 % pour l'onde  $M_2$ , 1,5 % pour les ondes  $S_2$  et  $K_1$  et 4,0 % pour l'onde  $O_1$ .
- 2) Dans les résultats obtenus avec un écart d'un jour, la composante de période de 5 à 6 jours n'apparaît que dans les valeurs de  $\chi$  pour les ondes  $M_2$  et  $S_2$ . Ainsi l'amplitude de cette composante était très faible - environ 0,3 pour l'onde  $M_2$  et environ 0,6 pour l'onde  $S_2$ .

Il s'ensuit qu'avec la méthode d'analyse harmonique étudiée ici il n'y a que les variations à courte période des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  qui présentent un certain danger comme source possible d'erreurs systématiques.

Bien que l'erreur due de la négligence de la périodicité découverte soit faible (pour les ondes semi-diurnes principales il est rare qu'elle dépasse 1 %), il nous a paru cependant utile d'essayer d'améliorer la méthode d'analyse pour que les résultats obtenus soient affranchis de cette erreur. En principe, ce but peut être atteint d'une des deux façons suivantes :

- 1) mettre en évidence par la méthode du periodogramme toutes les composantes à courte période principales dans les variations de  $\gamma$  et  $\chi$ . Composer ensuite un programme spécial pour l'ordi-

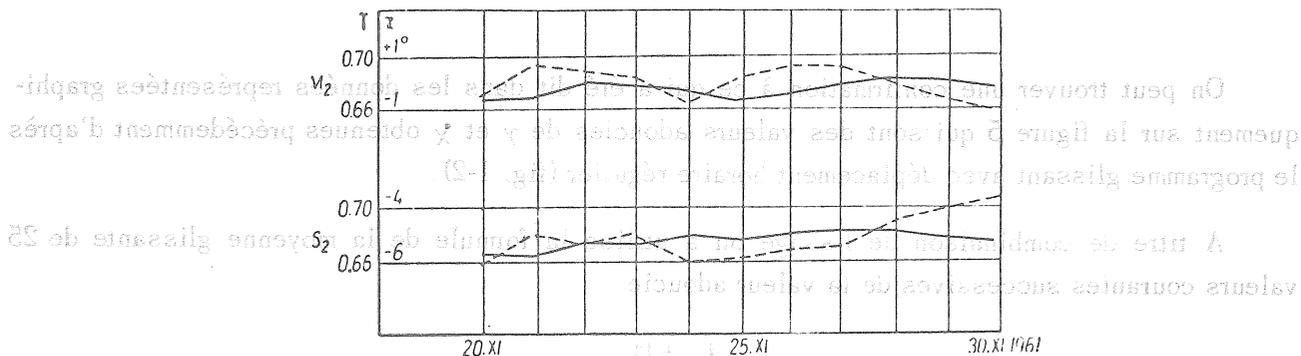


Fig. 4 : Graphiques de la variation des valeurs de  $\gamma$  (lignes continues) et  $\chi$  (lignes pointillées) pour les ondes  $M_2$  et  $S_2$  avec déplacement de l'époque initiale de la série d'observations d'un jour ( $t_0 = 10^h$  T.U. le 20.XI.1961).

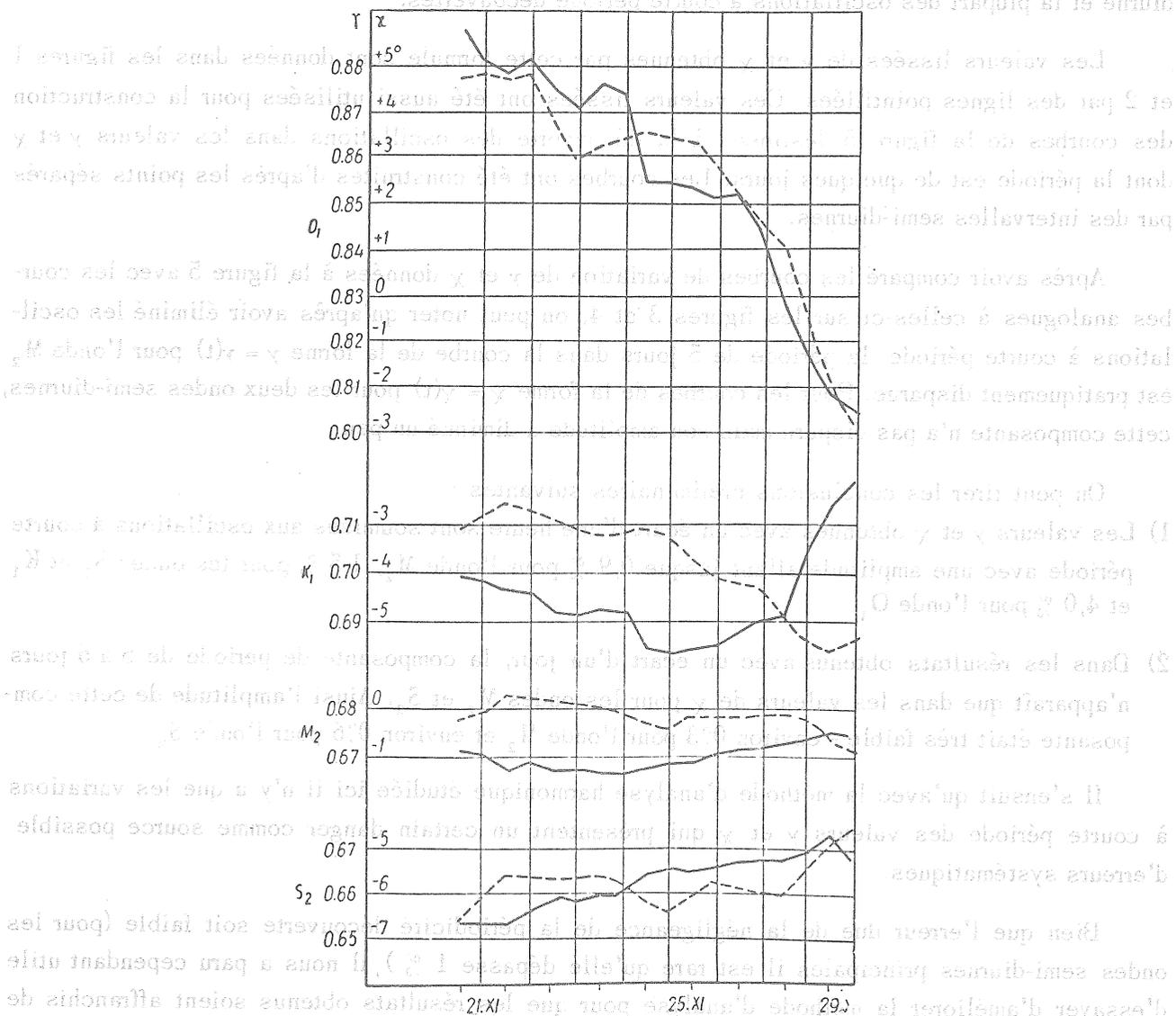


Fig. 5: Graphiques de la variation des valeurs lissées de  $\gamma$  (lignes continues) et  $\chi$  (lignes pointillées) pour les ondes  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$  et  $S_2$  avec changement de l'époque initiale de la série des observations de 12 heures ( $t_0 = 12^h$  T.U. le 20.XI.61)

nateur électronique permettant d'obtenir sur la base des résultats des écarts séparés des valeurs moyennes de  $\gamma$  et  $\chi$  affranchies des erreurs systématiques. Cette méthode est appliquée par M.V. Kramer [8] pour la réduction des observations des marées terrestres d'après la méthode de Pertsev ;

- 2) mettre à jour les causes provoquant les variations à courte période des valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  obtenues avec un déplacement d'une heure. Changer de façon correspondante le schéma d'analyse harmonique afin qu'il filtre mieux ces effets.

Nous avons choisi la seconde voie. Après une vérification soignée du schéma [1, 11] nous avons établi que l'apparition des variations à courte période dans les valeurs  $\gamma$  et  $\chi$  est possible pour les raisons suivantes : a) la précision insuffisante des coefficients tenant compte de l'influence des ondes de marées perturbatrices; b) la précision insuffisante de la séparation des ondes diurnes et semi-diurnes; c) on n'a pas tenu compte de certains harmoniques faibles de la marée.

Sans approfondir la part relative de responsabilité de chacune de ces causes, on a entrepris le changement du schéma étudié d'analyse augmentant sensiblement sa précision sur tous les points énumérés. La description de la nouvelle modification du schéma est donné dans le travail [9].

Le schéma précisé d'analyse a déjà été programmé pour les calculs sur ordinateur électronique mais malheureusement ce programme n'était pas encore repassé au moment de la rédaction de cet article.

C'est pourquoi nous n'avons pas la possibilité de vérifier complètement la stabilité dans le temps des résultats obtenus. Cependant nous avons tout de même pu obtenir sur les simples machines à calculer à la main les valeurs de contrôle de  $\gamma$  et  $\chi$  pour trois séries mensuelles des données employées. Les époques initiales des séries réduites sont : 0<sup>h</sup> le 20.XI.1962, 1<sup>h</sup> le 20.XI.1962 et 0<sup>h</sup> le 21.XI.1962. Les valeurs obtenues de  $\gamma$  et  $\chi$  sont portées sur les figures 1 et 2, symbolisées par de petites croix.

Nous voyons que pour les quatre ondes les nouvelles valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$  tendent à se rapprocher de la courbe pointillée des résultats lissés, ce qui montre que les variations à courte période doivent pratiquement manquer dans les valeurs obtenues de  $\gamma$  et  $\chi$ .

Les petits écarts des nouvelles valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$  des courbes pointillées s'expliquent apparemment par l'imperfection de l'application pour la construction de ces courbes des combinaisons (1) et non par les erreurs des nouvelles valeurs. Nous en sommes convaincus par le caractère systématique des écarts de chacune des trois nouvelles valeurs de  $\gamma$  ou  $\chi$  par rapport aux courbes pointillées correspondantes.

## BIBLIOGRAPHIE

---

1. P.S. MATVEYEV  
Analyse harmonique des marées terrestres (série de 29 jours).  
*Trav. de l'Obs. grav. de Poltava. Ac. des Sc. d'Ukraine T 11., 1962.*
2. B.P. PERTSEV  
Analyse harmonique des marées élastiques.  
*Izvestia de l'Ac. des Sc. d'URSS Séries Géoph. N° 8, 1958.*
3. You.K. SARITCHEVA  
De la question de la différence dans les valeurs de  $\delta$  obtenues par l'analyse harmonique par la méthode de Lecolazet.  
*Publ. "Etude des marées terrestres" "Sciences" M. 1964.*
4. A.B. BACHROUCHINE, K.M. ANOCHINA  
Sur la précision de l'enregistrement des inclinaisons de la surface de la Terre  
*Rapports de l'Ac. des Sc. du Tadjikistan. T. V., N° 4, 1962.*
5. A.B. BACHROUCHINE, K.M. ANOCHINA  
Sur la variation du coefficient  $\gamma$  dans le temps d'après les observations de Kondara.  
*Publ. "Dynamique de l'écorce terrestre" "Sciences" M. 1965.*
6. A.E. OSTROVSKII, A.V. CHOROMSKII, S.M. FANDIOUCHINA  
Série annuelle des observations des inclinaisons de marées à Alma Ata,  
*Publ. "Dynamique de l'écorce terrestre" "Sciences" M, 1965.*
7. A.E. OSTROVSKII, S.M. FANDIOUCHINA  
Inclinaisons de marées d'après les observations avec des appareils parallèles.  
*Publ. "Etude des marées terrestres" "Sciences" M. 1964.*
8. M.V. KRAMER  
Sur la question de l'influence des erreurs accidentelles des observations sur les résultats de la détermination des amplitudes et des phases des ondes de marées élastiques.  
*Publ. "Etude des marées terrestres" "Sciences" M, 1964.*
9. P.S. MATVEYEV  
Analyse harmonique d'une série mensuelle des observations des marées terrestres.  
*"Marées terrestres" Kiev 1966.*
10. R. LECOLAZET  
La méthode utilisée à Strasbourg pour l'analyse harmonique de la marée gravimétrique.  
*Marées Terrestres Bull. d'Inform., N° 10, 1958.*
11. P.S. MATVEEV  
L'analyse harmonique de la série 29 jours de marées terrestres.  
*Marées Terrestres Bull. d'Inform. N° 31, 773-800, 1963.*

Traduction.

RESULTATS PRELIMINAIRES DES OBSERVATIONS CLINOMETRIQUES A LA STATION DE  
LA RESERVE LAVRO-PETCHERSKII DE KIEV

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

Marées Terrestres Acad. Sc. R.S.S. d'Ukraine Observ. Grav. de Poltava  
Institut Géophysique de la R.S.S. d'Ukraine, Kiev 1966

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАКЛОНОМЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ  
НА СТАНЦИЙ КИЕВСКИЙ ЛАВРО-ПЕЧЕРСКИЙ ЗАПОВЕДНИК.

*В.Г. Баленко, А.М. Кутный, А.Н. Новикова.*

Земные Приливы Акад. Наук Украинск. ССР Полтав.  
Гравим. Обсерв. Инстит. Геоф. Киев.

L'étude de la structure de l'écorce terrestre et du manteau supérieur constitue l'une des tâches actuelles de la géophysique. On connaît à présent deux méthodes principales pour la solution de ce problème : l'analyse des ondes sismiques naturelles et artificielles et l'étude des anomalies des inclinaisons de marées de la surface de la Terre.

Les deux procédés cités ne s'éliminent pas mais se complètent l'un l'autre. Les méthodes sismiques donnent la structure détaillée des fractures du territoire étudié mais ne peuvent indiquer quelles sont effectivement les limites des blocs constituant l'écorce et le manteau supérieur. Par blocs nous entendons les parties de l'écorce terrestre qui se meuvent comme un tout sous l'effet des forces extérieures et sont séparées des parties voisines par les fractures ou par un changement brusque des propriétés physiques des roches.

L'étude des anomalies des inclinaisons de marées ne peut probablement pas donner l'énumération détaillée de ces fractures mais aide à déterminer les plus importantes pour l'étude de la structure de l'écorce terrestre sous forme de blocs. L'étude des anomalies des inclinaisons de marées peut également donner une indication relativement à ces fractures qui ne sont pas indiquées par les méthodes sismiques.

R. Tomaschek [6] a été l'un des premiers à montrer la possibilité d'utiliser les marées terrestres pour l'étude des fractures profondes dans l'écorce terrestre. Cependant les travaux à grande échelle n'ont commencé dans cette direction qu'en 1961. P.S. Matveyev a organisé à l'Observatoire gravimétrique de Poltava, des observations des inclinaisons de marées suivant le

profil Trostianietz - Poltava - Cherson, qui coupe dans la direction subméridionale le creux Dniepr-Donetz.

Les résultats préliminaires qu'il a publiés [2 - 4] ont confirmé l'efficacité du travail et il est apparu nécessaire d'élargir les travaux commencés par P.S. Matveyev.

Nous avons élaboré un plan d'organisation de stations clinométriques suivant la ligne Kiev - Poltava - Slaviansk, qui est perpendiculaire au profil Trostianietz - Poltava - Cherson et coupe le creux du Dniepr-Donetz. La station clinométrique dans les grottes voisines de la réserve d'histoire et de culture de Kiev Lavro-Petcherskii a commencé la première en octobre 1964.

La station est située sur la rive droite montagneuse du Dniepr dans des grottes creusées il y a environ 900 ans. Les parois du fond de la grotte dans laquelle sont installés les appareils sont en grès solide et n'exigent pas de soutènement. L'épaisseur du sol sous les appareils est d'environ 10 m. Le fond est divisé par de solides cloisons en deux parties. Dans la partie éloignée de l'entrée, un pilier de 75 x 75 cm<sup>2</sup> de section a été installé; il est enfoncé de 50 cm dans le sol et ressort de 20 cm. Sur ce pilier sont installés deux clinomètres du système Ostrovskii H $\phi$  - M N° 06 et N° 07 fabriqué en 1964. Le clinomètre N° 06 enregistre la composante des inclinaisons dans l'azimut 33°53' et le clinomètre N° 07 dans l'azimut 123°53'. Sur l'enregistrement la valeur positive des ordonnées correspond à l'inclinaison du côté " Sud " pour le pendule N° 06 et à l'inclinaison du côté " Ouest " pour le pendule N° 07.

L'enregistreur est placé à 7 m des pendules sur un pilier enfoui peu profondément dans le sol dans une salle voisine des pendules. Là aussi sont placés les accumulateurs alimentant les appareils et le redresseur pour leur charge.

Le site de la station a deux inconvénients : la petite profondeur par rapport à la surface et la visite des grottes par les excursionnistes.

A cause de la profondeur insuffisante de la salle et de l'influence d'une église massive située non loin, l'enregistrement en hiver était inutilisable pour la réduction par séries mensuelles. Pour la période allant de décembre 1964 à avril 1965 on n'a réussi à utiliser pour l'analyse harmonique que 16 séries de trois jours indépendantes. L'autre enregistrement était fortement altéré par l'onde météorologique diurne.

La visite des grottes par les excursionnistes provoque des fléchissements à courte période de la couche de grès dans laquelle sont creusées les grottes. Ces fléchissements se marquent sur l'enregistrement sous forme de dents alternées. L'enregistrement aux heures de visite des grottes (durée d'environ 5 à 6 heures) était tellement troublé qu'il ne convenait pas pour la réduction. Les parties perturbées de l'enregistrement exigent une interpolation mais les combinaisons connues de Lecolazet ou Matveyev étaient inutilisables dans ce cas puisque les excursions se répètent aux mêmes heures du jour.

Nous avons trouvé par la méthode proposée par R.Lecolazet [5] deux combinaisons pour l'interpolation de cinq et six ordonnées, favorables pour nos conditions. Les coefficients de ces combinaisons sont donnés dans la table 1.

Table 1.

Coefficients pour l'interpolation de cinq et six ordonnées ( $K_m = K_{-m}$ )

| Interpolation des ordonnées | $K_0$ | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $K_4$ | $K_5$ | $K_6$ | $K_7$ |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5                           | -924  | +792  | -495  | +220  | -66   | +12   | -1    |       |
| 6                           | -3432 | +3003 | -2002 | +1001 | -364  | +91   | -14   | +1    |

En unissant successivement l'heure centrale de la combinaison avec 1, 2 ... 5 ou 6 ordonnées interpolées, d'après la formule (1) nous trouverons les valeurs intermédiaires  $A_1, A_2, \dots, A_5, A_6$

$$A_i = \sum_{-m}^{+m} K_m y_m, \quad (1)$$

où  $K_m$  sont les coefficients de la combinaison de la table 1,  $Y_m$  sont les ordonnées de l'enregistrement.

Après avoir substitué les valeurs  $A_i$  dans les formules (2), nous obtiendrons les ordonnées  $y_1, y_2 \dots y_5$  ou  $y_6$ .

$$y_1 = \sum_{i=1}^5 A_i \alpha_{i1}, \quad y_2 = \sum_{i=1}^5 A_i \alpha_{i2}, \quad \dots, \\ y_5 = \sum_{i=1}^5 A_i \alpha_{i5} \quad \text{или} \quad y_6 = \sum_{i=1}^6 A_i \alpha_{i6}, \quad (2)$$

où  $\alpha_i$  sont les coefficients trouvés par moindres carrés et donnés plus bas dans la table 2 pour l'interpolation de cinq ordonnées et dans la table 3 pour l'interpolation de six ordonnées.

Table 2.

Coefficients  $\alpha$  pour l'interpolation de cinq ordonnées

| i | $\alpha_{i1}$ | $\alpha_{i2}$ | $\alpha_{i3}$ | $\alpha_{i4}$ | $\alpha_{i5}$ |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 0.0 262 239   | 0.0 629 372   | 0.0 734 268   | 0.0 489 512   | 0.0 157 344   |
| 2 | 0.0 629 372   | 0.1 678 325   | 0.2 097 907   | 0.1 468 335   | 0.0 489 512   |
| 3 | 0.0 734 268   | 0.2 097 907   | 0.2 82 549    | 0.2 097 907   | 0.0 734 268   |
| 4 | 0.0 489 512   | 0.1 468 335   | 0.2 097 907   | 0.1 678 325   | 0.0 629 372   |
| 5 | 0.0 157 344   | 0.0 489 512   | 0.0 734 268   | 0.0 629 372   | 0.0 262 239   |

Table 3

Coefficients  $\alpha$  pour l'interpolation de six ordonnées

| $i$ | $\alpha_{i1}$ | $\alpha_{i2}$ | $\alpha_{i3}$ | $\alpha_{i4}$ | $\alpha_{i5}$ | $\alpha_{i6}$ |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1   | 0.015718028   | 0.045 844 249 | 0.066 682 544 | 0.060 014 289 | 0.033 341 272 | 0.009168850   |
| 2   | 0.045844249   | 0.144 081 923 | 0.220 885 924 | 0.206 715 884 | 0.118 361 514 | 0.033341272   |
| 3   | 0.066682544   | 0.220 885 924 | 0.356 253 651 | 0.348 188 962 | 0.206 715 884 | 0.060014289   |
| 4   | 0.060014289   | 0.206 715 884 | 0.348 188 962 | 0.356 253 651 | 0.220 885 924 | 0.066682544   |
| 5   | 0.033341272   | 0.118 361 514 | 0.206 715 884 | 0.220 885 924 | 0.144 081 923 | 0.045844249   |
| 6   | 0.009168850   | 0.033 341 272 | 0.060 014 289 | 0.066 682 544 | 0.045 844 249 | 0.015718028   |

Pour juger de la qualité des combinaisons d'interpolations proposées nous en avons fait une petite étude sur des données théoriques et d'observation ; nous donnons dans les tables 4 et 5 les résultats de l'interpolation de cinq et six ordonnées des variations de la force de pesanteur en 1962 calculées par M.V. Kramer [ 1].

Table 4.

Résultats de l'interpolation de cinq ordonnées des valeurs théoriques des variations de la force de pesanteur ( $1 = 10^{-5} \mu\text{gal}$ )

| 26 janvier 1962 |                 |                     |        | 22 février 1962 |                 |                     |        |
|-----------------|-----------------|---------------------|--------|-----------------|-----------------|---------------------|--------|
| Heure           | Ordonnée réelle | Ordonnée interpolée | Erreur | Heure           | Ordonnée réelle | Ordonnée interpolée | Erreur |
| 6               | -1967           | -1967               | 0      | 6               | -5177           | -5176               | +1     |
| 7               | -3975           | -3977               | -2     | 7               | -6652           | -6649               | +3     |
| 8               | -5622           | -5625               | -3     | 8               | -7083           | -7079               | +4     |
| 9               | -6600           | -6612               | -3     | 9               | -6458           | -6456               | +2     |
| 10              | -6801           | -6804               | -3     | 10              | -5028           | -5029               | -1     |

Table 5.

Résultats de l'interpolation de six ordonnées des valeurs théoriques des variations de la force de pesanteur ( $1 = 10^{-5} \mu\text{gal}$ )

| 30 mai 1962 |                 |                     |        | 15 janvier 1962 |                 |                     |        |
|-------------|-----------------|---------------------|--------|-----------------|-----------------|---------------------|--------|
| Heure       | Ordonnée réelle | Ordonnée interpolée | Erreur | Heure           | Ordonnée réelle | Ordonnée interpolée | Erreur |
| 9           | +4539           | +4540               | +1     | 7               | -4577           | -4577               | 0      |
| 10          | +5367           | +5369               | +2     | 8               | -4636           | -4635               | +1     |
| 11          | +4823           | +4826               | +3     | 9               | -4979           | -4973               | +6     |
| 12          | +3069           | +3071               | +2     | 10              | -5602           | -5593               | +9     |
| 13          | + 525           | + 527               | +2     | 11              | -6378           | -6370               | +8     |
| 14          | -2236           | -2236               | 0      | 12              | -7071           | -7067               | +4     |

Ces tables montrent que les combinaisons d'interpolation que nous proposons altèrent peu la partie de marée des ordonnées calculées. Malgré cela il convient de les utiliser prudemment et de façon critique. Dans certains cas, la dérive irrégulière du zéro, dans une proximité directe de la partie remplie de l'enregistrement, provoque de grands troubles des ordonnées interpolées qu'il n'est pratiquement pas possible de prévoir. Comme exemple nous proposons les résultats de l'interpolation de l'enregistrement simultané de deux pendules avec un mouvement irrégulier du zéro, entre la 9ème et la 14ème heure, sous l'aspect de fléchissement corrélé pour les deux appareils.

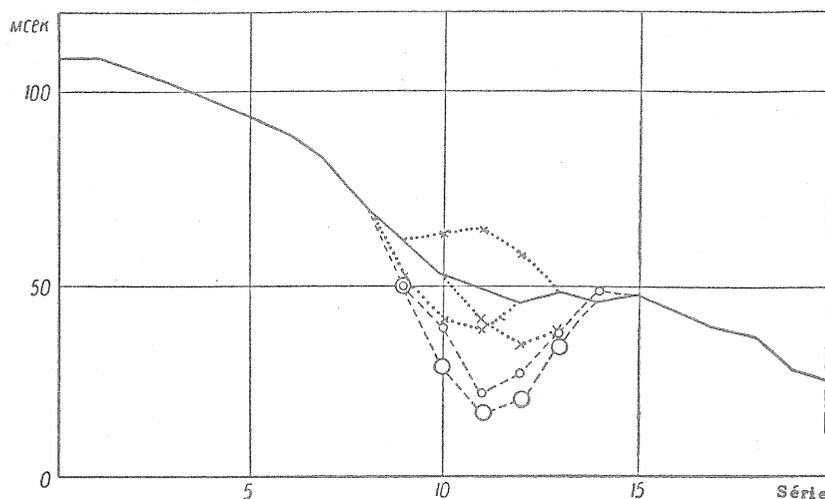


Fig. 1.- Résultats de l'interpolation en fonction de trois à six ordonnées sur l'enregistrement du pendule N° 07

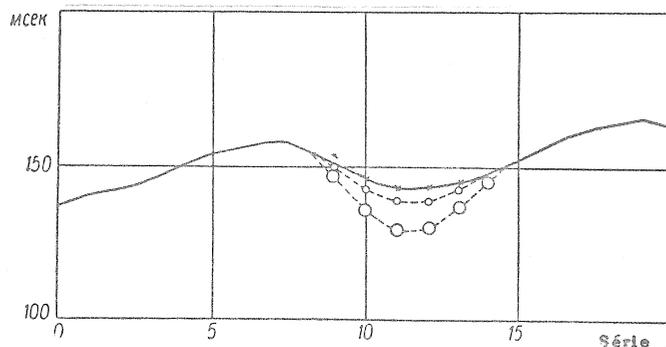


Fig. 2.- Résultats de l'interpolation en fonction de trois à six ordonnées sur l'enregistrement du pendule N° 06.

Les résultats de l'interpolation par les différents procédés sont donnés sur les figures 1 et 2. La courbe de départ est représentée par la ligne continue et les résultats de l'interpolation allant de trois à six ordonnées par des lignes pointillées de différents types.

Avec une telle allure réelle du mouvement du zéro des deux pendules l'interpolation altère très fortement les ordonnées calculées et les altérations sont faibles sur l'autre.

Il s'ensuit de ce qui a été dit qu'on ne peut formellement effectuer l'interpolation. Il est toujours utile de comparer la partie interpolée avec son analogue théorique précédant l'enregistrement de 14 jours ou l'analyser par un autre procédé quelconque.

Table 6.

Résultats de la réduction de 25 séries de trois jours

| N.p.p. | Début de la série | Pendule N° 06 NS |             | Pendule N° 07 EW |             |
|--------|-------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
|        |                   | $\gamma$         | $\chi$      | $\gamma$         | $\chi$      |
| 1      | 19. X 1964        | 0,852            | -27°.79     | 0.603            | -16°.76     |
| 2      | 29. X             | 1,025            | - 8 .98     | 0.847            | - 8 .17     |
| 3      | 31. X             | 0,854            | -18 .91     | 0.536            | - 0 .66     |
| 4      | 3. XI             | 0,757            | -15 .68     | 0.477            | + 3 .93     |
| 5      | 29. XI            | 1,091            | -11 .48     | 0.690            | -17 .03     |
| 6      | 10. XII           | 1,432            | +22 .10     | 1.270            | + 0 .27     |
| 7      | 15. XII           | 1,055            | -16 .30     | 0.569            | -12 .08     |
| 8      | 18. XII           | 0,857            | - 6 .79     | 0.823            | + 9 .53     |
| 9      | 23. XII           | 1,005            | +20 .65     | 1.020            | + 1 .10     |
| 10     | 11. I 1965        | 1,271            | - 0 .72     | 1.032            | +14 .13     |
| 11     | 14. I             | 0,872            | -21 .11     | 0.802            | + 0 .02     |
| 12     | 18. I             | 0,530            | +13 .20     | 0.722            | +23 .20     |
| 13     | 21. I             | 0,855            | +41 .54     | 0.982            | +13 .42     |
| 14     | 29. I             | 0,693            | -46 .46     | 0.573            | - 0 .64     |
| 15     | 1. II             | 0,530            | -20 .29     | 0.596            | +16 .35     |
| 16     | 16. II            | 0,625            | -13 .12     | 0.589            | + 4 .55     |
| 17     | 12. IV            | 0,869            | -17 .45     | 0.653            | -16 .440    |
| 18     | 15. IV            | 0,690            | -15 .61     | 0.606            | - 6 .60     |
| 19     | 18. IV            | 0,421            | -28 .60     | 0.540            | + 7 .73     |
| 20     | 21. IV            | 0,900            | - 2 .67     | 0.515            | -53 .33     |
| 21     | 24. IV            | 1,100            | -22 .09     | 0.805            | -21 .05     |
| 22     | 27. IV            | 0,968            | -18 .46     | 0.680            | -17 .29     |
| 23     | 30. IV            | 0,604            | -34 .59     | 0.527            | + 4 .54     |
| 24     | 3. V              | 0,529            | -10 .32     | 0.549            | +11 .68     |
| 25     | 6. V              | 1,003            | +25 .23     | 1.050            | +20 .66     |
| Vect.  |                   | 0,805            | - 7 .57     | 0.694            | - 0 .10     |
|        |                   | $\pm 0,050$      | $\pm 4 .24$ | $\pm 0.037$      | $\pm 3 .53$ |

Pour obtenir le résultat préliminaire nous avons réduit 25 séries indépendantes de trois jours du 19.X.1964 au 9.V.1965 par la méthode de P.S. Matveyev. Le début des séries choisies, les vecteurs  $\gamma$  et le retard de phase  $\chi$  pour les pendules N° 06 et N° 07 sont donnés dans la table 6. Les valeurs moyennes vectorielles  $\gamma$  et  $\chi$ , d'après les données de la table, sont calculées et on a obtenu leurs erreurs.

Ensuite les valeurs moyennes vectorielles  $\gamma$  et  $\chi$  sont réduites au méridien et au premier vertical. On a obtenu :

|          | NS     | WE     |
|----------|--------|--------|
| $\gamma$ | 0.829  | 0.693  |
| $\chi$   | - 0°75 | - 5°87 |

Nous avons reporté les valeurs de  $\gamma$  pour les pendules N° 06 et N° 07 sur le graphique (figures 3 et 4), qui montre que  $\gamma$  a une dépendance temporaire de caractère saisonnier ou instrumental dont on n'a pas réussi à éclaircir la cause en raison de la petite durée des données réduites. Les valeurs de  $\gamma$  sont plus grandes dans la période automne-hiver que les valeurs de  $\gamma$  dans la période printemps-été. La corrélation des courbes des figures 3 et 4 est également sensible. Il s'ensuit que la cause la plus probable de la divergence des valeurs de  $\gamma$  et  $\chi$  est l'influence de l'onde météorologique diurne qui influence les clinomètres de façon égale.

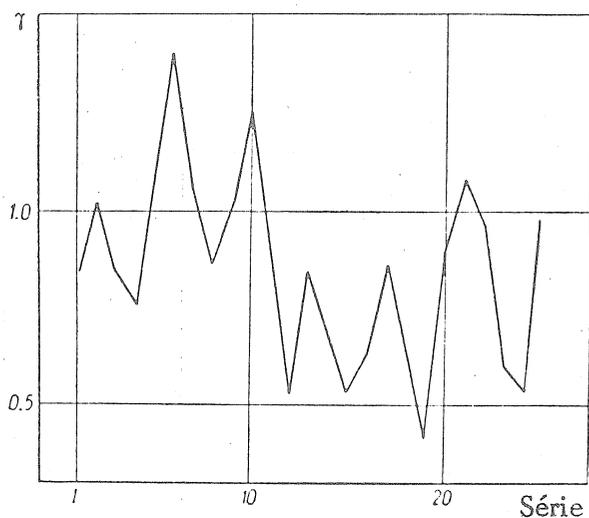


Fig. 3.- Variation de la valeur de  $\gamma$  obtenue par la réduction de l'enregistrement du pendule N° 06.

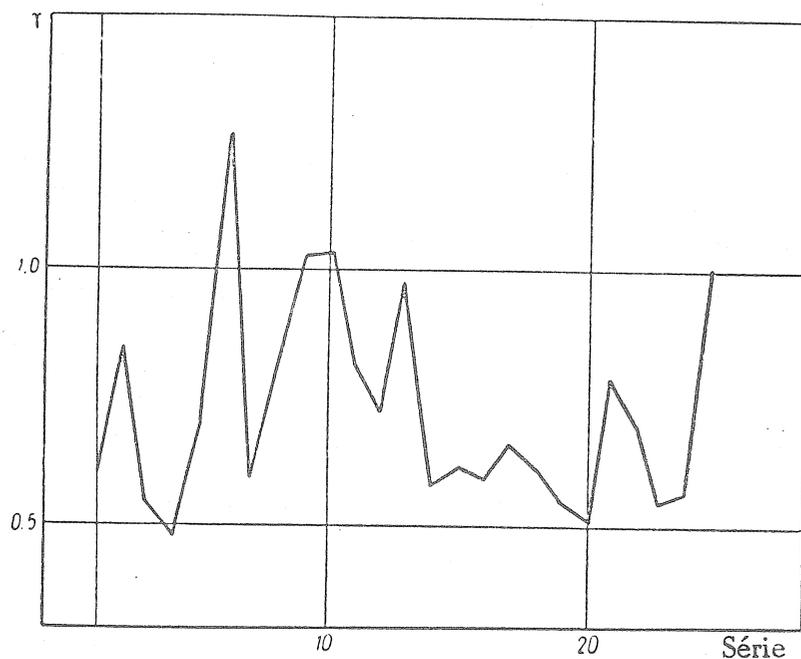


Fig. 4.- Variation de la valeur de  $\gamma$  obtenue par la réduction de l'enregistrement du pendule N° 07.

Nous avons également réduit une série d'un mois de 9.IV au 9.V.1965 par la méthode de l'analyse harmonique de séries mensuelles de P.S. Matveyev. Les résultats de la réduction pour les cinq ondes principales  $M_2$ ,  $N_2$ ,  $S_2$ ,  $O_1$  et  $K_1$  sont donnés dans la table 7. La réduction de ces mêmes données par 10 séries indépendantes de trois jours a donné pour l'onde (groupe)  $M_2$  :

$$\begin{aligned} \gamma_{06} &= 0,795 \pm 0,080, & \chi_{06} &= - 12^\circ 14 \pm 5^\circ 40, \\ \gamma_{07} &= 0,650 \pm 0,062, & \chi_{07} &= - 9^\circ 65 \pm 7^\circ 40. \end{aligned}$$

Table 7.

Résultats de la réduction d'une série mensuelle

| Onde  | Pendule N° 06 |         | Pendule N° 07 |         |
|-------|---------------|---------|---------------|---------|
|       | $\gamma$      | $\chi$  | $\gamma$      | $\chi$  |
| $M_2$ | 0.752         | - 1° 40 | 0.706         | + 2° 89 |
| $N_2$ | 0.714         | +16 .02 | 0.701         | + 7 .06 |
| $S_2$ | 0.838         | -43 .51 | 0.422         | -28 .46 |
| $O_1$ | 1.271         | -16 .75 | 0.900         | - 5 .15 |
| $K_1$ | 0.431         | -22 .26 | 1.185         | -41 .39 |

Les valeurs des constantes harmoniques de l'onde  $M_2$  obtenues par ces deux procédés de réduction concordent dans les limites des erreurs. L'analyse harmonique des données d'observations de séries de trois jours par la méthode de P.S. Matveyev donne des indications aussi sûres sur la marée semi-diurne que la réduction des mêmes données en séries mensuelles.

Conclusions.

1. Les observations des marées terrestres dans les grottes proches de la réserve de Kiev, Lavro-Petcherskii ne donnent des valeurs sûres de  $\gamma$  et  $\chi$  que pour les ondes lunaires  $M_2$  et  $N_2$  ou l'onde de groupe semi-diurne. Les ondes diurnes et l'onde  $S_2$  sont fortement déformées par l'onde diurne d'origine qui n'est pas de marée, c'est pourquoi l'enregistrement dans les grottes est abandonné et les appareils seront transportés dans des grottes plus lointaines.
2. Les valeurs trouvées pour les constantes harmoniques ont une valeur un peu plus grande que la marée normale dans la direction NS. La cause de ce phénomène sera éclaircie dans l'avenir.
3. Pour la région de Kiev  $\gamma_{NS} > \gamma_{WE}$  et le retard de la marée est voisin de zéro.

## BIBLIOGRAPHIE

---

1. KRAMER M. V.  
Table des variations de marées de la force de pesanteur en fonction de la Lune et du Soleil pour la Terre absolument rigide en 1962  
*M.*, 1962.
2. MATVEYEV P.S.  
Résultats préliminaires des observations des inclinaisons de marées de la surface de la Terre à Shmakovo.  
*Trav. de l'Obs. grav. de Poltava. T 10. Edit. Ac. des Sc. d'Ukraine K. 1961.*
3. MATVEYEV P.S.  
Résultats préliminaires des observations clinométriques à Ingouletz  
*Publ. "Géophysique et Astronomie" N° 7. Edit. Ac. des Sc. d'Ukraine K, 1965.*
4. MATVEYEV P.S. BOGDAN I.D.  
Résultats préliminaires des observations clinométriques à Darievka.  
*"Marées Terrestres" Kiev 1966.*
5. LECOLAZET R.  
Sur la reconstitution des observations par interpolation.  
*Comm. de l'Obs. R. de Belg., N° 188, Série Géoph., n° 8, 1961.*
6. TOMASCHEK R.  
Tides of the Solid Earth.  
*Handbuch der physik, band XLVIII, 1957.*

EINE BEMERKUNG ZUR ELIMINATION DES DURCH ÄNDERUNGEN DER  
REGISTRIEREMPFLINDLICHKEIT VERURSACHTEN DRIFTANTEILS

von *Manfred BONATZ*

Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn

Die bei der Registrierung der gezeitenbedingten Schwankungen der Schwerebeschleunigung mit Gravimetern beziehungsweise bei der Registrierung der Lotschwankungen mit Gezeitenpendeln auftretende Drift der Meßwerte setzt sich aus zwei Komponenten zusammen :

- a) Dem Einfluß von Änderungen des dem jeweiligen Meßwertgeber (Gravimeter-Federsystem, Pendel) zugeordneten Nullpunktes sowie dem Einfluß von Nullpunktverlagerungen des elektrischen Verstärker- und Anzeigesystems,
- b) dem Einfluß von Änderungen der Registrierempfindlichkeit.

Während die Nullpunktschwankungen nur aus den Registrierwerten selber über geeignete (und auch nur unter bestimmten Voraussetzungen streng gültige) Verfahren zur Driftberechnung mehr oder weniger genau bestimmt und damit ausgeschaltet werden können, läßt sich der durch Änderungen der Registrierempfindlichkeit verursachte Driftanteil mit Hilfe der Eichfunktion der Registrieranlage in einigen Fällen direkt eliminieren :

Bei Instrumenten mit photoelektrischem Abgriff, wie beispielsweise in den Askania-Gravimetern GS 11 und 12, rührt ein großer Teil der Empfindlichkeitsänderungen her von Änderungen im physikalischen Verhalten der Photozellen und der Einrichtung für die Beleuchtung der Photozellen. Es läßt sich dabei eine Meßwerteinstellung des Gravimeters angeben, die weitgehend unabhängig von Empfindlichkeitsänderungen des Abgriffsystems, insbesondere von Schwankungen der Helligkeit der Photozellenbeleuchtung ist ; man bezeichnet diesen Meßwert als photoelektrischen Nullpunkt (oder auch als akkuunempfindlichen Punkt). Andererseits drückt sich die Empfindlichkeitsänderung aber in den Eichkonstanten bzw. deren durch Ausgleichung zu bestimmenden Zeitfunktion (hier als Eichfunktion bezeichnet) aus. Bezieht man nun die am Registrierschreiber in Längeneinheiten angezeigten Meßwerte auf den experimentell leicht zu ermittelnden photoelektrischen Nullpunkt, so wird bei der Umrechnung der Längeneinheiten in Schwereeinheiten, also der Multiplikation der Meßwerte mit der Eichkonstanten, der durch die Empfindlichkeitsänderung verursachte Driftanteil so genau eliminiert wie die Eichfunktion und die Lage des photoelektrischen Nullpunktes bestimmt wurden; dies ist besonders dort von Bedeutung, wo die Empfindlichkeit sich sprunghaft ändert oder geändert wurde, da der zugeordnete Sprung in der Meßwertanzeige nach der Dimensionsumrechnung gänzlich verschwindet.

Dies bedeutet, daß man zweckmäßig vor jeder weiteren Verarbeitung der Meßdaten, also vor der eigentlichen Driftberechnung und -elimination und vor der harmonischen Analyse, die registrierten Meßwerte entsprechend der Eichfunktion dimensionsmäßig umrechnet, daß man also die Driftberechnung bereits in Schwereeinheiten ausführt !

Ähnliche Verhältnisse wie bei den Askania-Gravimetern GS 11 und 12 treten übrigens auch bei der Registrierung mit Horizontalpendeln auf : Bezieht man die zu messenden Schwankungen der Lotrichtung auf das Azimut (als Nullpunkt der registrierten Meßwerte), bei dem eine Veränderung der Stellung der Empfindlichkeitsschraube keine Azimutänderung der Fadenebene der Pendel zur Folge hat, so werden auch hier die durch Empfindlichkeitsänderungen verursachten Driftanteile, einschließlich der durch Empfindlichkeitsänderungen verursachten Sprünge, bei der Umrechnung der Registrierergebnisse von Längeneinheiten in Winkleinheiten eliminiert. Man sollte also auch hier vor der Driftberechnung die Dimensionsumrechnung mit Hilfe der Eichfunktion durchführen !

EINIGE BEMERKUNGEN ZU DEN LABROUSTESCHEN SYMBOLEN  $Y_m$  UND  $Z_m$  UND DEREN  
PRODUKTBILDUNG

Werner PALLAS

Institut für theoretische Physik und Geophysik, Freiberg

1. Definition

$Y_m$  und  $Z_m$  sind lineare Ordinatenkombinationen. Sie werden definiert :

$$Y_m = y(x+m) + y(x-m) \quad (1.1)$$

$$Z_m = y(x+m) - y(x-m) \quad (1.2)$$

Dabei gilt dann :

$$Y_{-m} = Y_{+m} \quad (1.11)$$

$$Z_{-m} = -Z_{+m} \quad (1.21)$$

So bei Melchior [ 5 S.51 (1.78) ] und bei Labrouste [ 1 Note III ]

Bei Labrouste findet sich allerdings auch die Definition :

$$Z_m = \pm (y(x+m) - y(x-m)) \quad (1.3)$$

Da entfällt dann die Gleichung (1.21).

Wir wollen an der Definition (1.2) und (1.21) festhalten.

Es sei ferner vorausgesetzt, daß die zu transformierende Funktion eine Summe von Sinusfunktionen verschiedener Amplitude, verschiedener Phase und verschiedener Periode ist.

Es genügt, eine einzelne herauszugreifen :

$$y = a \sin(\theta x + \phi) \quad (1.4)$$

Wir bilden

$$\begin{aligned} Y_m &= y(x+m) + y(x-m) \\ &= a \sin(\theta(x+m) + \phi) + a \sin(\theta(x-m) + \phi) \\ &= 2a \cos(\theta x + \phi) \cos \theta m \end{aligned} \quad (1.41)$$

Man sieht also, daß die ursprüngliche Funktion wieder auftaucht, multipliziert allerdings mit dem Amplitudenfaktor  $2 \cos \theta m$ .

Über die Anwendungsmöglichkeiten zur Unterdrückung oder Verstärkung einer Schwingung bei geeigneter Wahl von  $m$  in bezug auf die Periode  $n$  bzw. die Winkelgeschwindigkeit  $\theta = \frac{2\pi}{n}$  soll hier nicht eingegangen werden, das ist aus der Literatur [1, 2, 3, 5] hinreichend bekannt. Man nennt die Kombination  $Y_m$  eine Kombination ohne Phasenverschiebung. Dagegen finden wir eine Phasenverschiebung um  $\pm \frac{\pi}{2}$  bei den Kombinationen  $Z_m$ .

$$\begin{aligned} Z_m &= y(x+m) - y(x-m) \\ &= a \sin(\theta(x+m) + \phi) - a \sin(\theta(x-m) + \phi) \\ &= 2a \cos(\theta x + \phi) \sin \theta m \end{aligned} \quad (1.42)$$

Um die Gruppeneigenschaft dieser Funktionen deutlich zu machen, verwandeln wir den  $\cos$  in den  $\sin$  :

$$Z_m = 2a \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta x + \phi\right) \sin \theta m \quad (1.43)$$

Die transformierte Funktion steht tatsächlich zur Ausgangsfunktion in Quadratur.

Übrigens hätte man auch folgendermaßen schreiben können :

$$Z_m = 2a \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta x - \phi\right) \sin \theta m \quad (1.44)$$

Um die Phasenverschiebung herauszustellen, schreiben wir :

$$Z_m = -2a \sin\left(\theta x + \phi - \frac{\pi}{2}\right) \sin \theta m \quad (1.45)$$

## 2. Produktbildung.

Aus der Gruppeneigenschaft der linearen Kombinationen folgt, daß man eine Aufeinanderfolge von solchen Kombinationen durch ein symbolisches Produkt darstellen kann.

Auf die Bildung eines Produktes bei den  $Y$ -Kombinationen soll hier verzichtet werden. Uns interessieren vor allem die  $Z$ -Produkte.

Bei Labrouste [1] findet sich eine Bemerkung, man müsse eine zweite  $Z$ -Kombination mit entgegengesetztem Vorzeichen anfügen, um die Phasenverschiebung rückgängig zu machen. So werden auch in [1] und ebenso später in [5] die Ergebnisse der  $Z$ -Produkte negativ angegeben. Gewiß, gemäß der Definition (1.3) kann man das wohl so machen. Es erscheint mir aber doch bedenklich.

Ich habe gefunden, daß es unnötig ist, die zweite  $Z$ -Kombination negativ zu nehmen. Die Phasenverschiebungen heben sich von allein heraus.

Wir bilden  $Z_m \cdot Z_r$ .

D.h., auf die Funktion  $y = a \sin (\theta x + \phi)$  wird die Kombination  $Z_m$  angewendet, das Ergebnis sei  $y'$ , und mit diesem wird dann die Kombination  $Z_r$  gebildet, das Ergebnis heiße  $y''$ .

Also :  $y' = Z_m (y)$  ,  $y'' = Z_r (y')$ .

Schreiben wir dann stets im ersten Faktor die Sinusfunktion, so wird der Gruppencharakter gewahrt.

Wir haben dann :

$$y = a \sin (\theta x + \phi)$$
$$y' = 2a \cos (\theta x + \phi) \sin \theta m \tag{1.42}$$

$$= 2a \sin \left( \frac{\pi}{2} + \theta x + \phi \right) \sin \theta m \tag{1.43}$$

$$y'' = 4a \cos \left( \frac{\pi}{2} + \theta m + \phi \right) \sin \theta m \sin \theta r$$
$$= -4a \sin (\theta x + \phi) \cdot \frac{1}{2} [ \cos \theta(m-r) - \cos \theta(m+r) ]$$

Wir ziehen das Minuszeichen in die eckige Klammer und erhalten :

$$y'' = 2a \sin (\theta x + \phi) [ \cos \theta(m+r) - \cos \theta(m-r) ] \tag{2.1}$$

Symbolisch heißt das :

$$Z_m Z_r = Y_{m+r} - Y_{m-r} \tag{2.2}$$

Benutzt man die Form (1.44), so lautet die Rechnung :

$$y = a \sin (\theta x + \phi)$$
$$y' = 2a \cos (\theta x + \phi) \sin \theta m$$
$$= 2a \sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta x - \phi \right) \sin \theta m$$
$$= -2a \sin \left( \theta x + \phi - \frac{\pi}{2} \right) \sin \theta m \tag{1.45}$$

und ferner :

$$y'' = -4a \cos \left( \theta x + \phi - \frac{\pi}{2} \right) \sin \theta m \sin \theta r$$
$$= -4a \cos \left( \frac{\pi}{2} - \theta x - \phi \right) \sin \theta m \sin \theta r$$
$$= -4a \sin (\theta x + \phi) \cdot \frac{1}{2} [ \cos \theta(m-r) - \cos \theta(m+r) ]$$
$$= 2a \sin (\theta x + \phi) [ \cos \theta(m+r) - \cos \theta(m-r) ]$$

also dasselbe wie (2.1)

Als rechnerisches Äquivalent könnte man heranziehen :

$$Z_m Z_r \hat{=} (a^m - a^{-m}) (a^r - a^{-r})$$
$$= a^{m+r} - a^{-m+r} - a^{m-r} + a^{-(m+r)}$$
$$= a^{m+r} + a^{-(m+r)} - (a^{m-r} + a^{-(m-r)})$$
$$\hat{=} Y_{m+r} - Y_{m-r}$$

Ein Zahlenbeispiel ließe sich folgendermaßen gestalten, wobei wir zur Vereinfachung anstelle von  $y_i$  nur den Index  $i$  schreiben wollen :

$$Z_2 Z_3 = ?$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 y_i: i = & 1 & & 2 & & 3 & & 4 & & 5 & & 6 & & 7 \\
 y' & & & & & 5 - 1 & & 6 - 2 & & 7 - 3 & & 8 - 4 & & 9 - 5 \\
 \\
 y' & & & & & & & 8 & & 9 & & & & \\
 & & & & & & & 10 - 6 & & 11 - 7 & & & & 
 \end{array}$$

Waren jetzt 2 Ordinaten vorn weggefallen, so werden es nun 3 sein :

$$y'' \quad \quad \quad 11 - 7 - 5 + 1 \quad \quad \quad \text{usw.}$$

Das bedeutet aber :  $Y_5 - Y_1 = Y_{2+3} - Y_{2-3}$

Damit ist wiederum die Formel (2.2) bestätigt.

In der genannten Literatur aber steht immer :

$$Z_m Z_r = Y_{m-r} - Y_{m+r}$$

Ich stoße mich daran, daß das Ergebnis negativ angegeben wird, vermutlich auf Grund der irrtümlichen Annahme, daß man die zweite Z-Kombination negativ nehmen müsse, um die Phasenverschiebung rückgängig zu machen.

Ganz deutlich wird das bei der Quadratbildung :

$$Z_m^2 = Y_{2m} - Y_0$$

Beachtet man, daß  $Y_0 = 2 y(x)$  ist, dann findet man sofort die Übereinstimmung mit der binomischen Formel  $(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$ . Um die höheren Potenzen ausrechnen zu können, benötigen wir noch die Formel für das gemischte Produkt :

$$Y_m Z_r = Z_{r+m} + Z_{r-m} \tag{2.3}$$

Sie hat als arithmetisches Äquivalent folgende Rechnung :

$$\begin{aligned}
 & (a^m + a^{-m}) (a^r - a^{-r}) \\
 & = a^{m+r} - a^{-(m+r)} - (a^{m-r} - a^{-(m-r)})
 \end{aligned}$$

also

$$Y_m Z_r = Z_{m+r} - Z_{m-r} \tag{2.31}$$

Bei Vertauschung der Faktoren muß sich dasselbe ergeben :

$$\begin{aligned}
 Z_r Y_m & \hat{=} (a^r - a^{-r}) (a^m + a^{-m}) \\
 & = a^{r+m} - a^{-(r+m)} + a^{r-m} - a^{-(r-m)} \\
 & \hat{=} Z_{r+m} + Z_{r-m}
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

Die Formeln (2.3) und (2.32) sind identisch.

Und bei (2.31) ergibt sich die Identität unter Benutzung der Beziehung

$$Z_{-m} = - Z_{+m} \tag{1.21}$$

Man könnte sich als Rechenregel vormerken :

Nimmt man - gleichgültig, in welcher Reihenfolge die Faktoren Y und Z stehen - stets den Index der Z-Kombination zuerst, werden beide Summanden des Ergebnisses positiv.

Je nachdem, ob  $r \geq m$ , muß man beim zweiten Summanden nach der Formel (1.21) ausgleichen. Jetzt sind auch noch höhere Potenzen zu errechnen, z.B.  $Z_m^3$ .

$$\begin{aligned} Z_m^3 &= Z_{-2} \cdot Z_m \\ &= (Y_{2m} - Y_0) \cdot Z_m \\ &= Z_{3m} + Z_{-m} - Z_m - Z_m \\ &= Z_{3m} - 3Z_m \end{aligned}$$

in Ubereinstimmung mit der entsprechenden binomischen Formel.

#### 4. Zusammenfassung.

Die Schreibweise mit dem negativen Vorzeichen ist meist kein Schade, da es oft gleichgültig ist, ob die Ergebnisse positiv oder negativ erscheinen, z.B. bei der Formel

$$[E_1] = Z_{1/2}^5 Z_6 \left( Y_3 - \frac{Y_0}{2} \right) \quad [5, S.70],$$

die bei der Berechnung des inneren quadratischen Fehlers benutzt wird [4]

Die  $[E_1]$  - Werte dienen zur Abschätzung, wobei sie absolut genommen werden, und in der Fehlerrechnung selbst treten sie quadratisch auf. Im übrigen aber benutzt man die Z-Kombination zur Unterdrückung einiger Wellen. Dabei ist es auch gleichgültig, ob man sich von der positiven oder negativen Seite her der Null nähert.

Grundsätzlich aber müßte man doch die Formeln richtig angeben. Also :

Definition :  $Z_m = y(x+m) - y(x-m)$  ohne  $\pm$  Zeichen !

folglich :  $Z_{-m} = -Z_{+m}$

Produkt :  $Z_m Z_r = Y_{m+r} - Y_{m-r}$

und  $Z_r Y_m = Z_{r+m} + Z_{r-m}$

L I T E R A T U R

1. H. et Y. LABROUSTE  
Analyse des graphiques résultant de la superposition de sinusoides  
*Presses Universitaires de France. Paris 1929 et 43*
  
2. R. LECOLAZET  
Application à l'analyse des observations de la marée gravimétrique de la méthode de H. et Y. Labrouste.  
*Ann. Géophys. Tome 2. fasc. 1. jan.-mars 1956*
  
3. R. LECOLAZET  
La méthode utilisée à Strasbourg pour l'analyse harmonique de la marée gravimétrique.  
*BIM Nr 10, S. 153 ff. 1958*
  
4. R. LECOLAZET  
Sur l'estimation des erreurs internes affectant les résultats d'une analyse harmonique mensuelle.  
*BIM Nr. 17, S. 269 ff. 1959*
  
5. P. MELCHIOR  
Earth Tides,  
*Pergamon Press, London etc. 1967.*

QUELQUES QUESTIONS D'APPLICATION DES EXTENSOMETRES

*V. G. Boulatsen*

Marées Terrestres Acad. Sc. R.S.S. d'Ukraine Observ. Grav. de Poltava  
Institut Géophysique de la R.S.S. d'Ukraine Kiev 1966.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСТЕНЗОМЕТРОВ.

В. Г. Булацен.

Земные Приливы Акад. Наук Украинск. ССР Полтав.  
Гравим. Обсерв. Инстит. Геоф. Киев. 1966.

Pour étudier la structure interne et les propriétés physiques de la Terre on recherche actuellement de nouvelles méthodes et l'on utilise tous les appareils les plus modernes. Parmi d'autres appareils, on a commencé, au cours des 30 dernières années, à se servir des extensomètres appelés aussi déformographes ou strain-séismographes.

En tant qu'appareils à période relativement longue, les extensomètres permettent l'enregistrement des ondes séismiques à longue période et des oscillations libres, dont l'étude donne de précieuses indications sur la structure interne de la Terre dans son ensemble. En outre, ces appareils permettent de réaliser l'enregistrement des contractions et des dilatations de la Terre provoquées par les marées terrestres.

L'étude des déformations de l'écorce terrestre dans les régions séismiquement actives est très importante au point de vue pratique. L'utilisation des enregistrements extensométriques des mouvements lents permet, avec les autres données d'observations, d'aborder la question de la prévision des tremblements de Terre et par conséquent la possibilité de prévention des catastrophes.

Nous avons essayé dans cet article de donner un court aperçu de l'application des extensomètres, nous donnons certains aspects de leur théorie, les particularités de construction des appareils utilisés pour l'enregistrement des mouvements lents de l'écorce terrestre et aussi quelques résultats des enregistrements des déformations linéaires de marées.

### Court aperçu historique

La première tentative de construire un extensomètre et d'effectuer des observations est due à Milne [10] qui créa un appareil composé de deux piliers solidement cimentés à la roche distants d'environ 1 m l'un de l'autre. A l'un d'eux il attache une barre métallique horizontale dont l'autre bout est libre. Un système de leviers assure une amplification de 6 fois. Il enregistre le mouvement relatif de l'extrémité libre de la barre par rapport au pilier voisin. A Yokohama (Japon), on a obtenu à l'aide de cet appareil l'enregistrement des déformations provoquées par treize grands tremblements de terre locaux.

Pour augmenter la sensibilité de l'appareil, Oddone [11] a porté la distance entre les piliers à 3 mètres, et pour l'enregistrement, il a appliqué un indicateur hydraulique qui atteint une amplification allant jusqu'à 3.600. L'installation expérimentale de l'appareil a été réalisée à Pavie (Italie). Par suite de la déformation de la surface de la Terre il se produit une montée de l'eau dans un mince tube capillaire où l'on observe un ménisque. Cependant l'absence d'installation d'enregistrement n'a pas permis à Oddone d'observer les indications de l'appareil au moment des tremblements de terre et d'obtenir des résultats.

On n'a pas obtenu par ces appareils de résultats acceptables en raison de leur sensibilité extrêmement faible et également de l'imperfection de l'installation d'enregistrement.

Le premier enregistrement satisfaisant des ondes sismiques à l'aide d'un extensomètre a été réalisé au Laboratoire Sismique de l'Institut Technologique de Californie (Pasadena), par Benioff, [12] qui a utilisé un générateur électromagnétique de haute sensibilité modifié pour le sismographe vertical [13], l'enregistrement a été réalisé à l'aide d'un galvanomètre. En outre, on a sensiblement augmenté la distance entre les piliers (20 m). Pour cet essai, on a utilisé un tube d'acier isolé par une couche d'amiante afin de diminuer les influences de température. Le tube est maintenu dans la position horizontale par 12 suspensions par fils qui ne lui permettent d'exécuter que des mouvements longitudinaux.

Benioff n'a pas seulement proposé une nouvelle construction de l'extensomètre mais il en a exposé la théorie élémentaire [12] et a posé la première pierre des travaux avec des appareils de ce type qui ont à présent une large diffusion dans les stations du continent américain, du Japon et de l'Europe (URSS, France, RDA). Dans la suite, on a créé et installé sous sa direction, une série d'appareils destinés à l'enregistrement des ondes sismiques à longue période et des déformations tectoniques séculaires sur la côte de l'Océan Pacifique, c'est-à-dire dans une région à activité sismique élevée. Dans ces stations on a installé des appareils Benioff modifiés [14]. La différence fondamentale réside dans l'utilisation d'un tube de quartz. Des installations optico-mécaniques, électromagnétiques et capacitives de différentes sortes avec enregistreur photo-optique et galvanométrique ont servi de générateurs de faibles déplacements : les générateurs capacitifs ont eu la plus large diffusion.

Des observations avec ces appareils ont déjà été effectuées jusqu'à présent à Isabella [15-18], San Cristobal, Chosike [15,16], Nana [18], Dalton [14, 15, 17, 19] et Ogdensburg [20, 21].

Les extensomètres ont eu une diffusion particulièrement large au Japon, ils sont utilisés en premier lieu pour l'enregistrement des déformations prévenant et accompagnant les tremblements de terre locaux et les éruptions volcaniques et aussi les déformations de marées. Les observations du Japon sont orientées en vue de la prévision des tremblements de terre.

En 1943, Sassa [22] a créé un extensomètre dans lequel un fil de super invar est tendu horizontalement entre deux piliers éloignés de 25 m. Au milieu du fil est suspendu un poids dont les oscillations verticales, provoquées par les déformations de la surface de la Terre entre les piliers, se transforment en mouvement rotatoire d'un miroir à l'aide d'une suspension bifilaire.

Au Japon dans les stations de Abikassan, Bessi, Itsu-Nagaoka, Koshi, Mikitani, Nagashima, Ogoya, Ozarizawa, Ura, Sakurasima, Hosokura, Chima [23], Kamigamo, Mitsubishi, Totori, Yura [23, 24] Aburatsubo [23, 25, 26], Matsuyama, Matse, Sakuma [23,26], Nokogiriama [26], Makimine [23, 27], Ozakayama [23-36], Ide [23, 24, 37, 38], Matsushiro [23, 24, 39], Kishu et Sugara [23, 24, 30, 39], on a utilisé aussi bien les extensomètres à fils que ceux à tiges et l'on a enregistré non seulement les composantes horizontales de la déformation mais aussi les composantes inclinées et verticales. La position des barres est assurée par des suspensions du type de balançoire ou par des galets placés sur les supports intermédiaires. Comme générateurs on a utilisé des installations de torsion avec procédé photo-optique d'enregistrement et également des installations avec photo-amplificateurs (enregistrement galvanométrique).

Plus rarement on se sert de générateurs inducteurs, de générateurs basés sur la variation de la résistance du fil et également sur l'utilisation d'un clinomètre à suspension Zöllner.

Nous noterons qu'à présent un modèle expérimental d'extensomètre est également installé à Paris [40]. Un tube en quartz d'une longueur de 10 m sert de barre et un système optico-mécanique avec enregistreur photographique constitue le générateur.

A Freiberg-Saxe est également installé un extensomètre expérimental destiné à l'observation de faibles mouvements locaux et régionaux de l'écorce terrestre, à proximité des travaux d'extraction, dans le but de garantir la sécurité des travaux miniers [23, 41, 42]. Dans cet appareil de type à barre (tube de quartz d'une longueur d'environ 25 m) il y a un générateur inducteur et un enregistreur de la firme Bruno-Lange [23].

Les premières observations avec des extensomètres ont été réalisées dans notre pays à la station géophysique "Yalta" dans laquelle on a installé deux extensomètres horizontaux de type à barre (tube de quartz d'une longueur de 2 m). Comme générateur, on a appliqué un système à torsion avec un enregistreur photo-optique [1, 2]. Un peu plus tard, des appareils du même type ont été installés près de Serpouchov pour l'étude des mouvements lents des couches supérieures de la Terre [3].

En outre, à l'aide de deux extensomètres en quartz du type à torsion avec un enregistreur photo-optique on a réalisé des observations sur les déformations de marées de la surface de la Terre dans la station de Talgar dans la région de Alma-Ata [4] et des observations analogues avec des appareils du même type ont été effectuées à Tbilissi [5] (Observatoire Géophysique de l'Institut de Géophysique de l'Académie des Sciences de la R.S.S. de Géorgie).

#### Questions de la théorie des extensomètres.

---

Le principe de fonctionnement de l'appareil réside dans sa réaction à la différence des phases instantanées des ondes élastiques parvenant dans la portion de la surface de la Terre comprise entre les deux piliers solidement fixés à la roche. Autrement dit, l'extensomètre réagit aux déplacements relatifs des deux points de la surface de la Terre entre les deux piliers, solidement fixés à la roche, provoqués par la contraction ou la dilatation de la roche : il enregistre donc les déplacements relatifs proportionnels à la déformation linéaire. Il diffère en cela principalement des séismographes pendulaires qui réagissent aux mouvements du sol au point d'installation immédiat de l'appareil.

Les perturbations peuvent être périodiques : les ondes sismiques, les oscillations libres de la Terre, les marées et certains mouvements de caractère météorologique et également non périodique : la plupart des mouvements d'origine météorologique et tectonique, les mouvements locaux à proximité des travaux d'extraction miniers et autres.

L'extensomètre doit répondre à une exigence fondamentale : donner le mouvement des piliers sans altération sensible de l'amplitude et de la phase. Dans les appareils à barre ou à fil, les mouvements relatifs des deux piliers se déterminent d'après les variations élastiques dans l'élément de longueur. La difficulté de transmission de la perturbation, sans altération d'amplitude et de phase au générateur, réside donc dans le fait que la vitesse des ondes élastiques dans cet élément de longueur est de l'ordre de la vitesse des déformations élastiques dans l'écorce terrestre. C'est pourquoi il est nécessaire d'exprimer la dépendance de la réaction de l'extensomètre en fonction des fréquences et des directions des perturbations, des propriétés de résonance des standards de longueur et des installations d'enregistrement. Ceci donne la possibilité de juger des particularités d'application de ces appareils pour des buts géophysiques, sismiques ou autres.

On peut considérer que les plus petites altérations dans l'amplitude et la phase sont données par les extensomètres optiques [23, 43-45] dont le principe de fonctionnement est basé sur l'interférence du rayon parcourant une longueur constante avec un rayon dont le trajet dépend de la déformation. Etant donné que la vitesse de la lumière est très grande, on peut considérer que le mouvement relatif mesuré des deux piliers se produit simultanément.

Les extensomètres à fil déforment l'amplitude et la phase du mouvement mesuré au générateur uniquement pour les processus à très longues périodes. A basse fréquence des phénomènes de résonance peuvent apparaître et c'est pourquoi ces appareils ne conviennent pas pour l'enregistrement des ondes sismiques même à longue période. Dans le cas des extensomètres à barres, le phénomène de résonance s'observe à des fréquences plus élevées et c'est pourquoi on les emploie aussi bien pour l'enregistrement des ondes sismiques à période relativement longue que pour les mouvements lents de l'écorce terrestre.

Puisque l'extensomètre à barre est le plus répandu, nous l'examinerons plus en détail. Il a été étudié théoriquement pour la première fois, par Benioff [12] et plus tard par Omer [46] mais la généralisation la plus complète a été donnée dans le travail de Hiersemann [23].

L'équation de la propagation des ondes longitudinales dans la barre à bout libre, sans considération de l'amortissement intérieur et extérieur, a la forme [12, 13] :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1)$$

où  $u(x,t)$  est le déplacement du point,  $c = \sqrt{\frac{y}{\rho}}$  est la vitesse de propagation des ondes longitudinales dans la barre ( $y$  est le module d'élasticité et  $\rho$  est la densité du matériau de la barre). Pour un régime non stationnaire de perturbation on suppose les conditions limites suivantes :

$$u(0, t) = AH(t) \sin \omega t, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad (2)$$

où la fonction de Heaviside  $H(t) = 0$  pour  $t < 0$  et  $H(t) = 1$  pour  $t > 0$ . Alors pour le bout libre de la barre et pour  $t > 0$  nous obtiendrons la solution de l'équation (1) :

$$u(L, t) = \frac{A \sin \omega t}{\cos \frac{\omega L}{c}}. \quad (3)$$

Comme on le voit par (3) le mouvement du bout libre dépend du rapport  $\frac{L}{c}$ . Ainsi, pour les ondes sismiques de période d'environ 0,1 sec.,  $u(0,t) = A \sin \omega t = u(L,t)$  avec une erreur d'environ 4,5 % et pour les ondes à longue période, l'erreur ne dépasse pas quelques centièmes de pourcent pour les appareils dont la longueur est de 10 à 25 mètres. Puisque la période des oscillations propres de la barre est de l'ordre de quelques centièmes de seconde, on peut, pour l'enregistrement des processus à longue période, négliger les processus de transmission et considérer que les mouvements des bouts, libre et attaché, de la barre sont synchrones.

Il s'ensuit que dans le cas de l'enregistrement d'ondes sismiques à longue période et de déformations de marées ou autres mouvements lents, on peut considérer la tige comme absolument rigide, c'est-à-dire que le déplacement de son bout libre est le même que celui du bout fixé. On peut considérer l'extensomètre comme un instrument relativement à longue période.

Dans le travail [46] la question de la propagation des ondes longitudinales dans la tige est examinée en tenant compte de l'amortissement. Puisque l'amortissement extérieur provoqué par les suspensions est insignifiant: [12], l'équation des oscillations longitudinales de la tige à bout libre, en ne tenant compte que de l'amortissement intérieur, a l'aspect

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2k \frac{\partial u}{\partial t} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (4)$$

où  $k$  est le coefficient d'amortissement intérieur et les conditions limites pour le régime non stationnaire de la perturbation sont les mêmes que dans l'équation (1). Après quelques simplifications pour le cas  $t > 0$ , la solution de l'équation (4) a l'aspect [46]

$$u(L, t) = \frac{A \sin \omega t}{\cos \frac{\omega L}{c}} + \frac{A \omega \pi c e^{-ht}}{L^2} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2n+1}{v_n^3} \sin v_n t, \quad (5)$$

où  $v_n = (2n+1) \frac{\pi c}{2L}$ . Il est facile de démontrer que pour l'enregistrement des ondes sismiques à longue période, on peut négliger dans l'équation (5) le terme variable et elle se réduit alors à la solution (3). Quant au premier terme de cette équation il est synchrone avec le mouvement forcé : il est insignifiant puisque le déphasage  $\theta \approx k\omega \frac{L^2}{c^2}$ .

Pour l'enregistrement des ondes sismiques à longue période on peut donc considérer la tige avec amortissement interne comme absolument rigide : lors de l'enregistrement des déformations de marées il ne faut donc pas aborder la question de l'amortissement intérieur puisqu'il n'apporte aucune erreur dans le processus enregistré.

Puisque les suspensions de la tige se trouvent sur une base mobile, il peut apparaître des oscillations transversales au moment de perturbations. Si les amplitudes de ces oscillations atteignent des valeurs importantes, elles seront différenciées avec les oscillations du bout libre de la tige et déformeront le processus enregistré. C'est pourquoi, pour juger de la possibilité d'application de l'extensomètre pour des buts sismiques précis, il faut voir si ces fréquences perturbatrices sont dans les limites du spectre des fréquences mesurées.

L'équation des oscillations transversales de la tige à bout libre est très complexe. Dans notre cas on peut faire une série de simplifications. En supposant que la tige est mince et ne possède pas d'amortissement intérieur et extérieur, nous avons [46]

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\rho}{y \sigma^2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (6)$$

où  $y(x,t)$  est le déplacement transversal du point,  $\sigma$  est le rayon d'inertie de la tige. Les conditions limites pour la perturbation non stationnaire sont les suivantes :

$$\begin{aligned} y(0, t) &= A H(t) \sin \omega t, & \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0, \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=L} &= 0, & \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=L} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Pour  $t > 0$  la solution de l'équation (6) a la forme [46] :

$$y(L, t) = A \sin \omega t \frac{\cos K \sqrt{\omega L} + \operatorname{ch} K \sqrt{\omega L}}{\cos K \sqrt{\omega L} \operatorname{ch} K \sqrt{\omega L} + 1} + 4A\omega \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \sin \beta_n t}{(\omega^2 - \beta_n^2) a_n} \cdot \frac{\cos a_n + \operatorname{ch} a_n}{\operatorname{ch} a_n \sin a_n - \operatorname{ch} a_n \cos a_n}, \quad (8)$$

où

$$K = \sqrt[4]{\frac{\rho}{Y\sigma^2}}, \quad a_n \approx (-1)^n \sqrt{\frac{\rho}{Y\sigma^2}} \cdot \frac{4A\omega L^2}{\pi^3 \left(n - \frac{1}{2}\right)^3} \times \sin \frac{\pi^2 \left(n - \frac{1}{2}\right)^2}{L^2} \sqrt{\frac{Y\sigma^2}{\rho}} t, \quad \beta_n = \frac{a_n^2}{L^2} \sqrt{\frac{Y\sigma^2}{\rho}}.$$

Il est facile de démontrer qu'on ne peut pas négliger le second membre de l'équation. D'après Omer [46] pour  $L = 2.10$  cm,  $Y = 19.10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>,  $\rho = 7.7$  g/cm<sup>3</sup>,  $\sigma = \frac{3}{\sqrt{2}}$ ,  $A = 1$ ,  $\omega = 2\pi$ , on peut exprimer (8) comme suit :

$$y(L, t) = a_0 \sin 2\pi\nu_0 t + a_1 \sin 2\pi\nu_1 t + a_2 \sin 2\pi\nu_2 t + a_3 \sin 2\pi\nu_3 t + \dots, \quad (9)$$

où

|                |                  |                    |
|----------------|------------------|--------------------|
| $a_0 = +5.72$  | $\nu_0 = 1$      | $T_0 = 1$ sec,     |
| $a_1 = +0.232$ | $\nu_1 = 0.1475$ | $T_1 = 6.78$ sec,  |
| $a_2 = -5.53$  | $\nu_2 = 0.925$  | $T_2 = 1.08$ sec,  |
| $a_3 = -0.23$  | $\nu_3 = 2.588$  | $T_3 = 0.386$ sec, |

c'est-à-dire que lors des processus à période relativement longue, le second membre de l'équation (8) donne des fréquences perturbatrices qui altéreront le processus. Elles ne peuvent être surmontées par le générateur et l'installation d'enregistrement puisqu'ils sont de même nature que la perturbation. Cependant pour les phénomènes à longue période, oscillations libres, marées terrestres, ondes sismiques à longue période et autres, cette influence ne se fera pas sentir.

Pour élever les fréquences de résonance de l'appareil sans diminuer sa base, Benioff [12] a proposé une nouvelle construction d'extensomètre. L'appareil est constitué de deux tubes dont chacun est attaché par un bout dans le pilier et le générateur est placé entre les deux bouts libres. Cependant nous noterons que ce système n'augmente les fréquences de résonance que 4 fois. L'augmentation du rayon de giration ne donne pas une solution satisfaisante du problème posé puisque dans ce cas l'équation (6) ne sera pas exacte. Dans les extensomètres, l'influence des fréquences de résonance et également des autres fréquences perturbatrices est affaiblie par le générateur et par l'installation d'enregistrement qui servent en quelque sorte de filtre pour ces fréquences. Pour les sismographes pendulaires ceci est réalisé, en outre, par amortissement du système même de l'appareil.

Nous examinerons maintenant la réaction de l'extensomètre lors d'une perturbation, sous la condition que le mouvement longitudinal du bout libre de la tige est égal en amplitude et en phase au mouvement du bout attaché. Comme le sismographe pendulaire, l'extensomètre réagit non sur les ondes véritables mais sur les ondes apparentes qui se forment à la surface limite supérieure - surface d'observation au moment de l'arrivée de l'onde sismique sur cette dernière. Les ondes arrivant verticalement ne perturbent pas l'extensomètre, puisque le mouvement des deux piliers est, dans ce cas, égal en phase et en amplitude.

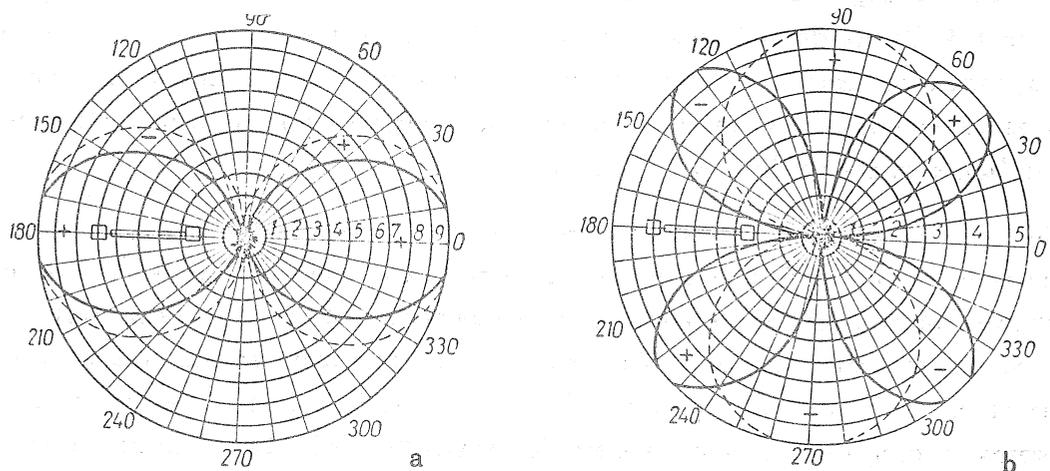
Dans le travail [12] il est démontré que la réaction de l'extensomètre sur les ondes longitudinales et transversales s'exprime par les rapports :

$$\begin{aligned} y_p &= -\frac{L}{c} \cos^2 \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}, \\ y_s &= -\frac{L}{c} \sin \alpha \cos \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}, \end{aligned} \quad (10)$$

où  $c$  est la vitesse apparente de l'onde :  $\alpha$  est l'angle entre la direction de propagation de l'onde et l'axe de l'extensomètre ;  $\xi$  est le déplacement horizontal. A titre de comparaison, nous noterons que les rapports correspondants pour le sismographe pendulaire ont la forme :

$$\begin{aligned} y_p &= \cos \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}, \\ y_s &= \sin \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}. \end{aligned}$$

Les diagrammes polaires caractérisant la réaction de l'extensomètre et du pendule, en fonction de l'azimut de l'onde, sont donnés sur la figure qui montre qu'aussi bien l'extensomètre que le pendule ont deux directions de la réaction nulle pour les ondes longitudinales. Pour les ondes transversales, l'extensomètre a quatre directions de réaction nulle en comparaison de deux pour le cas du pendule.



Diagrammes polaires de l'extensomètre et du sismographe pendulaire (pour le sismographe pendulaire ils sont représentés par un pointillé) [12], pour les ondes longitudinales (a) et les ondes transversales (b).

La différence la plus importante des réactions du pendule et de l'extensomètre à la perturbation réside dans le fait que pour les ondes arrivant dans des azimuts opposés, le signe de la phase pour l'extensomètre ne change pas alors que pour les pendules il est opposé. Cela signifie que si deux tremblements de terre semblables en force ont lieu à des distances égales, mais dans des directions opposées par rapport à l'extensomètre, la réaction est la même pour celui-ci, alors que le pendule aura une réaction avec le signe opposé. Puisque la comparaison des enregistrements des extensomètres et des pendules dans une station permet d'éliminer cette équivoque dans la détermination de l'azimut de l'épicentre du tremblement de terre, on peut déterminer par les enregistrements en une station, les vitesses apparentes des ondes sismiques puisque la perturbation du pendule, à l'opposé de l'extensomètre, ne dépend pas de la vitesse des ondes. Si on connaît également les vitesses effectives des ondes sismiques dans l'écorce terrestre, alors toutes ces données permettent de déterminer l'angle de sortie de la radiation sismique ce qui est très important pour le décèlement du foyer du tremblement de terre.

Si deux extensomètres horizontaux sont installés perpendiculairement l'un à l'autre, leur réaction aux ondes longitudinales a même phase, mais des amplitudes différentes dans les différents azimuts. Les amplitudes des ondes arrivant suivant la bissectrice des appareils sont également égales. Pour les ondes transversales, les réactions sont égales en amplitude pour toutes les ondes, mais sont en opposition de phase. C'est pourquoi la perturbation totalisée est égale à zéro pour les ondes transversales. Pour les ondes longitudinales elle est la même pour toutes les directions.

#### Particularités de construction des extensomètres utilisés pour l'enregistrement des mouvements lents de l'écorce terrestre

---

Les déplacements relatifs provoqués dans l'écorce terrestre par les forces génératrices de marées sont de l'ordre des dixièmes de micron [23]. La mesure de telles quantités exige l'utilisation d'instruments garantissant la précision des mesures avec une erreur de l'ordre de quelques centièmes de micron ce qui présente des exigences strictes dans la construction des appareils, leur installation et les conditions d'observations.

On a déjà noté plus haut les avantages des extensomètres optiques. Cependant jusqu'à ces derniers temps, cette méthode n'a pu être appliquée avec succès dans les extensomètres car il est difficile d'obtenir une interférence sur un parcours de 10-20 m. A présent l'utilisation du laser comme source de lumière permet d'obtenir des rayons cohérents sur une distance allant jusqu'à 300 Km et ouvre de nouvelles possibilités d'augmenter la précision des mesures d'à peu près deux ordres en comparaison avec les méthodes existantes [45]. Les extensomètres optiques sont peu sensibles aux variations de température et de pression atmosphérique. Cependant la torsion et l'inclinaison des piliers peut facilement troubler la cohérence.

Les extensomètres à tige et à fil sont plus sensibles aux influences de température. Les variations journalières de la température inspirent de sérieuses craintes pour l'enregistrement des marées alors que ses variations de longue durée se feront principalement sentir sur la dérive lente de l'enregistrement. Les variations journalières maximales de la température dans la salle où est installé l'appareil, sont déterminées par sa sensibilité et, avec la précision actuelle de l'enregistrement des déformations de marées, elles ne doivent pas dépasser 0,01°. C'est pourquoi il vaut mieux employer les extensomètres avec une commande à distance. En outre, la tige se trouve dans une rainure spéciale ce qui permet également d'éviter les influences des variations à courte période de la température et des influences mécaniques.

Bien que les variations de la pression atmosphérique se fassent sentir plus faiblement sur les enregistrements des déformations de marées que les variations de la température, elle peut être marquante quand leur valeur est sensible. Benioff [14] a montré que l'altération de l'amplitude dans ce cas s'exprime de la façon suivante :

$$y = \frac{VLp}{3k} \quad (11)$$

où V est l'extension de l'appareil; L est la longueur de la tige ; p est la variation de la pression ; k est le module de compression du matériau de la tige.

La tige doit se trouver dans une position horizontale puisque, dans le cas contraire, l'apparition de la composante de la force de pesanteur dans la direction de la tige peut amener aussi bien une variation lente de la tige, ce qui est important lors de l'enregistrement des mouvements tectoniques, que des variations de sensibilité lors des compressions et des dilatations. Ceci est important lors de l'enregistrement des mouvements de marées. L'inclinaison admise de la tige est d'environ 1', cependant atteindre cette précision de nivellement est très difficile à cause de la courbure des tubes employés.

Etant donné les forces de résistance, un phénomène peut apparaître au bout libre quand le déplacement du bout attaché se transmettra au générateur avec une certaine altération provoquée par la déformation de la tige. Connaissant la valeur de la sensibilité de l'appareil  $\epsilon$  et connaissant également la longueur L et la section transversale de la tige S, on peut calculer la force admise de la résistance F au mouvement du bout libre pour lequel l'appareil est encore capable d'enregistrer les déplacements minima, déterminés par la sensibilité [5]:

$$F = E\epsilon S, \quad (12)$$

où E est le module d'élasticité du quartz, qui va de  $5 \cdot 10^{11}$  à  $1 \cdot 10^{12}$  dyne/cm<sup>2</sup>. Si les forces de résistance au mouvement du bout libre sont plus grandes que F alors les déplacements minima déterminés par la sensibilité sont égaux à

$$\xi = \epsilon L, \quad (13)$$

et ne seront pas enregistrés par l'appareil.

La force de résistance au mouvement du bout libre est formée par la force mécanique de résistance des appuis intermédiaires de la tige, du générateur et aussi des forces provenant de l'imprécision du nivellement de la tige. Après l'installation définitive de l'appareil, la valeur de cette force est estimée expérimentalement. Dans ce but, à un bout de la tige suspendue librement on applique une force de valeur déterminée et le déplacement de l'autre bout est enregistré. On peut évaluer la force de résistance existante d'après la valeur de la force appliquée et les déplacements correspondants. Il faut noter que, comme cela a été montré dans les travaux [23] et [5], les appuis intermédiaires constitués de suspensions par fils ont des avantages par rapport aux soutiens par galets [2].

Les éléments de longueur sont un assemblage de tubes séparés en quartz transparent. Leur jonction est faite à l'aide de ciment en utilisant des manchons d'invar [4] ou même des tissus de verre spéciaux [17], au moyen du collage par une colle d'époxy solidifiant à chaud [21] et également par soudure [5]. Toutes ces méthodes de liaisons garantissent une rigidité sûre, cependant elles conduisent à des dépenses supplémentaires et à des inconvénients lors du déplacement de l'appareil en d'autres sites. C'est pourquoi Hiersemann [23] a entrepris l'expérience d'assembler les tubes démontables à l'aide de brides d'aluminium. Pour éviter la transmission de leur diffusion thermique à la tige, les collets usinés des tubes sont assemblés à l'aide de ressorts annulaires. Les observations préliminaires [23] ont confirmé la bonne solidité des joints ; cependant ce procédé demande beaucoup de travail puisqu'il exige un polissage soigneux et un ajustage des collets des tubes.

Les générateurs et les appareils enregistreurs des extensomètres utilisés pour l'enregistrement des mouvements de marées doivent garantir non seulement une sensibilité suffisamment élevée de l'appareil mais aussi sa stabilité au cours de longues observations. Ces équipements doivent être simples et sûrs pour permettre l'exploitation dans des conditions de grande humidité dans les puits et les galeries.

Les générateurs employés peuvent être répartis en deux types : optico-mécaniques et électriques. Les premiers permettent d'obtenir un grandissement d'environ  $10^3$  à  $10^4$  (ce n'est que l'utilisation à titre de générateur du pendule à suspension de Zöllner qui donne un fort grandissement) et les seconds - environ  $10^5$ .

#### 1. Equipement à torsion [2].

Son principe de fonctionnement est basé sur la transformation des déplacements linéaires du bout de la tige qui repose sur un galet en mouvement de rotation, galet roulant sur une surface polie. Dans le cas des mouvements lents, l'accélération n'est pas grande et il n'y aura pratiquement pas de glissement [2]. L'écart du faisceau lumineux  $d$  sur l'enregistreur est lié aux déplacements du sol de la façon suivante :

$$d = 2L \frac{s}{D} , \quad (14)$$

où  $D$  est le diamètre du galet et  $L$  le levier optique.

## 2. Générateur de petits déplacements.

Il est basé sur l'application de la suspension bifilaire de l'extensomètre du type Sassa [22]. Dans une autre variété de suspension bifilaire [17], un petit miroir a été attaché à deux fils parallèles. Le mouvement du bout de la tige provoque la tension d'un fil et la détente de l'autre, ce que provoque aussitôt la rotation du miroir. Le grandissement donné par cet équipement est déterminé par le rapport

$$V = \frac{bL}{ad} \quad (15)$$

où a et b sont respectivement la flèche et la longueur des fils ; d est la distance entre les fils.

## 3. Pendule à suspension Zöllner [34].

Le bout libre de la tige étant relié fermement avec l'axe de rotation du pendule, les déplacements linéaires sont transformés en oscillations du pendule horizontal. La sensibilité de l'extensomètre avec un générateur de ce type s'exprime par :

$$\epsilon = \frac{2 \pi^2 l a}{LgDT^2} \quad (16)$$

où L est le levier optique, g est l'accélération de la pesanteur au site d'observations, D est la longueur de la tige, l est la longueur réduite du pendule, T est sa période, a est la distance entre le point inférieur de la suspension du pendule et le point de contact de la tige avec l'axe du pendule. Pour utiliser ces générateurs on applique le procédé photo-optique d'enregistrement.

Comme générateurs électriques on a trouvé les applications suivantes :

1. Générateur de capacité [17, 21]. Au bout libre de la tige on a attaché une plaque métallique se trouvant entre deux autres fixées au pilier. La fréquence du générateur principal alimente les deux contours LC parallèles pour lesquels la plaque est une plaque commune fermement reliée avec le bout libre de la tige. Lors du mouvement de cette plaque par rapport aux deux autres, la différence entre les deux tensions se présentant à la sortie du schéma du générateur représente un signal en courant continu proportionnel au déplacement relatif des piliers. L'enregistrement dans les travaux [17, 21] a été effectué à l'aide d'appareils enregistreurs sensibles.
2. Générateur inducteur [23, 38, 47]. Le principe de son fonctionnement est basé sur la mesure des variations de la différence de courant dans deux bobines attachées au pilier, lors de la permutation dans celles-ci du noyau de fer fixé au bout libre de la tige. Dans les travaux indiqués, l'enregistrement a été effectué à l'aide de galvanomètres.

3. Générateur du type à torsion avec photo-amplificateur [38], dans lequel le spot lumineux venant du miroir attaché au galet est dirigé sur les photo-éléments. La quantité de lumière tombant sur eux, dépend de l'angle de tour du galet. On enregistre les variations des photo-courants de différence à l'aide d'un galvanomètre.
4. Générateur basé sur la variation de tension du fil lors des déformations [38, 6]. Dans ce cas, quatre morceaux étalonnés du fil ou de la feuille de métal sont reliés d'après un schéma en pont dont la déformation est provoquée par le mouvement du tube. La variation de la résistance due à la déformation amène à des variations de courant sur la sortie du schéma qui s'enregistrent aussi par un galvanomètre.

Il faut noter que pour diminuer l'influence des variations de température et d'autres facteurs sur les schémas électriques des générateurs, ceux-ci sont montés d'après un schéma différentiel. Cependant l'application même des générateurs électriques peut amener, dans le fonctionnement des extensomètres, une certaine instabilité parfois même importante.

La sensibilité des extensomètres se détermine par les deux procédés suivants :

- a) d'après les paramètres du système générateur - installation d'enregistrement [2-5] ;
- b) à l'aide d'installations permettant de créer de petits déplacements précis.

Dans ce dernier procédé, on a appliqué des vis micrométriques avec des aménagements spéciaux à levier ou même sans, et aussi des aménagements permettant d'obtenir une valeur précise du déplacement à l'aide de la contraction ou de la distension de la tige, connaissant le module de Young du matériau [17, 23, 24]. Cependant les procédés mécaniques pour donner ces déplacements ne garantissent pas une précision nécessaire, exigée pour la détermination de la sensibilité, c'est pourquoi les générateurs d'étalonnage des petits déplacements basés sur le principe de magnétostriction ont été mis en application.

#### Déformations linéaires dues aux marées

Les déplacements provoqués par le potentiel de marée  $W_2$ , proportionnel à  $r^2 S_2$ , dans un corps élastique à symétrie sphérique (pas nécessairement homogène) seront, conformément à [7]

$$u_i = F(r) \frac{\partial}{\partial x_i} (r^2 S_2) + G(r) x_i r^2 S_2, \quad (17)$$

où  $S_2$  est la fonction sphérique du deuxième ordre,  $r$  est le rayon vecteur du point à la surface de la Terre,  $F(r)$  et  $G(r)$  sont des fonctions de  $r$  seul, caractérisant le comportement élastique du globe. Dans le cas général le premier terme de cette expression a des composantes horizontales et le second représente le déplacement purement radial.

Les composantes du déplacement, radiale, méridienne et dans le premier vertical ont la forme [32]

$$\begin{aligned} u_r &= \frac{H(r)}{g} W_2, \\ u_\Theta &= \frac{L(r)}{g} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial \Theta}, \\ u_\lambda &= \frac{L(r)}{g \sin \Theta} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial \lambda}, \end{aligned} \quad (18)$$

où  $\Theta$  est la colatitude et  $\lambda$  la longitude du site d'observations. En [18] les notations

$$\begin{aligned} \frac{H(r)}{g} &= \frac{2F(r) + G(r)r^2}{r}, \\ \frac{L(r)}{g} &= \frac{F(r)}{r} \end{aligned} \quad (19)$$

sont introduites respectivement par Love [48, 49] et Shida [50]. Ici  $H(a) = h$  porte le nom de nombre de Love, et  $L(a) = l$  - le nom de nombre de Shida ( $a$  est le rayon moyen de la Terre).

Les composantes de la déformation à la surface de la Terre provoquées par l'effet des composantes semi-diurnes et diurnes s'expriment respectivement par :

$$\left. \begin{aligned} e_{rr} &= \left[ \frac{2h}{a} + \left( \frac{\partial H}{\partial r} \right)_{r=a} \right] \frac{W_2}{g}, \\ e_{\Theta\Theta} &= \frac{h \sin^2 \Theta + 2l \cos 2\Theta}{\sin^2 \Theta} \cdot \frac{W_2}{ag}, \\ e_{\lambda\lambda} &= \frac{h \sin^2 \Theta - 2l(1 + \sin^2 \Theta)}{\sin^2 \Theta} \cdot \frac{W_2}{ag}, \\ e_{\Theta\lambda} &= -4l \cos \Theta \operatorname{tg} 2(t + \lambda) \frac{W_2}{g}, \end{aligned} \right\} \quad (20a)$$

$$\left. \begin{aligned} e_{rr} &= \left[ \frac{2h}{a} + \left( \frac{\partial H}{\partial r} \right)_{r=a} \right] \frac{W_2}{g}, \\ e_{\Theta\Theta} &= (h - 4l) \frac{W_2}{ag}, \\ e_{\lambda\lambda} &= (h - 2l) \frac{W_2}{ag}, \\ e_{\Theta\lambda} &= 4l \sin \Theta \operatorname{tg}(t + \lambda) \frac{W_2}{ag}. \end{aligned} \right\} \quad (20b)$$

La déformation dans une direction quelconque est :

$$e_i = e_{rr}\alpha^2 + e_{\Theta\Theta}\beta^2 + e_{\lambda\lambda}\gamma^2 + e_{\Theta\lambda}\beta\gamma, \quad (21)$$

où  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  sont les cosinus directeurs de cette direction  $i$  respectivement par rapport à  $r$ ,  $\Theta$  et  $\lambda$ . On peut obtenir les nombres  $h$  et  $l$  et leurs combinaisons à l'aide des enregistrements des extensomètres.

Il convient de noter que les enregistrements des déformations de marées peuvent être généralement soumis à l'influence perturbatrice des marées dans l'océan. Le calcul approximatif de cette influence est basé sur la solution du problème de Boussinesq [30,8]. Comme on n'a pas étudié les marées dans l'océan, un tel calcul ne peut donner de résultats sûrs et peut introduire des erreurs supplémentaires, probablement même de caractère systématique, dans les déterminations de  $h$  et  $l$  d'après les enregistrements extensométriques dans les endroits proches de la rive de l'océan. Dans le travail [51], on examine en détail la question de la détermination de  $h$  et  $l$  en tenant compte de l'effet indirect d'après les observations avec les extensomètres installés en différents azimuts. Le nombre  $h$  se détermine avec beaucoup plus de précision par les observations clinométriques et gravimétriques. C'est pourquoi la valeur fondamentale des observations avec les extensomètres réside dans la possibilité de déterminer immédiatement le nombre  $l$ . Ces observations, à présent encore peu nombreuses, sont insuffisamment précises (l'erreur de détermination de  $l$  atteint 15 %). Les résultats des déterminations du nombre  $l$  en quelques stations sont donnés dans la table ci-dessous qui montre que les résultats japonais concordent entre eux cependant qu'ils diffèrent sensiblement des autres déterminations et des valeurs théoriques de  $l$  (0.08 - 0.09) calculées par Molodenskii [9] et Takeuchi [52] pour différents modèles de Terre. Il est possible que le calcul imprécis de l'effet indirect se fasse sentir ici. Les observations effectuées à Freiberg-Saxe [23] sont fortement affectées d'influences météorologiques car elles sont effectuées à la surface de la Terre. Le nombre  $l$  est déterminé par ces observations uniquement pour une série d'un mois.

Les résultats obtenus par les observations de Talgar [4] et Tbilissi [5] sont dignes de la plus grande confiance. Ces stations sont profondément continentales, c'est pourquoi l'influence de l'effet indirect sur les résultats obtenus est insignifiante. En outre, les observations de Talgar ont été effectuées dans une mine à une profondeur d'environ 50 m de la surface libre et à Tbilissi en moyenne à environ 37 m de sorte que l'apport des déformations de température dans les enregistrements de marées est faible. Les variations journalières de la température de la mine dans les deux points n'ont pas dépassé quelques centièmes de degré.

Bien qu'on n'ait pas effectué d'étalonnage immédiat des appareils pendant ces observations, la sensibilité déterminée par les paramètres du système à torsion et de l'installation d'enregistrement ne se calcule pas avec moins de précision que celle que donne l'étalonnage immédiat. Il faut noter que la valeur de la sensibilité ne se répercute pas sur le résultat du rapport  $\frac{h}{l}$  déterminé par les observations, c'est pourquoi, connaissant  $h$ , on peut obtenir  $l$ .

| Auteur   | Période des observations   | Lieu des observa-       | l  |   | h          |
|--|--|-------------------------|--|---|------------|
|  |  |                         | sans élimi-<br>nation de<br>l'effet de<br>charge | après élimi-<br>nation de<br>l'effet de<br>charge |            |
| Sassa-Ozawa, Yoshikava                                   | Septembre-octobre 1943<br>Octobre 1947 - Oct. 1948<br>Octobre 1947 - fév. 1949 | Mitsubishi<br>Ozakayama | -<br>-   | 0.051<br>0.05                                     | -<br>-     |
| Ozawa  | Déc. 1949 - déc. 1950  | Makimine<br>Ozakayama   | 0.035±0.011<br>0.025±0.012                       | -<br>-  | -          |
| "  | Mai - juin 1952  | "                       | 0.021  | -   | -          |
| "  | Sept. - oct. 1952  | "                       | 0.091  | -   | -          |
| "  | Octobre 1947 - août 1956   | Kishu                   | -  | 0.055±0.009                                       | -          |
| "  | Avril 1955 - mars 1956   | Sugara                  | -  | -   | -          |
| "  | Mars - avril 1956  | Ozakayama               | -  | 0.055   | 0.614      |
| "  | Janvier - août 1959  | Freiberg                | -  | 0.072   | -          |
| Hierseman  | Nov. - déc. 1960   | Talgar                  | 0.025<br>0.07                                    | -   | 0.42       |
| Latinina-Karmaleeva<br>Major, Sutton, Oliver,<br>Metzger | Nov. 1961 - juin 1962  | Ogdensburg              | -  | 0.037   | 0.53       |
| Balavadzé - Karmaleeva<br>Kartvelitchvili - Latinina     | Juin - sept. 1963  | Tbilissi                | 0.063±0.011                                      | -   | 0.41±0.015 |

## BIBLIOGRAPHIE

---

1. V.V. POPOV, M.K. TCHERNIAVKINA  
Quelques résultats des observations sur les déformations de la surface de la Terre dans la station géophysique de "Yalta"  
*Yzvestia Ac. des Sc. d'URSS Sér. géoph. N° 7, 1960*
2. V.F. BONTCHKOVSKII, L.A. LATININA  
Déformographe à torsion.  
*Izvestia Ac. des Sc. d'URSS Sér. géoph. N° 3, 1955.*
3. V.F. BONTCHKOVSKII  
Résultats du cycle annuel des mesures des mouvements lents des couches supérieures de la Terre par les méthodes géophysiques.  
*Publ. "Mouvements actuels de l'écorce terrestre" N° 1, 1963.*
4. L.A. LATIININA, R.M. KARMALIEVA  
Premiers résultats des observations par l'extensomètre horizontal à Tian-Shan,  
*Izvestia Ac. des Sc. d'URSS, Sér. géoph. N° 11, 1962.*
5. B.K. BALAVATSE, R.M. KARMALIEVA, K.Z. KARTVCLICHVILI, L.A. LATININA  
Observations sur les déformations de marées de la Terre à l'aide de l'extensomètre horizontal à Tbilissi.  
*Yzvestia Ac. des Sc. d'URSS Phys. de la Terre, N° 2, 1965.*
6. N.N. AISTOV  
Essai d'installations  
*M.L. 1960.*
7. G. JEFFREYS  
La Terre, son origine, son histoire et sa structure.  
*Edit. de littérature étrangère M. 1960.*
8. A. LOVE  
Théorie mathématique de l'élasticité  
*ONTI, IKTP, URSS, 1935*
9. M.S. MOLODENSKII  
Marées élastiques, nutation libre et certaines questions de structure de la Terre.  
*Trav. de l'Institut de Géophysique, N° 19 (146), 1953.*
10. J. MILNE  
The Relative Motion of Neighboring Points of Ground.  
*Trans. Séism. Soc. Japan, vol. 12, 1888.*
11. E. ODDONE  
Ricerche Strumentali in Sismometria con Apparati non Pendulari.  
*Boll. Soc. Sismologica Italiana, vol. 11, 1900-1901.*
12. H. BENIOFF  
A Linear Strain Seismograph,  
*Bull. Seism. Soc. Am., vol. 25, N° 4, 1935.*

13. H. BENIOFF  
A New Vertikal Seismograph  
*Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 22, No 2, 1932.
14. H. BENIOFF  
Earthquake Seismographs and Associated Instruments.  
*Advances in Geoph.*, vol. 2, 1955.
15. H. BENIOFF  
List of Extensometers.  
*BIM*, No 6, 1957.
16. H. BENIOFF  
Earth Strain Measurements in South America,  
*Trans. Am. Geoph. Un.*, vol. 39, No 2, 1958.
17. H. BENIOFF  
Fused Quartz Extensometer for Secular Tidal and Seismic Strains.  
*Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 70, No 8, 1959.
18. H. BENIOFF, F. PRESS, S. SMITH  
Excipitation of the Free Oscillations of the Earth by Earthquakes.  
*Journ. Geoph. Res.*, vol. 66, No 2, 1961.
19. H. BENIOFF., B. GUTENBERG, C.F. RICHTER  
Progress Report,  
*Seism. Lab. California Inst. of Technology, 1953, Trans. Am. Geoph. Un.*, vol 35, N 6, 1954.
20. L. E. ALSOP, G.H. SUTTON, M. EWING  
Free Oscillations of the Earth Observed on Strain and Pendulum Seismographs.  
*Journ. Geoph. Res.*, vol. 66, No 2, 1961.
21. M.W. MAJOR, G.H. SUTTON, J. OLIVER and R. METSGER  
On Elastic Strain of the Earth in the Period Range 5 Seconds to 100 Hours.  
*Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 54, No 1, 1964.
22. K. SASSA, I. OZAWA, S. YOSHIKAWA  
Observation of Earth Tide by New Horisontal Extensometer.  
*Bull. Disaster Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.* No 2, 1949.
23. L. HIERSEMANN  
Fortlaufende Aufzeichnung von Bodenbewegungen durch ein Strainseismometer,  
*Freiberger Forschungshefte*, C 135, 1962.
24. E. NISHIMURA  
Recent Results of Earth Tidal Observation of Ground Strain in Japan.  
*Comm. l'Obs. Roy. Belg.* No 142, S.G. No 47, 1958.
25. T. HAGIWARA, T. RIKITAKE, R. KASAHARA and J. YAMADA  
Observations of the Deformation of the Earth's Surface at Aburatsubo,  
*Miura Peninsula, Part III, Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 27, 1949.

26. T. HAGIWARA  
Studies of the Earth's Surface and its Deformation.  
*Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, 1960*
27. I. OZAWA  
Observation of Tidal Strain of the Earth by Extensometer.  
*Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ. N° 3, 1952.*
28. I. OZAWA  
The Observation of Tidal Variation of the Linear Strain of the Earth.  
*Journ. Geod. Soc. Japan, vol. 2, N° 2, 1955.*
29. I. OZAWA  
Observations of Tidal Strain of the Earth.  
*Journ. Phys. Earth, vol. 5, N° 1, 1957.*
30. I. OZAWA  
Studies on Elastic Strain of the Ground in Earth Tide.  
*Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., N° 15, 1957.*
31. I. OZAWA  
On an Extensometer of New Type,  
*Bolletino di geofisica, Anno 11, 5, 1960.*
32. I. OZAWA  
On Some Coefficients of Earth Tide Strains,  
*Bolletino di geofisica, Anno 11, 5, 1960.*
33. I. OZAWA  
On the Observations of Crustal Deformation at Osakayama,  
*1959.*
34. I. OZAWA  
On the Extensometer of which Magnifer is a Zollner Suspension Type Tiltmeter, and the Observations of the Earths-Strains by Means of the Instruments.  
*Geoph. Inst. Kyoto Univ., vol. 6, N° 1, 1960.*
35. I. OZAWA  
Comparative Observations of Crustal Strains by Means of Wire-Type, and Rod-Type Extensometers,  
*Geoph. Inst. Kyoto Univ., vol. 7, N° 1, 1961.*
36. I. OZAWA  
On the combined Observations of the Crustal Deformation at some Observatories inside a small Area (at Osakayama).  
*Journ. Seism. Soc. Japan, vol. 15, N° 3, 1962.*
37. M. TAKADA  
On the Observation of Crustal Deformation and Meteorological Effect on it at Ide Observatory and on the Crustal Deformation due to full water and accumulating sand in the Sabodam.  
*Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ. N° 23, 1958.*

38. M. TAKADA  
On the Observing Instruments and Telemetrical Devices of Extensometers and Tiltmeters at Ide Observatory and on the Strain accompanied by a great Earthquake  
*Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ. N° 27, 1959.*
39. I. OZAWA  
On the Observations of the Earth Tide by Means of Extensometers in Horizontal Components.  
*Bull. Dis. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., N° 46, 1961.*
40. P.A. BLUM, R. GAULON et G. JOBER  
Travaux sur les marées terrestres effectués en 1960 à l'Institut de Phys. du Globe de Paris.  
*Comm. l'Observ. Roy. Belg. N° 188, S.G., N° 58.*
41. L. HIERSEMANN  
Aufzeichnung langperiodischer Bodendeformationen mit einem Strainseismometer.  
*Zeitschr. für Geoph. , Heft 1, 1961.*
42. L. HIERSEMANN, O. MEISSER  
Aufzeichnung langperiodischer Bodendeformationen mit einem Strainseismometer.  
*Comm. l'Observ. Roy. Belg. N° 188, S.G. N° 58, 1961.*
43. V. Väisälä  
Über Längmessungen mit Hilfe der Lichtinterferenzen.  
*Zeitschr. für Instrumentenkunde, 47, 1927.*
44. Lasers Transducers will extend Range of Seismographs.  
*Electronic Design, vol. 11, N° 21, 1963.*
45. V. VALI, R.S. KROGSTAD, M. VALI  
Measurement of Earth Tide and Continental Drift with Laser Interferometer.  
*Proc. IEEE, 52, N° 7, 1964*
46. G.C. OMER  
Differential - Motion Seismographs.  
*Bull. Seism. Soc. Am., vol. 37, N° 3, 1947.*
47. Y. YAMAZAKI  
An Extensometer with Differential Transformer.  
*Journ. Seism. Soc. Japan, vol. 15, N° 2, Second Series, 1962.*
48. A.E.H. LOVE  
The Yielding on the Earth to Disturbing Forces.  
*Proc. Roy. Soc. London (A), vol. 82, 1909*
49. A.E. LOVE  
Some Problems of Geodynamics  
*Cambridge Univ. Press, 1911.*
50. T. SHIDA  
On the Elasticity of the Earth and the Earth's Crust,  
*Memoirs of the College of Science and Engineering Kyoto Imperial Univ., vol. 4, 1912.*
51. R. MAAZ  
Zur Bestimmung der Schida'schen Zahl aus Extensometer aufzeichnungen, *BIM, N° 39, 1965*
52. H. TAKEUCHI  
On the Earth Tide of the Compressible Earth of Variable Density and Elasticity.  
*Trans. Am. Geoph. Un., vol. 31, N° 5, 1950.*



Analyses harmoniques de longues séries d'observations par la méthode Venedikov  
Compléments aux BIM Nos 46 et 48 - P. MELCHIOR.

STATION UCCLE 3 COMPOSANTE VERTICALE BELGIQUE

OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE P.MELCHIOR  
50.47N 4.21E H 101 P 4  
GRAVIMETRE ASK 191 PFO

|                 |         |         |         |         |      |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|------|
| ASK 191 65 6 4  | 65 8 1  | 66 8 27 | 66 8 29 | 67 3 1  | 67 3 |
| ASK 191 65 8 23 | 65 9 28 | 66 9 1  | 66 9 1  | 67 3 21 | 67 3 |
| ASK 191 66 4 2  | 66 5 20 | 66 9 8  | 66 9 16 | 67 4 2  | 67 4 |
| ASK 191 66 5 24 | 66 5 24 | 67 1 15 | 67 2 18 | 67 4 19 | 67 6 |
| ASK 191 66 6 19 | 66 8 18 | 67 2 21 | 67 2 25 |         |      |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 386

ONDES DIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |         |
|---------|-----|----------|---------|
| 1 - 11  | Q1  | 1.145512 | -1.147  |
| 12 - 21 | O1  | 1.163425 | -0.505  |
| 22 - 29 | M1  | 1.074529 | -0.816  |
| 30 - 32 | P1  | 1.177781 | -4.246  |
| 33 - 34 | S1  | 4.700122 | -86.820 |
| 35 - 40 | K1  | 1.143233 | -1.057  |
| 41 - 45 | J1  | 1.267185 | -6.961  |
| 46 - 52 | OO1 | 1.092587 | 14.959  |

|              |     |            |        |
|--------------|-----|------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
| 1 - 11       | Q1  | 0.036449   | 1.594  |
| 12 - 21      | O1  | 0.007429   | 0.314  |
| 22 - 29      | M1  | 0.076006   | 3.775  |
| 30 - 32      | P1  | 0.022312   | 0.927  |
| 33 - 34      | S1  | 1.495316   | 3.820  |
| 35 - 40      | K1  | 0.006698   | 0.294  |
| 41 - 45      | J1  | 0.087337   | 3.117  |
| 46 - 52      | OO1 | 0.121265   | 5.828  |

ERREUR Q.M. D 15.244005

ONDES SEMIDIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |         |
|---------|-----|----------|---------|
| 1 - 5   | 2N2 | 1.191868 | 3.438   |
| 6 - 9   | N2  | 1.163291 | 2.068   |
| 10 - 14 | M2  | 1.184081 | 1.141   |
| 15 - 19 | L2  | 0.781032 | -10.952 |
| 20 - 21 | S2  | 1.187787 | -1.912  |
| 22 - 27 | K2  | 1.216029 | -0.146  |

ERREURS Q.M. FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |        |
|---------|-----|----------|--------|
| 1 - 5   | 2N2 | 0.093903 | 3.787  |
| 6 - 9   | N2  | 0.020217 | 0.856  |
| 10 - 14 | M2  | 0.004092 | 0.167  |
| 15 - 19 | L2  | 0.149773 | 14.108 |
| 20 - 21 | S2  | 0.008534 | 0.353  |
| 22 - 27 | K2  | 0.025969 | 1.007  |

ERREUR Q.M. SD 7.237508



STATION BONN 2                      COMPOSANTE VERTICALE      ALLEMAGNE

50.44N                      7.05E                      H 59                      P 2

INSTITUT FUR THEORETISCHE GEODAESIE      BONN      M. BONATZ  
GRAVIMETRE ASK GS 12      85

|                  |          |          |         |
|------------------|----------|----------|---------|
| ASK 085 65 10 15 | 66 1 1   | 67 4 20  | 67 5 24 |
| ASK 085 66 1 16  | 66 8 12  | 67 5 28  | 67 8 12 |
| ASK 085 66 8 18  | 66 11 26 | 67 10 18 | 68 1 26 |

NOMBRE TOTAL DE JOURS      608

ONDES DIURNES                      FACT. AMPL.                      PHASES

|         |     |          |        |
|---------|-----|----------|--------|
| 1 - 11  | Q1  | 1.215282 | 0.347  |
| 12 - 21 | O1  | 1.162754 | 0.053  |
| 22 - 29 | M1  | 1.108390 | 2.213  |
| 30 - 32 | P1  | 1.155948 | 0.042  |
| 33 - 34 | S1  | 1.921164 | 68.961 |
| 35 - 40 | K1  | 1.156121 | 0.130  |
| 41 - 45 | J1  | 1.179258 | -6.505 |
| 46 - 52 | OO1 | 1.176330 | -5.021 |

|              |     |             |        |
|--------------|-----|-------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT. AMPL. | PHASES |
| 1 - 11       | Q1  | 0.032589    | 1.264  |
| 12 - 21      | O1  | 0.006246    | 0.265  |
| 22 - 29      | M1  | 0.064396    | 3.003  |
| 30 - 32      | P1  | 0.015421    | 0.659  |
| 33 - 34      | S1  | 0.896522    | 13.777 |
| 35 - 40      | K1  | 0.004696    | 0.201  |
| 41 - 45      | J1  | 0.077394    | 3.187  |
| 46 - 52      | OO1 | 0.102088    | 4.228  |

ERREUR Q.M.      D      16.346839

ONDES SEMIDIURNES                      FACT. AMPL.                      PHASES

|         |     |          |         |
|---------|-----|----------|---------|
| 1 - 5   | 2N2 | 1.079373 | 2.540   |
| 6 - 9   | N2  | 1.196482 | 2.039   |
| 10 - 14 | M2  | 1.208946 | 1.398   |
| 15 - 19 | L2  | 1.410342 | -12.186 |
| 20 - 21 | S2  | 1.219485 | -1.002  |
| 22 - 27 | K2  | 1.214011 | 0.362   |

|              |     |             |        |
|--------------|-----|-------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT. AMPL. | PHASES |
| 1 - 5        | 2N2 | 0.104999    | 5.158  |
| 6 - 9        | N2  | 0.020813    | 0.834  |
| 10 - 14      | M2  | 0.003977    | 0.156  |
| 15 - 19      | L2  | 0.130783    | 3.766  |
| 20 - 21      | S2  | 0.008250    | 0.324  |
| 22 - 27      | K2  | 0.025113    | 0.975  |

ERREUR Q.M.      SD      8.894562



STATION STOCKHOLM            COMPOSANTE VERTICALE    SUEDE  
 59.21N                    18.04E                    H 29                    P 2  
 INSTITUTIONFN FOR GEODESI    STOCKHOLM                    A.BJERHAMMAR  
 GRAVIMETRE ASK 168

|                  |          |          |          |          |         |
|------------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| ASK 168 63 4 10  | 63 5 14  | 64 10 21 | 64 11 22 | 65 12 14 | 65 12 1 |
| ASK 168 63 6 9   | 63 11 2  | 64 11 27 | 64 12 25 | 65 12 21 | 66 2 1  |
| ASK 168 63 11 7  | 64 1 8   | 64 12 29 | 65 7 6   | 66 2 20  | 66 2 2  |
| ASK 168 64 2 10  | 64 2 24  | 65 7 12  | 65 7 24  | 66 3 1   | 66 3    |
| ASK 168 64 2 29  | 64 5 15  | 65 7 29  | 65 9 5   | 66 3 29  | 66 4 1  |
| ASK 168 64 6 6   | 64 8 29  | 65 9 9   | 65 9 19  | 66 4 13  | 66 4 1  |
| ASK 168 64 9 9   | 64 9 17  | 65 9 24  | 65 9 30  | 66 4 23  | 66 4 2  |
| ASK 168 64 9 23  | 64 9 25  | 65 10 6  | 65 12 3  | 66 4 28  | 66 4 3  |
| ASK 168 64 10 13 | 64 10 17 | 65 12 8  | 65 12 8  | 66 5 6   | 66 5    |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 950

| ONDES DIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES  |
|---------------|-----|------------|---------|
| 1 - 11        | Q1  | 1.17097    | 0.088   |
| 12 - 21       | O1  | 1.14655    | -0.908  |
| 22 - 29       | M1  | 1.07327    | -10.552 |
| 30 - 32       | P1  | 1.08986    | -2.113  |
| 33 - 34       | S1  | 3.69578    | 13.649  |
| 35 - 40       | K1  | 1.13347    | -0.281  |
| 41 - 45       | J1  | 1.39321    | -2.364  |
| 46 - 52       | OO1 | 0.98524    | -0.440  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 11       | Q1  | 0.04173    | 1.74   |
| 12 - 21      | O1  | 0.00846    | 0.37   |
| 22 - 29      | M1  | 0.12927    | 6.43   |
| 30 - 32      | P1  | 0.01839    | 0.89   |
| 33 - 34      | S1  | 1.09227    | 4.61   |
| 35 - 40      | K1  | 0.00597    | 0.27   |
| 41 - 45      | J1  | 0.09423    | 2.78   |
| 46 - 52      | OO1 | 0.17584    | 10.37  |

ERREUR Q.M. D 22.63809

| ONDES SEMIDIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES  |
|-------------------|-----|------------|---------|
| 1 - 5             | 2N2 | 1.30348    | 0.124   |
| 6 - 9             | N2  | 1.15088    | -2.715  |
| 10 - 14           | M2  | 1.15647    | -2.530  |
| 15 - 19           | L2  | 1.13487    | -12.978 |
| 20 - 21           | S2  | 1.10754    | 2.424   |
| 22 - 27           | K2  | 1.20102    | -4.034  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 5        | 2N2 | 0.15705    | 5.29   |
| 6 - 9        | N2  | 0.03154    | 1.37   |
| 10 - 14      | M2  | 0.00654    | 0.28   |
| 15 - 19      | L2  | 0.35394    | 15.76  |
| 20 - 21      | S2  | 0.01365    | 0.65   |
| 22 - 27      | K2  | 0.04873    | 1.93   |

ERREUR Q.M. SD 12.06870



STATION TEHRAN COMPOSANTE VERTICALE IRAN

INSTITUT GEOPHYSIQUE H.K.AFSHAR  
 35.44N 51.23E H 1367 P  
 GRAVIMETRE ASKANIA 119

|                  |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
| ASK 119 64 8 26  | 64 12 4  | 67 6 29  | 67 7 25  |
| ASK 119 65 1 27  | 65 3 4   | 67 7 31  | 67 10 17 |
| ASK 119 65 6 15  | 66 3 24  | 67 10 22 | 67 10 28 |
| ASK 119 66 5 25  | 66 10 16 | 67 11 6  | 68 3 31  |
| ASK 119 66 10 23 | 67 6 24  |          |          |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 1080

ONDES DIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |         |
|---------|-----|----------|---------|
| 1 - 11  | Q1  | 1.117938 | -0.613  |
| 12 - 21 | O1  | 1.120274 | -2.511  |
| 22 - 29 | M1  | 0.977743 | -12.457 |
| 30 - 32 | P1  | 1.156038 | 0.484   |
| 33 - 34 | S1  | 3.639341 | -24.778 |
| 35 - 40 | K1  | 1.116841 | -2.975  |
| 41 - 45 | J1  | 1.292021 | -1.466  |
| 46 - 52 | 001 | 1.267526 | 0.210   |

|              |     |            |        |
|--------------|-----|------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
| 1 - 11       | Q1  | 0.055260   | 2.534  |
| 12 - 21      | O1  | 0.010667   | 0.487  |
| 22 - 29      | M1  | 0.115817   | 6.941  |
| 30 - 32      | P1  | 0.025821   | 1.104  |
| 33 - 34      | S1  | 1.554492   | 6.660  |
| 35 - 40      | K1  | 0.007921   | 0.365  |
| 41 - 45      | J1  | 0.130954   | 4.494  |
| 46 - 52      | 001 | 0.176729   | 6.302  |

ERREUR Q.M. D 35.508780

ONDES SEMIDIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |        |
|---------|-----|----------|--------|
| 1 - 5   | 2N2 | 0.838156 | -3.780 |
| 6 - 9   | N2  | 1.193647 | -5.754 |
| 10 - 14 | M2  | 1.170643 | -4.268 |
| 15 - 19 | L2  | 1.475612 | 4.165  |
| 20 - 21 | S2  | 1.173598 | -6.759 |
| 22 - 27 | K2  | 1.128780 | -8.024 |

|              |     |            |        |
|--------------|-----|------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
| 1 - 5        | 2N2 | 0.175561   | 14.309 |
| 6 - 9        | N2  | 0.035654   | 1.433  |
| 10 - 14      | M2  | 0.006881   | 0.288  |
| 15 - 19      | L2  | 0.240727   | 6.337  |
| 20 - 21      | S2  | 0.014284   | 0.582  |
| 22 - 27      | K2  | 0.043375   | 1.950  |

ERREUR Q.M. SD 33.704015



STATION CARACAS COMPOSANTE VERTICALE VENEZUELA

10.30N 65.55E H 1035 P 3

INSTITUTO SISMOLOGICO CAGIGAL G.FIEDLER  
GRAVIMETRE ASK 99

ASK 99 59 10 2 61 1 6

NOMBRE TOTAL DE JOURS 464

ONDES DIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |         |
|---------|-----|----------|---------|
| 1 - 11  | Q1  | 0.830079 | 22.791  |
| 12 - 21 | O1  | 1.191539 | 3.687   |
| 22 - 29 | M1  | 4.008796 | -86.527 |
| 30 - 32 | P1  | 2.668810 | 6.434   |
| 33 - 34 | S1  | *****    | 69.611  |
| 35 - 40 | K1  | 0.830596 | -12.125 |
| 41 - 45 | J1  | 1.221684 | -7.975  |
| 46 - 52 | 001 | 5.711934 | 19.160  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 11       | Q1  | 0.430515   | 35.800 |
| 12 - 21      | O1  | 0.091401   | 3.688  |
| 22 - 29      | M1  | 2.988951   | 10.659 |
| 30 - 32      | P1  | 0.156457   | 1.258  |
| 33 - 34      | S1  | 9.570382   | 0.048  |
| 35 - 40      | K1  | 0.059707   | 4.965  |
| 41 - 45      | J1  | 0.913223   | 35.056 |
| 46 - 52      | 001 | 3.640009   | 6.393  |

ERREUR Q.M. D 54.269608

ONDES SEMIDIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |        |
|---------|-----|----------|--------|
| 1 - 5   | 2N2 | 0.439216 | 27.784 |
| 6 - 9   | N2  | 1.153202 | 0.577  |
| 10 - 14 | M2  | 1.167918 | -0.106 |
| 15 - 19 | L2  | 0.864029 | 14.548 |
| 20 - 21 | S2  | 1.216494 | -2.487 |
| 22 - 27 | K2  | 1.202644 | 4.847  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 5        | 2N2 | 0.268516   | 79.747 |
| 6 - 9        | N2  | 0.052669   | 2.268  |
| 10 - 14      | M2  | 0.009850   | 0.414  |
| 15 - 19      | L2  | 0.271498   | 20.842 |
| 20 - 21      | S2  | 0.021395   | 0.836  |
| 22 - 27      | K2  | 0.107081   | 4.241  |

ERREUR Q.M. SD 48.956840

Remarque : Les ondes diurnes ont des amplitudes très faibles au voisinage de l'équateur.

Le levé précis des azimuts des différents pendules horizontaux a pu être fait en 1967-68 dans toutes les stations belges. Les valeurs indiquées ici pour les phases peuvent maintenant être considérées comme définitives.

STATION SCLAIGNEAUX 1 COMPOSANTE EW BELGIQUE

50.30N 5.01E H 170 P 85

OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE P.MELCHIOR  
PENDULE HORIZONTALE VM31

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |   |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|---|
| VM | 31 | 64 | 4  | 3  | 66 | 1  | 11 | 67 | 1 | 21 | 67 | 3 | 20 | 67 | 8  | 4  | 67 | 8  | 1 |
| VM | 31 | 66 | 2  | 2  | 66 | 9  | 6  | 67 | 4 | 7  | 67 | 4 | 15 | 67 | 8  | 27 | 67 | 10 |   |
| VM | 31 | 66 | 9  | 24 | 66 | 9  | 26 | 67 | 4 | 23 | 67 | 5 | 9  | 67 | 10 | 13 | 68 | 1  | 2 |
| VM | 31 | 66 | 10 | 7  | 66 | 10 | 11 | 67 | 5 | 14 | 67 | 5 | 30 | 68 | 3  | 1  | 68 | 3  |   |
| VM | 31 | 66 | 10 | 21 | 67 | 1  | 9  | 67 | 6 | 2  | 67 | 7 | 22 | 68 | 3  | 15 | 68 | 4  |   |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 1304

| ONDES DIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES  |
|---------------|-----|------------|---------|
| 1 - 11        | Q1  | 0.720150   | 20.362  |
| 12 - 21       | O1  | 0.695535   | 11.488  |
| 22 - 29       | M1  | 0.549137   | -2.431  |
| 30 - 32       | P1  | 0.704029   | 13.492  |
| 33 - 34       | S1  | 4.982582   | -87.172 |
| 35 - 40       | K1  | 0.749521   | 8.727   |
| 41 - 45       | J1  | 0.670168   | 8.942   |
| 46 - 52       | OO1 | 0.783799   | 4.500   |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 11       | Q1  | 0.045945   | 5.075  |
| 12 - 21      | O1  | 0.008914   | 1.056  |
| 22 - 29      | M1  | 0.106797   | 20.292 |
| 30 - 32      | P1  | 0.020834   | 2.410  |
| 33 - 34      | S1  | 1.220645   | 2.858  |
| 35 - 40      | K1  | 0.006466   | 0.660  |
| 41 - 45      | J1  | 0.107930   | 13.774 |
| 46 - 52      | OO1 | 0.156657   | 14.613 |

ERREUR Q.M. D 54.703257

| ONDES SEMIDIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|-------------------|-----|------------|--------|
| 1 - 5             | 2N2 | 1.098082   | -1.877 |
| 6 - 9             | N2  | 0.893077   | 13.413 |
| 10 - 14           | M2  | 0.917487   | 11.015 |
| 15 - 19           | L2  | 1.077532   | 30.980 |
| 20 - 21           | S2  | 0.853174   | 6.707  |
| 22 - 27           | K2  | 0.873623   | 7.527  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 5        | 2N2 | 0.059979   | 2.851  |
| 6 - 9        | N2  | 0.012131   | 0.871  |
| 10 - 14      | M2  | 0.002375   | 0.162  |
| 15 - 19      | L2  | 0.086703   | 4.278  |
| 20 - 21      | S2  | 0.004966   | 0.384  |
| 22 - 27      | K2  | 0.015585   | 1.170  |

ERREUR Q.M. SD 26.228382

CORRECTIONS APPLIQUEES

AZIMUT NUL PARALLAXE - OH158



STATION SCLAIGNEAUX 3 COMPOSANTE EW BELGIQUE

50.30N 5.01E H 170 P 85  
 OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE P. MELCHIOR  
 PENDULE HORIZONTAL VM 55

|               |          |                |          |
|---------------|----------|----------------|----------|
| VM 55 63 9 20 | 64 1 20  | VM 55 66 9 30  | 66 10 10 |
| VM 55 64 1 25 | 64 4 28  | VM 55 66 10 21 | 67 2 4   |
| VM 55 64 6 7  | 64 7 1   | VM 55 67 2 8   | 67 2 16  |
| VM 55 64 8 12 | 64 8 30  | VM 55 67 2 23  | 67 8 20  |
| VM 55 64 11 2 | 64 11 22 | VM 55 67 8 26  | 67 12 4  |
| VM 55 65 1 15 | 65 2 18  | VM 55 67 12 8  | 68 1 13  |
| VM 55 65 3 1  | 65 3 27  | VM 55 68 1 25  | 68 1 31  |
| VM 55 65 5 7  | 65 6 20  | VM 55 68 2 4   | 68 3 11  |
| VM 55 66 3 25 | 66 5 20  | VM 55 68 3 15  | 68 3 29  |
| VM 55 66 5 27 | 66 9 12  |                |          |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 1078

| ONDES DIURNES |     | FACT. AMPL. | PHASES |
|---------------|-----|-------------|--------|
| 1 - 11        | Q1  | 0.862262    | 14.211 |
| 12 - 21       | O1  | 0.682495    | 7.386  |
| 22 - 29       | M1  | 0.577380    | 49.621 |
| 30 - 32       | P1  | 0.774907    | 13.694 |
| 33 - 34       | S1  | 8.400500    | 51.699 |
| 35 - 40       | K1  | 0.782716    | 10.129 |
| 41 - 45       | J1  | 0.692245    | 5.738  |
| 46 - 52       | OO1 | 0.287319    | 40.672 |

| ERREURS Q.M. |     | FACT. AMPL. | PHASES  |
|--------------|-----|-------------|---------|
| 1 - 11       | Q1  | 0.068462    | 5.274   |
| 12 - 21      | O1  | 0.013141    | 1.617   |
| 22 - 29      | M1  | 0.141676    | 24.350  |
| 30 - 32      | P1  | 0.030605    | 2.921   |
| 33 - 34      | S1  | 1.827976    | 1.488   |
| 35 - 40      | K1  | 0.009553    | 0.893   |
| 41 - 45      | J1  | 0.161841    | 19.348  |
| 46 - 52      | OO1 | 0.220338    | 152.922 |

ERREUR Q.M. D 73.275590

| ONDES SEMIDIURNES |     | FACT. AMPL. | PHASES |
|-------------------|-----|-------------|--------|
| 1 - 5             | 2N2 | 1.135689    | -9.287 |
| 6 - 9             | N2  | 0.804772    | 19.622 |
| 10 - 14           | M2  | 0.809356    | 11.862 |
| 15 - 19           | L2  | 1.213078    | 67.290 |
| 20 - 21           | S2  | 0.792066    | 3.555  |
| 22 - 27           | K2  | 0.768929    | 1.531  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT. AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|-------------|--------|
| 1 - 5        | 2N2 | 0.154776    | 6.874  |
| 6 - 9        | N2  | 0.030909    | 2.735  |
| 10 - 14      | M2  | 0.005926    | 0.518  |
| 15 - 19      | L2  | 0.217553    | 8.472  |
| 20 - 21      | S2  | 0.012320    | 1.102  |
| 22 - 27      | K2  | 0.038568    | 3.739  |

ERREUR Q.M. SD 58.978820

CORRECTIONS APPLIQUEES

AZIMUT NUL PARALLAXE OH17



STATION DOORBES COMPOSANTE EW BELGIQUE

50.06N 4.36E H 233 P 46  
 INSTITUT ROYAL METEOROLOGIQUE DE BELGIQUE

PENDULE HORIZONTAL VM 28

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| VM | 28 | 62 | 12 | 6  | 63 | 1  | 31 | 66 | 7  | 3  | 67 | 8  | 27 |
| VM | 28 | 63 | 4  | 18 | 63 | 8  | 10 | 67 | 9  | 6  | 67 | 10 | 26 |
| VM | 28 | 63 | 8  | 16 | 63 | 9  | 23 | 67 | 10 | 30 | 67 | 12 | 3  |
| VM | 28 | 63 | 9  | 27 | 63 | 11 | 8  | 67 | 12 | 7  | 68 | 1  | 12 |
| VM | 28 | 64 | 1  | 8  | 64 | 3  | 22 | 68 | 1  | 16 | 68 | 3  | 30 |
| VM | 28 | 65 | 2  | 14 | 66 | 6  | 29 |    |    |    |    |    |    |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 1460

ONDES DIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |         |
|---------|-----|----------|---------|
| 1 - 11  | Q1  | 0.570091 | 4.596   |
| 12 - 21 | O1  | 0.674063 | 8.789   |
| 22 - 29 | M1  | 0.696279 | 6.105   |
| 30 - 32 | P1  | 0.729307 | 2.695   |
| 33 - 34 | S1  | 3.523928 | -72.008 |
| 35 - 40 | K1  | 0.759488 | 3.714   |
| 41 - 45 | J1  | 0.816735 | -5.193  |
| 46 - 52 | 001 | 0.431691 | 12.372  |

|              |     |            |        |
|--------------|-----|------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
| 1 - 11       | Q1  | 0.030995   | 5.569  |
| 12 - 21      | O1  | 0.005934   | 0.762  |
| 22 - 29      | M1  | 0.065008   | 7.827  |
| 30 - 32      | P1  | 0.013660   | 1.499  |
| 33 - 34      | S1  | 0.806299   | 3.830  |
| 35 - 40      | K1  | 0.004282   | 0.433  |
| 41 - 45      | J1  | 0.073312   | 6.415  |
| 46 - 52      | 001 | 0.101865   | 31.922 |

ERREUR Q.M. D 37.895001

ONDES SEMIDIURNES FACT.AMPL. PHASES

|         |     |          |        |
|---------|-----|----------|--------|
| 1 - 5   | 2N2 | 1.029900 | -3.930 |
| 6 - 9   | N2  | 0.823336 | 5.784  |
| 10 - 14 | M2  | 0.824628 | 5.097  |
| 15 - 19 | L2  | 0.774197 | 19.126 |
| 20 - 21 | S2  | 0.839251 | 0.143  |
| 22 - 27 | K2  | 0.815104 | -1.874 |

|              |     |            |        |
|--------------|-----|------------|--------|
| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
| 1 - 5        | 2N2 | 0.037596   | 2.047  |
| 6 - 9        | N2  | 0.007362   | 0.627  |
| 10 - 14      | M2  | 0.001398   | 0.119  |
| 15 - 19      | L2  | 0.054105   | 5.214  |
| 20 - 21      | S2  | 0.002922   | 0.235  |
| 22 - 27      | K2  | 0.009288   | 0.807  |

ERREUR Q.M. SD 16.380015

CORRECTIONS APPLIQUEES

AZIMUT -8.0.0. PARALLAXE - OH204



STATION DOURBES                      COMPOSANTE NS                      BELGIQUE  
 50.06N                      4.36E                      H 233                      P 46  
 INSTITUT ROYAL METEOROLOGIQUE DE BELGIQUE  
 PENDULE HORIZONTAL VM 7

|    |   |          |          |          |          |
|----|---|----------|----------|----------|----------|
| VM | 7 | 63 03 08 | 65 10 02 | 67 09 06 | 67 12 04 |
| VM | 7 | 65 11 12 | 66 01 22 | 67 12 06 | 68 01 13 |
| VM | 7 | 66 03 17 | 67 08 08 | 68 01 15 | 68 03 31 |
| VM | 7 | 67 08 10 | 67 08 28 |          |          |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 1734

| ONDES DIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|---------------|-----|------------|--------|
| 1 - 11        | Q1  | 0.998465   | 34.164 |
| 12 - 21       | O1  | 0.835325   | 6.779  |
| 22 - 29       | M1  | 0.457383   | 11.389 |
| 30 - 32       | P1  | 0.401495   | 10.567 |
| 33 - 34       | S1  | 18.872273  | 33.514 |
| 35 - 40       | K1  | 0.527782   | -0.989 |
| 41 - 45       | J1  | 0.402363   | -7.653 |
| 46 - 52       | OO1 | 0.619829   | 27.556 |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 11       | Q1  | 0.092989   | 4.021  |
| 12 - 21      | O1  | 0.017325   | 1.072  |
| 22 - 29      | M1  | 0.147709   | 30.418 |
| 30 - 32      | P1  | 0.039616   | 10.584 |
| 33 - 34      | S1  | 2.357730   | 80.289 |
| 35 - 40      | K1  | 0.012505   | 1.930  |
| 41 - 45      | J1  | 0.229119   | 60.956 |
| 46 - 52      | OO1 | 0.310711   | 34.843 |

ERREUR Q.M. D 27.202421

| ONDES SEMIDIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES  |
|-------------------|-----|------------|---------|
| 1 - 5             | 2N2 | 1.025151   | -1.758  |
| 6 - 9             | N2  | 0.536267   | -17.831 |
| 10 - 14           | M2  | 0.443313   | -8.830  |
| 15 - 19           | L2  | 0.303948   | 76.328  |
| 20 - 21           | S2  | 0.539213   | 2.548   |
| 22 - 27           | K2  | 0.544055   | -0.903  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 5        | 2N2 | 0.027659   | 1.496  |
| 6 - 9        | N2  | 0.005577   | 1.104  |
| 10 - 14      | M2  | 0.001078   | 0.311  |
| 15 - 19      | L2  | 0.039746   | 24.339 |
| 20 - 21      | S2  | 0.002224   | 0.446  |
| 22 - 27      | K2  | 0.007365   | 1.412  |

ERREUR Q.M. SD 10.609178

CORRECTIONS APPLIQUEES  
 AZIMUT - 7.83611 PARALLAXE OH066



STATION DOORBES                      COMPOSANTE NS                      BELGIQUE  
 50.06N                      4.36E                      H 233                      P 46

INSTITUT ROYAL METEOROLOGIQUE DE BELGIQUE  
 PENDULE HORIZONTAL VM 29

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| VM | 29 | 63 | 5  | 2  | 63 | 7  | 1  | 65 | 7  | 10 | 66 | 7  | 1  |
| VM | 29 | 63 | 8  | 22 | 63 | 10 | 11 | 66 | 7  | 13 | 67 | 7  | 24 |
| VM | 29 | 63 | 10 | 18 | 64 | 1  | 22 | 67 | 8  | 3  | 67 | 8  | 7  |
| VM | 29 | 64 | 2  | 1  | 64 | 3  | 26 | 67 | 8  | 11 | 67 | 8  | 27 |
| VM | 29 | 64 | 4  | 3  | 64 | 7  | 30 | 67 | 9  | 6  | 67 | 12 | 3  |
| VM | 29 | 64 | 8  | 10 | 65 | 2  | 4  | 67 | 12 | 7  | 68 | 1  | 12 |
| VM | 29 | 65 | 4  | 14 | 65 | 6  | 29 | 68 | 1  | 16 | 68 | 3  | 30 |

NOMBRE TOTAL DE JOURS 1610

| ONDES DIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES  |
|---------------|-----|------------|---------|
| 1 - 11        | Q1  | 1.047306   | 23.604  |
| 12 - 21       | O1  | 0.955873   | 7.375   |
| 22 - 29       | M1  | 0.892964   | 7.720   |
| 30 - 32       | P1  | 0.524392   | 20.427  |
| 33 - 34       | S1  | 2.927242   | -37.330 |
| 35 - 40       | K1  | 0.710539   | 4.456   |
| 41 - 45       | J1  | 0.752056   | -14.375 |
| 46 - 52       | OO1 | 0.844551   | 7.148   |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 11       | Q1  | 0.147249   | 5.536  |
| 12 - 21      | O1  | 0.027748   | 1.252  |
| 22 - 29      | M1  | 0.236394   | 12.225 |
| 30 - 32      | P1  | 0.063979   | 9.597  |
| 33 - 34      | S1  | 3.771363   | 18.422 |
| 35 - 40      | K1  | 0.020120   | 1.643  |
| 41 - 45      | J1  | 0.360193   | 26.257 |
| 46 - 52      | OO1 | 0.487854   | 28.206 |

ERREUR Q.M. D 42.382393

| ONDES SEMIDIURNES |     | FACT.AMPL. | PHASES  |
|-------------------|-----|------------|---------|
| 1 - 5             | 2N2 | 1.083738   | -5.186  |
| 6 - 9             | N2  | 0.502647   | -19.539 |
| 10 - 14           | M2  | 0.446556   | -7.550  |
| 15 - 19           | L2  | 0.326824   | 63.806  |
| 20 - 21           | S2  | 0.527719   | -6.067  |
| 22 - 27           | K2  | 0.558660   | -3.744  |

| ERREURS Q.M. |     | FACT.AMPL. | PHASES |
|--------------|-----|------------|--------|
| 1 - 5        | 2N2 | 0.037752   | 1.814  |
| 6 - 9        | N2  | 0.007707   | 1.722  |
| 10 - 14      | M2  | 0.001500   | 0.424  |
| 15 - 19      | L2  | 0.054429   | 28.745 |
| 20 - 21      | S2  | 0.003081   | 0.635  |
| 22 - 27      | K2  | 0.010050   | 1.817  |

ERREUR Q.M. SD 14.178985

CORRECTIONS APPLIQUEES  
 AZIMUT -8.51361 PARALLAXE OH416

