

**La construction et l'expérimentation
d'un séismographe vertical,
à courte période, au ressort magnétique**

E. BERCEI - I. CUREA (*)

Ricevuto il 31 Ottobre 1970

RÉSUMÉ. — On décrit la construction et l'expérimentation d'un séismographe vertical, dans lequel l'arc hélicoïdal a été substitué par un arc magnétique.

On y présente les principales données de l'appareil.

SUMMARY. — The construction and the experiments performed with a vertical seismograph, in which the helicoïdal arc has been substituted by a magnetic arc, are here described.

Below the given principles of this operation are listed.

RIASSUNTO. — Nel lavoro sono descritti la costruzione e gli esperimenti portati a termine con un sismografo verticale, nel quale l'arco eli-coïdale è stato sostituito da un arco magnetico.

Vengono illustrate le principali caratteristiche di funzionamento di questo apparecchio.

Les stations séismiques modernes sont pourvues d'un appareillage qui satisfait une vaste gamme d'exigences, selon les besoins de recherche. De ces exigences, il y en a une qui impose l'étude des tremblements locaux, bien enregistrés par l'appareillage à période courte et à une grande amplification dans la partie de la caractéristique de fréquence de 1 Hz.

Par la construction réalisée nous avons suivi le but d'obtenir un outillage qui complète l'appareillage dont on dispose, aussi l'expérimentation d'une suspension qui puisse éviter un des plus indésirables effets, aux séismographes verticaux, notamment l'effet de température.

(*) Station Séismologique. Université de Timișoara - Roumanie.

Le récepteur sismique moderne, à enregistrement photo-galvanométrique est un système dynamique à deux degrés de liberté, représentés par un pendule et un galvanomètre, électriquement couplés (Fig. 1).

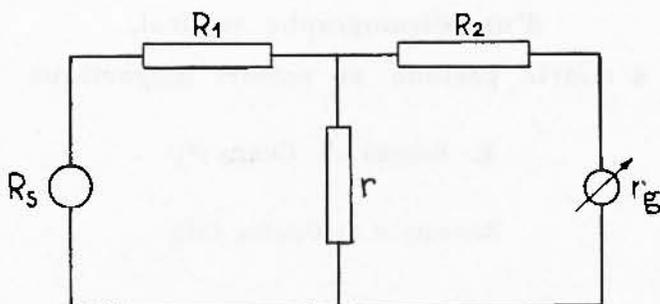


Fig. 1

En général, le mouvement forcé d'un pareil système est décrit par le système d'équations différentielles:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} + 2\varepsilon_1\dot{\theta} + n^2_1\theta &= -\frac{\ddot{X}}{l_1} + k\frac{K_2}{K_1}\dot{\varphi} \\ \ddot{\varphi} + 2\varepsilon_2\dot{\varphi} + n^2_2\varphi &= k\theta \end{aligned} \quad [1]$$

ayant les notations habituelles, la première équation se réfère au pendule, la seconde au galvanomètre. Les termes qui apparaissent dans le membre droit indiquent une liaison d'amortissement entre le pendule et le galvanomètre. En introduisant les notations:

$$k\frac{K_2}{K_1} = 2\varepsilon_1\sigma_1 \quad \text{et} \quad k = 2\varepsilon_2\sigma_2$$

on obtient

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} + 2\varepsilon_1\dot{\theta} + n^2_1\theta &= -\frac{\ddot{X}}{l_1} + 2\varepsilon_1\sigma_1\dot{\varphi} \\ \ddot{\varphi} + 2\varepsilon_2\dot{\varphi} + n^2_2\varphi &= 2\varepsilon_2\sigma_2\theta. \end{aligned} \quad [2]$$

Le coefficient de couplage $\sigma^2 = \sigma_1\sigma_2$ est celui qui détermine dans une grande mesure la forme de la caractéristique de fréquence du sismographe et de son emploi, en tant que déplacé-mètre, vitesse-mètre ou accélére-mètre.

À la sensibilité maximale, quand on lie directement le galvanomètre au pendule, en introduisant les constantes d'amortissement avec leurs notations courantes, le coefficient de couplage a l'expression:

$$\sigma^2 = \frac{D_{12}}{D_1} .$$

Lors d'une absence de mouvement du sol ($X = 0$), le système se mouve selon les équations différentielles:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} + 2\varepsilon_1\dot{\theta} + n^2_1\theta - 2\varepsilon_1\sigma_1\dot{\varphi} &= 0 \\ \ddot{\varphi} + 2\varepsilon_2\dot{\varphi} + n^2_2\varphi - 2\varepsilon_2\sigma_2\dot{\theta} &= 0 \end{aligned} \tag{3}$$

qui en fonction de leur équation caractéristique et donc, en fonction des coefficients, peut avoir trois types de solutions.

Le comportement du système pendule-galvanomètre est donc établi par les fréquences partielles n_1, n_2 , par les constantes d'amortissement partielles $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ et par le coefficient de liaison σ^2 ou par leurs équivalents T_1, T_2, D_1, D_2 et σ^2 .

En notant avec $S(\omega)$ et $\varphi(\omega)$ les spectres d'amplitude et de phase du mouvement du sol, on sait que l'onde séismique peut être mise sous la forme:

$$X(t) = \int_0^\infty S(\omega) \sin(\omega t + \varphi) d\omega . \tag{4}$$

Tout en intégrant le système d'équations différentielles [2] on obtient pour l'ordonnée de l'enregistrement y , l'expression:

$$y = \bar{V} \int_0^\infty S(\omega) \bar{U} \sin(\omega t + \varphi + \bar{\gamma}) d\omega \tag{5}$$

où \bar{V} est l'amplification normale, \bar{U} la caractéristique de fréquence et $\bar{\gamma}$ la caractéristique de phase. Elles sont données par:

$$\bar{V} = \frac{2A}{l_1} \left| \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \right| \sqrt{\frac{D_1 T_2}{D_2 T_1}} \sigma^2 \quad \bar{U} = \frac{2 D_2}{\sqrt{T^{-2} + a + bT^2 + cT^4 + dT^6}}$$

et

$$\text{tg } \bar{\gamma} = \frac{sT_\omega^4 - pT_\omega^2 + 1}{qT_\omega^3 - mT_\omega} \tag{6}$$

où T_ω est la période des oscillations du sol et a, b, c, d, m, p, q, s des données qui dépendent de celles utilisées jusqu'ici.

À la conditions que l'ordonnée de l'enregistrement soit proportionnelle au déplacement, à la vitesse ou à l'accélération du sol, le séismographe sera un déplace-mètre, un vitesse-mètre ou un accéléremètre.

Les conditions d'un déplace-mètre classique (vis à vis des périodes des oscillations du sol) sont: un pendule ayant une période plus grande que celles des oscillations du sol, faiblement amortisé, légèrement couplé avec un galvanomètre à une période plus petite que celles des oscillations du sol.

Les séismographes verticaux modernes utilisent, presque tous, des pendules construits selon le schéma de la Fig. 2 ou selon un équi-

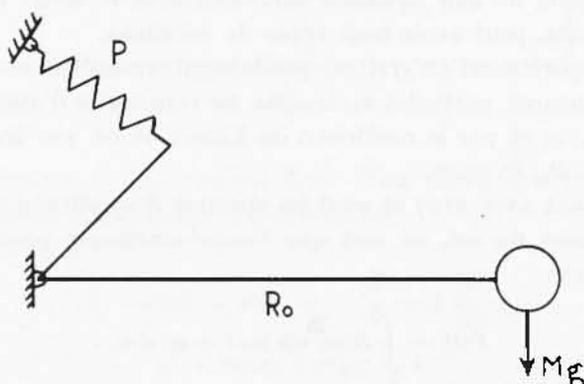


Fig. 2

valent. On y considère que le ressort P n'a pas de frottement aux liaisons. Pour de pareilles constructions l'un des points les plus faibles, c'est l'impossibilité de réaliser à présent un arc hélicoïdal qui n'ait pas de variations considérables de la rigidité selon la température. Il en résulte une instabilité du pendule par rapport à sa position-zero et implicite une déformation de sa propre période et toute une série d'autres difficultés qui mènent jusqu'à une blocation de l'appareil. Cet effet de température peut être mis en évidence écrivant la déviation angulaire qui sépare deux positions d'équilibre, correspondant à deux températures différentes, dont l'une peut être considérée comme référence. On obtient:

$$\theta = \frac{\Delta C_p}{C_p} \frac{g}{l_1} \frac{1}{n^2_1} \quad [7]$$

où C_p est la rigidité du ressort P .

Le déplacement du centre d'oscillation du pendule qui correspond à la deviation angulaire θ sera:

$$x_c = \theta \cdot l = \frac{\Delta C_p}{C_p} g T^2_1 . \quad [8]$$

D'habitude on utilise comme ressorts des arcs helicoidaux dont les rigidités sont calculées d'après la formule:

$$C_p = \frac{G_c d^4}{64 N R^3} \quad [9]$$

où G_c est le module d'élasticité transversale du matériel, d le diamètre du fil à bobiner, N le nombre des spires et R le rayon de la spire. Dans le cas d'un acier ordinaire $G_c = 8 \cdot 10^3 \text{kg/mm}^2$ et $\Delta G_c/1^\circ\text{C} = 4 \text{kg/mm}^2$. En remplaçant dans [8] on obtient un déplacement du centre d'oscillation de:

$$x_c \cong \frac{1}{80} T^2_1 \text{ cm} . \quad [10]$$

La formule [8] montre que l'effet de température monte en même temps que le carré de la période propre du pendule.

Une amélioration de cet defet on en obtient en utilisant des alliages comme l'élinvar dans la construction de l'arc hélicoïdal, des alliages qui ont de petites variations de leurs propriétés métalliques par rapport à la temperature.

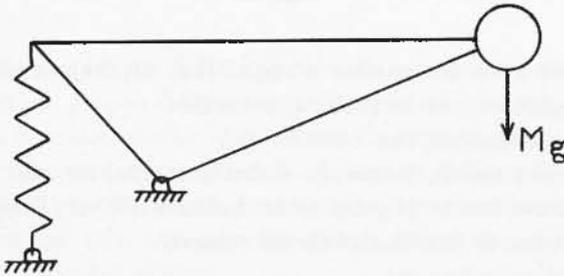


Fig. 3

La solution que nous avons choisie dans cette construction a été le remplacement de l'arc hélicoïdal par un ressort magnétique de compression, en réalisant ainsi un schéma mécanique équivalent à celui de la Fig. 3.

Selon la température le ressort du pendule, confectionné d'aimants permanents a des variations de la rigidité pratiquement nulles, grâce à la température Curie, élevée, du matériel dont on fait les aimants.

Le séismographe a les parties suivantes (Fig. 4 et 5):

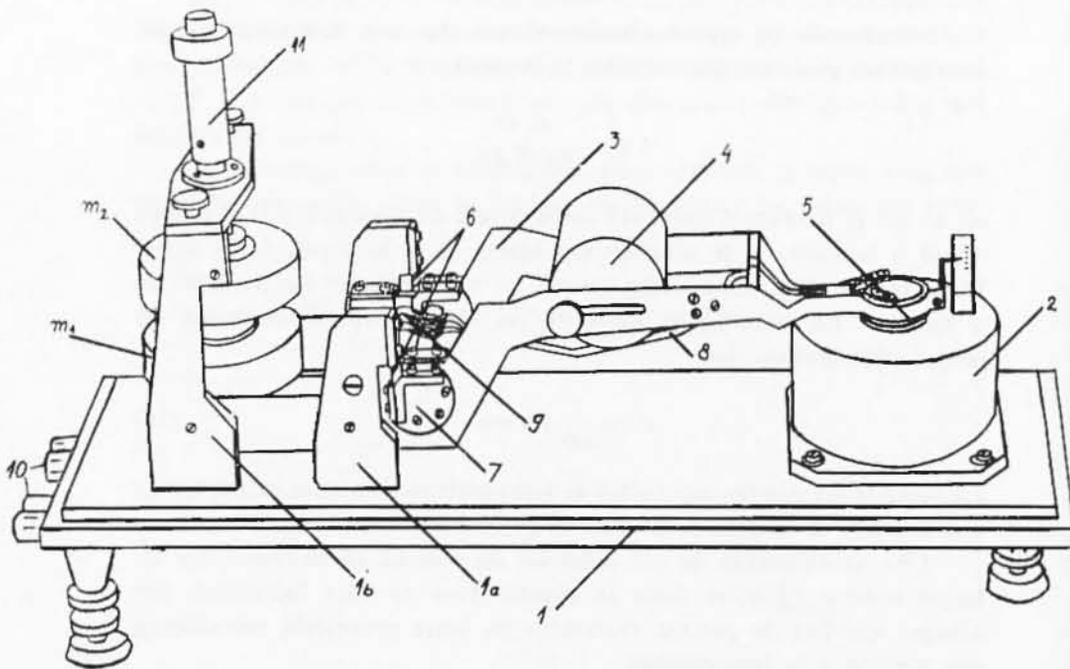


Fig. 4

- le bâti (1) avec les parties d'appui (1a) et (1b), monté sur trois pieds réglables, sur lesquels on a monté:
- l'aimant permanent des bobines (2),
- l'équipement mobil, formé du cadre principal (3) sur lequel on a monté la masse inerte (4), les deux bobines (5) et l'aimant disque m_1 qui constitue la moitié mobile du ressort,
- l'aimant disque fixe m_2 .

La suspension de la partie mobile est réalisée par des lames d'acier d'une grosseur de 0,1 mm (6), montées en croix. Le changement des lamelles, on le fait facilement grâce au dispositif spécial monté sur la partie mobile (7).

La conduite électrique qui part des deux bobines passe par un tuyau rigidement lié à l'équipement mobile (8) et est connectée au

bâti par quatre fils d'argent extrêmement fins (9), debouchant vers quatre bornes (10).

L'aimant-disque m_2 peut être déplacé à l'aide d'un vis de réglage dont l'extrémité sort de la boîte. À l'aide de ce vis on peut augmenter ou diminuer la distance entre les aimants m_1 et m_2 diminuant ou augmentant leur force de répulsion. On peut assurer ainsi un très fin état d'équilibre de l'équipement mobile, tout en réglant le point zero.

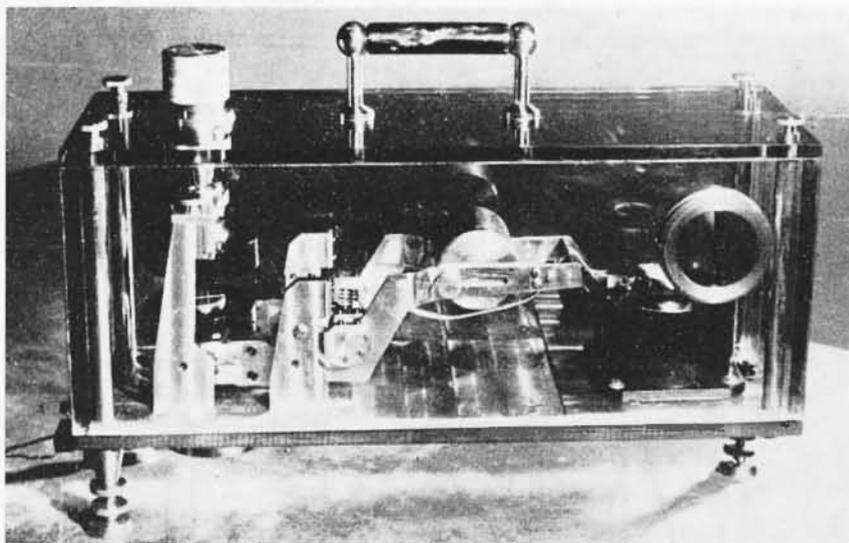


Fig. 5

La partie mécanique a été calculée d'une façon à assurer au pendule une période propre de 1^s, en choisissant les bras des leviers conformément à la masse choisie et à la force du ressort, dans son meilleur domaine de fonctionnement. Pour le réglage et l'équilibrage finale on a gardé des possibilités de modification des positions de la masse inerte, également aux aimants du ressort, de sorte qu'on a abouti finalement au résultat désiré.

Le bâti et les leviers de la construction ont été faits de laiton, en évitant dans les limites du possible les parties en fer qui pourraient influencer le bon fonctionnement du ressort.

L'aimant permanent des bobines a été confectionné de l'aimant d'un diffuseur permanent dynamique pour son graves qui assure après la magnétisation dans l'entrefer un champ de 5.000 Gauss.

Les bobines choisies sont celles du type qu'on utilise pour les séismographes VEGIK, de construction soviétique.

La description que nous venons de faire montre qu'en dehors de l'emploi d'un autre type de ressort, on a généralement respecté le schéma d'un séismographe vertical électrodynamique classique, ayant la possibilité d'en prendre entièrement la théorie.

En établissant des constantes fondamentales et de celles du travail nous avons choisi un procédé par lequel nous avons déterminé premièrement quelques constantes électromagnétiques et puis la longueur réduite et le moment d'inertie. Le procédé est rapide et suffisamment précis.

À une balance de précision on a pesé l'équipement mobile, en obtenant $M = 2.645\text{g}$. Puis on a réglé la période $T_1 = 1^s$ et on a fixé le centre de gravitation dans le même plan horizontal que l'axe de oscillation, formée par la croix des lamelles de suspension.

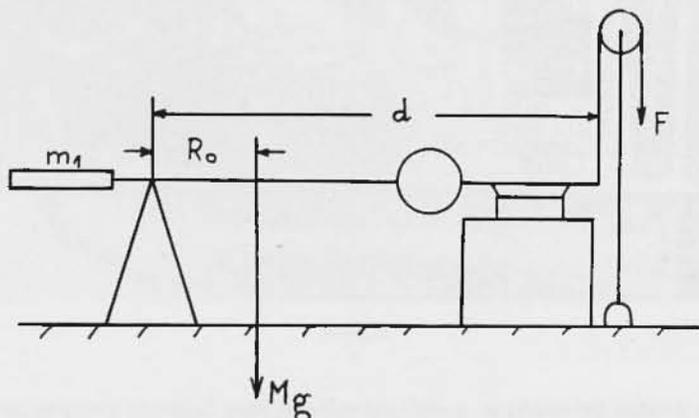


Fig. 6

La détermination de la distance R_0 , à partir du centre de gravitation à l'axe de rotation, a été faite selon le schéma de la Fig. 6. Après la démontage de la partie fixe du ressort magnétique le pendule a la tendance de tomber vers le côté de la masse inerte. Il a été remis dans la position d'équilibre par la force \vec{F} . En écrivant l'égalité des moments on obtient:

$$R_0 = \frac{\vec{F} d}{M}$$

Pratiquement $d = 260\text{ mm}$, $\vec{F} = 124\text{ gf}$, $R_0 = 12,2\text{ mm}$.

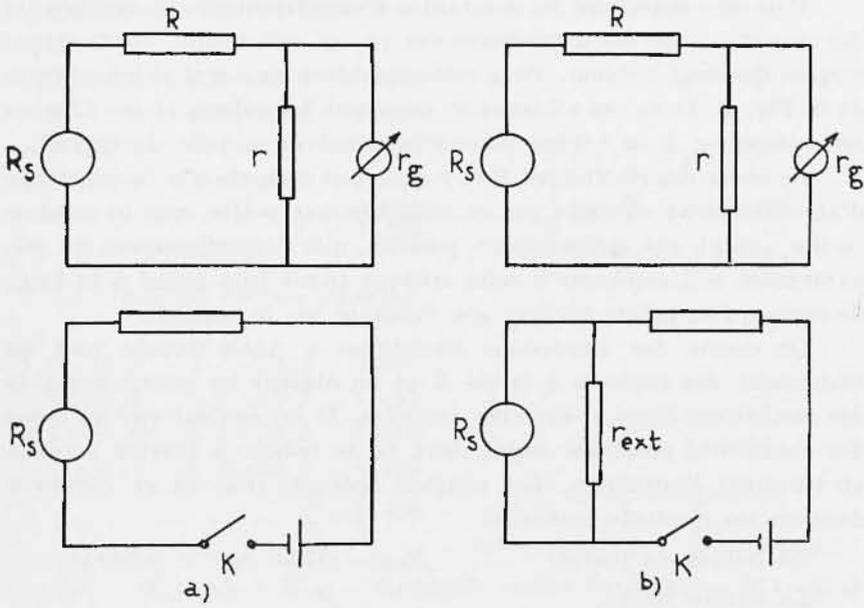


Fig. 7

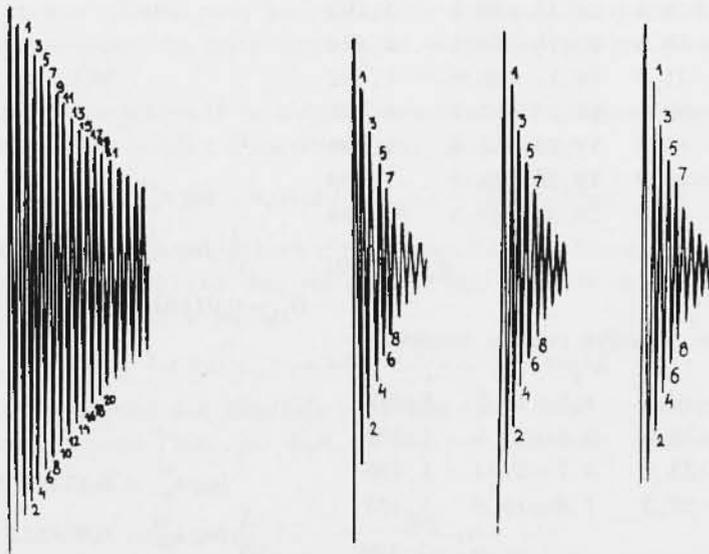


Fig. 8

Puis on a déterminé les constantes d'amortissement, les coefficients des amortissements électromagnétiques et les constantes électrodynamiques des deux bobines. Pour cette opération on a réalisé les schémas de la Fig. 7. Dans ces schémas R_r reçoivent les indices 11 ou 12 selon nos références à la bobine d'amortissement ou à celle de travail.

Le choix des résistances R et r on le fait de sorte que la constante d'amortissement obtenue par ce montage soit petite, que le pendule oscille autant que suffisamment possible, que l'amortissement du galvanomètre soit supérieur à celui critique (mais trop grand à la fois), de sorte qu'on puisse négliger son influence sur le pendule.

On donne des impulsions électriques à durée courte tout en établissant des contacts à la clé K et on obtient les enregistrements des oscillations libres et de celles amorties. Il est évident que les noms des constantes obtenues seront ceux de la bobine à travers laquelle on transmet l'impulsion. Les courbes obtenues (Fig. 8) et mesurées donnent les résultats suivants:

La bobine de travail $R_{s12} = 37 \Omega$ $r_{ext} = 1.000 \Omega$

La courbe libre:

y	y	
12 = 61,2	11,12 = 43,6	1,404
2,3 = 59,2	12,13 = 42,3	1,400
3,4 = 57,1	13,14 = 40,8	1,399
4,5 = 55,3	14,15 = 39,5	1,400
5,6 = 53,5	15,16 = 38,1	1,404
6,7 = 51,6	16,17 = 36,8	1,402
7,8 = 50,0	17,18 = 35,7	1,401
8,9 = 48,4	18,19 = 34,6	1,399
9,10 = 46,9	19,20 = 33,5	1,400
10,11 = 45,2	20,21 = 32,3	1,399

$$v_m^{10} = 1,401$$

$$\log v_m^{10} = 0,14644$$

$$\frac{1}{10} \log v_m^{10} = 0,014644$$

$$D_{12}^1 = 0,014644 \cdot 0,733 = 0,010734$$

La première courbe amortie:

y	y	
1,2 = 43,7	4,5 = 29,3	1,491
2,3 = 38,3	5,6 = 25,5	1,502
3,4 = 33,5	6,7 = 22,4	1,496
4,5 = 29,3	7,8 = 19,6	1,495

$$v_m^{31} = 1,496$$

$$\log v_m^{31} = 0,17493$$

$$\frac{1}{3} \log v_m^{31} = 0,058311$$

$$D^{31} = 0,042718$$

La seconde courbe amortie:

y	y	
1,2=44,8	4,5=30,0	1,493
2,3=39,3	5,6=26,3	1,494
3,4=34,3	6,7=23,0	1,491
4,5=30,0	7,8=20,1	1,492
	v_m^{32}	=1,493

$$\log v_m^{32} = 0,17406$$

$$\frac{1}{3} \log v_m^{32} = 0,058021$$

$$D^{32} = 0,042511$$

La troisième courbe amortie:

y	y	
1,2=46,9	4,5=31,4	1,494
2,3=41,0	5,6=27,5	1,491
3,4=36,0	6,7=24,0	1,500
4,5=31,4	7,8=21,0	1,495
	v_m^{33}	=1,495

$$\log v_m^{33} = 0,17464$$

$$\frac{1}{3} \log v_m^{33} = 0,058214$$

$$D^{33} = 0,042650, \quad \bar{D} = 0,042627$$

$$a = (\bar{D} - D_{12}^1) (r_{ext} - R_{s12}) = (0,042627 - 0,010734) (1.000 + 37) = 33 \Omega$$

Ici le passage de v à D on l'a fait à l'aide de la formule:

$$D = \frac{0,733 \log v}{\sqrt{1 + (0,73310 gv)^2}}$$

qui se trouve tabulée pour les valeurs de v plus grandes que 0,05 ou par multiplication du $\log v$ avec 0,733 pour des valeurs de v plus petites que 0,05.

Tout en appliquant le même procédé et les mêmes calculs, on obtient pour la bobine d'amortissement, les valeurs:

$$D_{11}^1 = 0,0101835, \quad \bar{D} = 0,044620, \quad a_{11} = 36 \Omega \quad \text{avec} \quad R_{s11} = 40 \Omega$$

Dans la Fig. 7, en dehors des valeurs des résistances du galvanomètre $r_g = 54,36 \Omega$ et des résistances des bobines de travail et d'amortissement, on a choisi:

$$R = 4,4 k \Omega, \quad r = 160 \Omega, \quad r_{ext} = 1.000 \Omega.$$

La vérification des résultats peut être faite, tout en calculant le frottement contre l'air, qui doit en résulter petit. On peut utiliser la formule:

$$D_{10} = D_{12}^1 - \frac{a_{11}}{R_{s11} + R - \frac{r \cdot r_g}{r + r_p}} \quad [11]$$

En remplaçant on obtient:

$$D_{10} = 0,010734 - \frac{36}{40 \div 4.400 + \frac{160 \cdot 54,36}{160 + 54,36}} = 0,002684 .$$

Avec la formule:

$$D_{10} = D_{11}^1 - \frac{a_{12}}{R_{e12} + R + \frac{r \cdot r_g}{r + r_g}} \quad [12]$$

on déduit:

$$D_{10} = 0,0101835 - \frac{33}{37 \div 4.400 + \frac{160 \cdot 54,36}{160 + 54,36}} = 0,002803 .$$

Les résultats D_{10} du frottement, contre l'air, obtenus par les deux voies, donnent de très petites valeurs et très rapprochées aussi, fait qui donne une nouvelle vérification de la correctitude des résultats trouvés jusqu'ici.

On a passé ensuite à la détermination du moment d'inertie K_1 et de celui de la longueur réduite l_1 .

La constante électrodynamique d'une bobine peut être définie par la relation:

$$G = N \cdot H \cdot a \cdot l \quad [13]$$

où N représente le nombre des spires, H l'intensité du champ magnétique, l la distance de la bobine par rapport à l'axe de rotation.

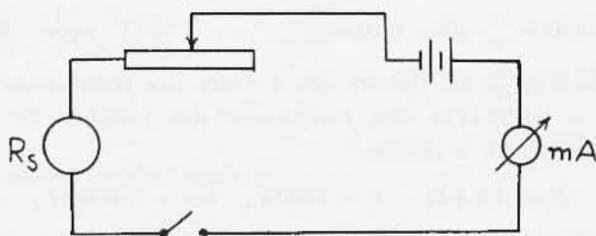


Fig. 9

Analisons maintenant le schéma de la Fig. 9. Chargeant le levier de la masse inerte par une masse m connue, à une distance connue r , par rapport à l'axe d'oscillation, on pourra ramener le pendule à sa

position initiale, en faisant passer un courant d'une certaine valeur par une des bobines. Le moment créé par ce courant I sera :

$$M_I = - G \cdot I .$$

La seconde bobine on l'a court-circuitée pour réduire la durée des oscillations du pendule. On met donc la masse m et on règle le courant au potentiomètre P jusqu'au moment où le pendule est ramené dans la position d'équilibre. De l'égalité des deux moments, il en résulte :

$$G_{ii} = \frac{m \cdot r \cdot g}{I_{ii}} \quad \text{et} \quad K_i = \frac{G_{ii}^2 T_i}{4 \pi a_{ii}} \quad (i = 1, 2) . \quad [14]$$

Ayant $m = 5\text{g}$, $r = 207\text{ mm}$, $I_{12} = 3,44\text{ mA}$, $I_{11} = 3,30\text{ mA}$, on obtient

$$\bar{G}_{12} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 0,207 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{3,44 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 2,95 \frac{\text{Wb}}{\text{rad}} .$$

$$G_{11} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 0,207 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ ms}^2}{3,30 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 2,95 \frac{\text{Wb}}{\text{rad}} .$$

$$K_1 = \frac{G_{12}^2 \cdot T_1}{4 \pi a_{12}} = \frac{8,7025}{4 \cdot 3,14 \cdot 33} = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ kgm}^2$$

et

$$K_1 = \frac{G_{11}^2 \cdot T_1}{4 \pi a_{11}} = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ kgm}^2 .$$

La longueur réduite est tout de suite déterminée, car on sait que $l_1 = \frac{K}{M \cdot R_0}$ où $R_0 = 12,2\text{ mm}$. En remplaçant ici les valeurs obtenues on a :

$$l_1 = \frac{2,1 \cdot 10^{-2} \text{ kgm}^2}{2,645 \text{ kg} \cdot 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 0,65 \text{ m} .$$

Le séismographe fonctionne couplé à un galvanomètre GB-III-BS-2,5 dont les constantes ont été déterminées selon la méthode ordinaire. Elles sont :

$$T_2 = 0^s, 4 , \quad r_g = 54,36 \Omega , \quad r_{cr} = 420 \Omega , \quad C_t = 3,65 \cdot 10^{-8} \text{ A mm/m}$$

$$K_2 = 1,151 \cdot 10^{-9} \text{ kgm}^2 , \quad A = 1 \text{ m} .$$

On se propose d'en réaliser le montage qui travaille avec l'amplification maximale ($r = \infty$).

Les périodes $T_1 = 1^s$ et $T_2 = 0^s,4$ étant données, on se propose de réaliser les amortissements partiels $D_1 = 0,5$ et $D_2 = 2$ dans le montage de la Fig. 10. Supposant qu'on veut réaliser l'amortissement du galvanomètre $D_2 = 2$, la somme des résistances du circuit du galvanomètre ΣR_c^g sera:

$$\Sigma R_c^g = \frac{r_{cr}}{D_2}.$$

D'ici

$$\Sigma R_c^g = \frac{420}{2} = 210 \Omega.$$

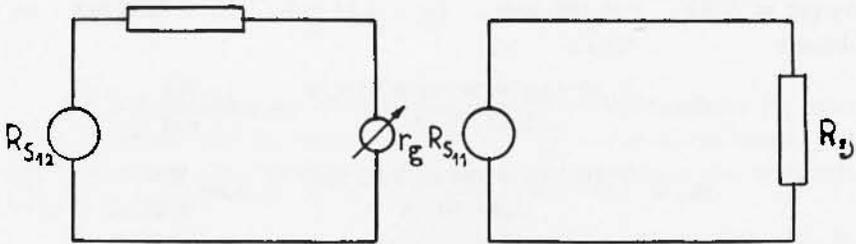


Fig. 10

La résistance R de la Fig. 10 est tout de suite obtenue

$$R = \Sigma R_c^g - R_{S_{12}} - r_g = 118,64 = 119.$$

L'amortissement partiel D_{12} , dû shuntage de la bobine de travail aux résistances de son circuit, sera donné par:

$$D_{12} = \frac{a_{12}}{\Sigma R_c^g}. \quad \text{D'ici} \quad D_{12} = \frac{33}{210} = 0,15720.$$

Mais comme l'amortissement du pendule, D_1 se compose de l'amortissement donné par le frottement contre l'air et par les amortissements électromagnétiques obtenus par shuntage des deux bobines, c'est à dire

$$D_{11} = D_{10} + D_{11} + D_{12}$$

il en résulte que l'amortissement électromagnétique partiel dû à la bobine d'amortissement

$$D_1 = D_1 - D_{10} - D_{12}.$$

En y remplaçant les valeurs qu'on a, on obtient:

$$D_{11} = 0,5 - 0,15995 = 0,34005 \text{ (on a pris ici } D_{10} \text{-moyen).}$$

La valeur de D_{11} obtenue, nous permet le calcul de la résistance R_c dont on doit shunter la bobine d'amortissement:

$$\Sigma R_c^a = \frac{a_{11}}{D_{11}}.$$

En remplaçant:

$$\Sigma R_c^a = \frac{36}{0,34005} = 106 \Omega .$$

Dans les conditions d'amplification maximale, le coefficient de liaison σ^2 est calculé par la relation:

$$\sigma^2 = \frac{D_{12}}{D_1} .$$

On obtient:

$$\sigma^2 = \frac{0,15720}{0,5} = 0,314 .$$

Passons maintenant au calcul de l'amplification normale de l'appareil V . Cette donnée est offerte par la relation:

$$\bar{V} = \frac{2A}{t_1} \left| \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \right| \sqrt{\frac{D_1 T_2}{D_2 T_1}} \sigma^2 \quad [15]$$

où on connaît toutes les données. On obtient:

$$\bar{V} = \frac{2}{0,65} \left| \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{-2}}{1,151 \cdot 10^{-3}}} \right| \sqrt{\frac{0,4 \cdot 0,5}{2}} 0,314 = 2,326 .$$

La courbe d'amplification ou la caractéristique de fréquence des amplitudes, on l'obtient par le graphique de la fonction $V(T_\omega)$ où

$$V(T_\omega) = \bar{V} \cdot \bar{U}(T_\omega) \quad \text{et} \quad \bar{U} = \frac{\frac{2 D_2}{T_2}}{\sqrt{T_\omega^{-2} + a + bT_\omega^2 + cT_\omega^4 + dT_\omega^6}} \quad [16]$$

\bar{U} étant la caractéristique de fréquence. Les coefficients des formules [16] sont donnés par le groupe de formules:

$$a = m^2 - 2p, \quad b = p^2 - 2mq + 2s, \quad c = q^2 - 2ps, \quad d = s^2$$

$$m = 2 \left(\frac{D_1}{T_1} + \frac{D_2}{T_2} \right), \quad p = \frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2} + \frac{4D_1 D_2}{T_1 T_2} (1 - \sigma^2) \quad [17]$$

$$q = 2 \left(\frac{D_1}{T_1 T_2^2} + \frac{D_2}{T_2 T_1^2} \right), \quad s = \frac{1}{T_1 T_2},$$

et T_ω est la période du sol.

En ordre, on obtient:

$$m = 2 \left(0,5 + \frac{2}{0,4} \right) = 11, \quad p = 1 + \frac{1}{0,4^2} + \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 2}{0,4} (1 - 0,314) = 14,11$$

$$q = 2 \left(\frac{0,5}{0,4^2} + \frac{2}{0,4} \right) = 16,25, \quad s = \frac{1}{0,4^2} = 6,25$$

$$a = 92,64, \quad b = -143,93, \quad c = 86,81, \quad d = 39,06.$$

En prenant pour T_ω la série des valeurs:

$$T_\omega: 0,1 \quad 0,2 \quad 0,3 \quad 0,4 \quad 0,5 \quad 0,6 \quad 0,7 \quad 0,8 \quad 0,9 \quad 1,0 \quad 1,5 \quad 2,0$$

on obtient les valeurs correspondantes pour \bar{U} et $V(T_\omega)$. Celles-ci sont

$$\bar{U}: 0,725 \quad 0,945 \quad 1,046 \quad 1,132 \quad 1,215 \quad 1,330 \quad 1,412 \quad 1,450 \quad 1,348 \quad 1,150$$

$$0,391 \quad 0,167.$$

$$V(T_\omega): 1.667 \quad 2.174 \quad 2.405 \quad 2.604 \quad 2.795 \quad 3.059 \quad 3.248 \quad 3.335 \quad 3.100$$

$$2.645 \quad 900 \quad 384 \quad (\text{des valeurs arrondies}).$$

En représentant graphiquement les valeurs $V(T_\omega)$ sur un papier bilogaritmique on obtient la courbe de la Fig. 11.

Le maximum d'amplification est obtenu pour la valeur $T = 0,8$ et il est de $V_{\max} = 3.335$.

Ayant ces trait caractéristiques l'appareil fonctionne à partir de 08.05.1970.

Depuis lors jusqu'à présent on a enregistré quelques tremblements qui nous permettent d'affirmer que le séismographe travaille bien, en donnant des séismogrammes de bonne qualité. Ces affirmations peuvent être illustrées par le séismogramme du tremblement d'Albanie (19 Août 1970, $H = 02 \text{ h } 01 \text{ mn } 49\text{s}$, $A = 4^\circ,9$), Fig. 12, ayant des phases nettement marquées.

La qualité des enregistrement est affectée pourtant, surtout le jour, par le bruit de fond, assez grand, donné par l'activité industrielle de la ville de Timișoara et par la circulation. Les périodes du bruit de fond sont groupées autour de la valeur $T_p = 0,14$.

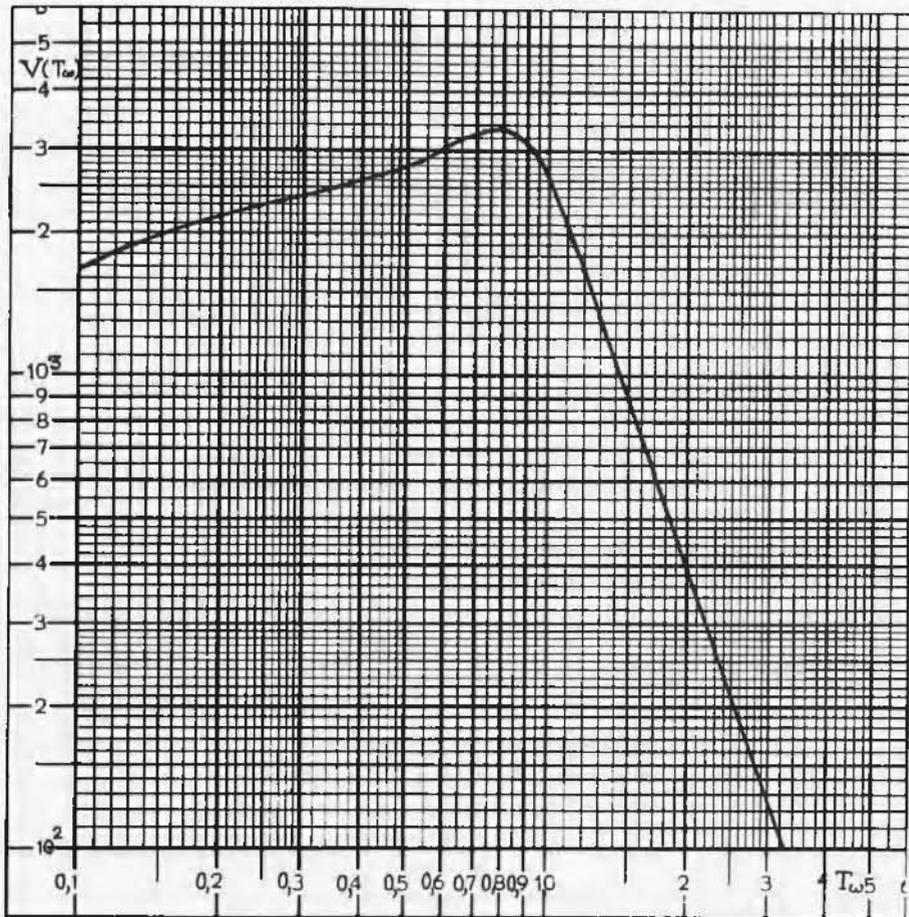


Fig. 11

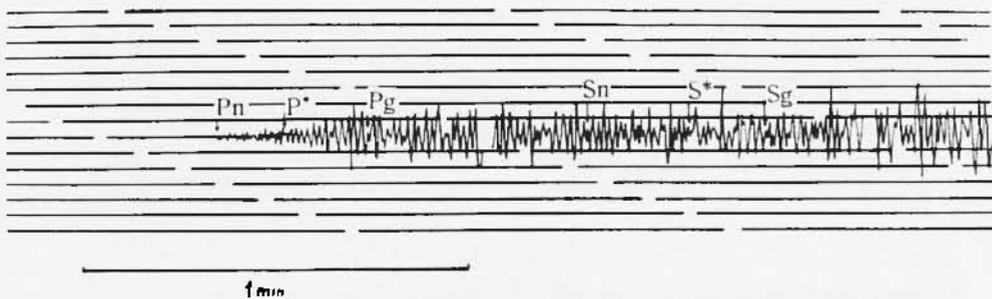


Fig. 12

Par cette raison, l'utilisation d'un galvanomètre à une sensibilité plus élevée que celle du galvanomètre employé, n'est pas nécessaire dans les conditions actuelles.

La stabilité de l'appareil et les résultats obtenus jusqu'à présent, nous montrent que l'emploi d'un ressort magnétique donnerait de bons résultats, aussi dans la construction des appareils à une plus grande période.

REFERENCES

- ARHANGHELSKI V. T., KIRNOS D. P., *Apparatura i metodika nabludenii na seismiceskikh stantiih SSSR*, Moskva, (1962).
- BERLAGE H. P., *Seismometer, Auswertung der Diagramme*, Berlin, (1930).
- CUREA I., *Die Horizontalseismometer der neuen Erdbebenwarte in Timișoara*, (1944).
- DUCLAUX S., *Seismometrie theorique*, Paris, (1959).
- GALITZIN B., *Seismometrie*, Berlin, (1914).
- SAWARENSKI E. F., KIRNOS D. P., *Elemente der Seismologie und Seismometrie*, Berlin, (1960).
- TOBIAS V., *The choice of galvanometers for electromagnetic Seismographs*, Praga, (1962).
- TOBIAS V., *Parametri priborov opornih seismiceskikh stantii SSSR*. (1966) Moskva, (1968).
-