

31. *Grands sismographes accélérométriques d'une tonne pour les composantes horizontales et verticales ; leur construction et leurs enregistrements.*

Par Kumizi IIDA,

Institut de Recherches sur les Tremblements de terre.

(Lu le 14 mars 1940.—Re u le 20 septembre 1940.)

1. Introduction.

Après un tremblement de terre relativement grand, il se produit généralement de petites secousses qu'on qualifie de "répliques." Elles sont considérées comme étant d'une nature semblable à celle du séisme principal. Si l'on observe quotidiennement ces petits séismes avec un micro-sismographe de fort agrandissement, on constate qu'il y en a quelques-uns qui sont sans rapport avec le séisme principal. Nous poursuivons avec le micro-sismographe l'observation de ces petites secousses, dans le but d'en connaître la nature, et nous avons publié une partie des résultats<sup>1), 2)</sup> de notre étude statistique des petites secousses observées pendant trois ans, de novembre 1936 à octobre 1939; mais nous n'avons pas discuté la nature des secousses inscrites. Il nous importe maintenant de nous en occuper et d'étudier les rapports entre un grand tremblement et les petits qui le suivent pour éclairer la nature de la secousse sismique.

Les petits sismographes<sup>3)</sup> accélérométriques anciens ne pouvaient pas, le plus souvent, enregistrer les petits tremblements à cause de leur sensibilité relativement limitée, et quand ils les enregistraient, les enregistrements étaient si obscurs que l'on ne pouvait les utiliser, même avec un fort agrandissement optique. Pour vaincre cette difficulté, il n'y avait d'autre moyen que d'agrandir la masse du pendule du sismographe et d'augmenter l'amplification géométrique, en un mot que de construire un appareil de forte sensibilité.

1) M. ISHIMOTO et K. IIDA, "Observations sur les Séismes enregistrés par le Microsismographe construit dernièrement (1)," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 17 (1939), 443~478.

2) K. IIDA, "dito (2)," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 17 (1939), 741~782.

3) M. ISHIMOTO, "Un sismographe accélérométrique et ses enregistrements," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 316~332.

M. ISHIMOTO, "Construction d'un sismographe accélérométrique pour la composante verticale," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 11 (1933), 717~723.

Le professeur M. Ishimoto<sup>4)</sup> avait établi qu'il y a un rapport constant entre l'accélération maxima des secousses et les échelles d'intensité dans les tremblements sensibles. Par la suite, lui et moi,<sup>5)</sup> nous avons essayé d'appliquer ce rapport à ceux qui ne sont pas sensibles et, prenant l'échelle de l'intensité  $o'$  et, dans cette échelle d'intensité, l'accélération maxima donnée par les secousses étant  $0.125 \sim 0.5$  gal (gal étant l'unité c.g.s. d'accélération), nous avons montré qu'il y a, entre le nombre des tremblements  $N$  et l'accélération maxima  $A$ , un rapport de  $A^m N = K$  (constant),  $m$  étant une constante dont la valeur est d'environ 1. Dans ce rapport, il était nécessaire de vérifier ce qui concernait les petites secousses, avec l'aide d'un sismographe accélérométrique. C'est ce que nous avons entrepris.

Dans le but ci-dessus mentionné nous avons construit deux sismographes accélérométriques à forte sensibilité pour les composantes horizontales et verticales pour obtenir des enregistrements mécaniques. Ces sismographes, pouvant enregistrer les secousses non-sensibles, celles de longue distance, les pulsations, sans parler, bien entendu, de celles dont les échelles d'intensité sont I (légère), II (médiocrement sensible), nous ont facilité l'étude de la nature des tremblements de terre, grâce à la multiplication des pulsations terrestres perceptibles.

Donnons d'abord les constantes des appareils construits et étudions la nature des tremblements par les enregistrements fournis par eux.

## 2. Construction des appareils.

Pour construire ces deux sismographes, nous avons, tout d'abord, pris le type du pendule représenté dans les Figs. 1 et 2, et fait en sorte que la période propre d'oscillation du pendule fût de 0.1 seconde, 1 mm de déplacement à l'extrémité de la plume correspondant à  $0.1 \sim 0.2$  gal d'accélération, en agrandissant par des leviers le mouvement du pendule; de façon que cette amplification fût 1,000 fois plus grande.

Si la période d'oscillation reste identique, une plus grande amplification géométrique demande une masse plus considérable et, pour le but que nous nous proposons, la masse du pendule devait peser une tonne. Nous avons obtenu ce poids en remplissant de poussières de fer le cylindre de fer formant la masse du pendule. Le pendule pour la composante horizontale prend la forme d'un cylindre de 52 cm de diamètre et de 152 cm de longueur, et celui pour la composante verticale de 80 cm de

4) M. ISHIMOTO, "Echelle d'intensité sismique et accélération maxima," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 10 (1932), 614~626.

5) M. ISHIMOTO et K. IIDA, *loc. cit.*, 1).

diamètre et de 121 cm de longueur.

Pour augmenter de mille fois environ, le déplacement de la plume par rapport à celui du centre de gravité du pendule, nous avons, en plus de la considération de la masse, adopté l'amplification de trois leviers. En ce qui concerne le pendule, les leviers et les autres détails, nous en avons déjà parlé ailleurs,<sup>6)</sup> mais nous donnons ici leurs points essentiels.

Représentons le déplacement du sol par  $x$ , l'angle de rotation des trois leviers respectivement par  $\theta_0, \theta_1, \theta_2$ , la distance entre le centre de gravité et l'axe de rotation du pendule par  $h$ , la masse du pendule par  $M$ , les moments d'inertie du pendule et du premier levier par  $I_0$  et celui des deux autres leviers par  $I_1, I_2$ , et le laps de temps par  $t$ , la force agissant sur le centre de gravité étant  $-M \frac{d^2x}{dt^2}$ , l'équation du mouvement de ce système oscillatoire, est la suivante, au cas où  $\theta_0, \theta_1$ , et  $\theta_2$  sont petits.

$$I_0 \frac{d^2\theta_0}{dt^2} + 2\varepsilon_0 \frac{d\theta_0}{dt} + k_0\theta_0 = -F_{01}L_0 - M \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (1)$$

$$I_1 \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + 2\varepsilon_1 \frac{d\theta_1}{dt} + k_1\theta_1 = F_{01}l_1 - F_{12}L_1, \quad (2)$$

$$I_2 \frac{d^2\theta_2}{dt^2} + 2\varepsilon_2 \frac{d\theta_2}{dt} + k_2\theta_2 = F_{12}l_2. \quad (3)$$

Ici  $L_1, l_1, L_2, l_2$ , représentant les bras supérieur et inférieur du second et du troisième levier ( $K_2$ );  $L_0$  la distance du bras inférieur du second levier ( $K_1$ ) à l'axe de rotation du pendule ( $M$ ) (Figs. 1 et 2.);  $F_{01}$  et  $F_{12}$  sont les forces réactionnaires qui agissent entre le premier levier ( $A$ ) et le second levier ( $K_1$ ), entre celui-ci et le troisième levier ( $K_2$ ),  $k_0\theta_0, k_1\theta_1$  etc. sont les forces restitutives du pendule et des leviers,  $\varepsilon_0, \varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  sont les résistances de ce système dans le mouvement, mais en pratique

$$k_1 = k_2 = 0, \quad \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.$$

Si le déplacement de la pointe de la plume, c'est-à-dire celui de l'extrémité du troisième levier est  $\xi$ , d'après les conditions géométriques, on obtient

$$L_0\theta_0 = l_1\theta_1, \quad (4)$$

$$L_1\theta_1 = l_2\theta_2, \quad (5)$$

6) M. ISHIMOTO, *loc. cit.*, 3).

$$\xi = L_2 \theta_2. \quad (6)$$

En introduisant les équations (4), (5), (6) dans les équations (1), (2),

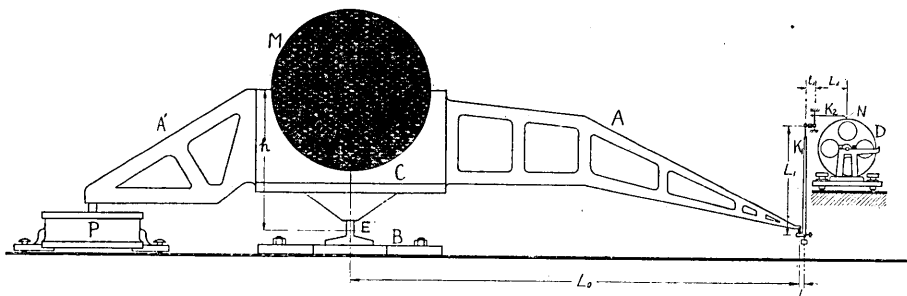


Fig. 1. Aspect général de l'appareil pour la composante horizontale représenté schématiquement.

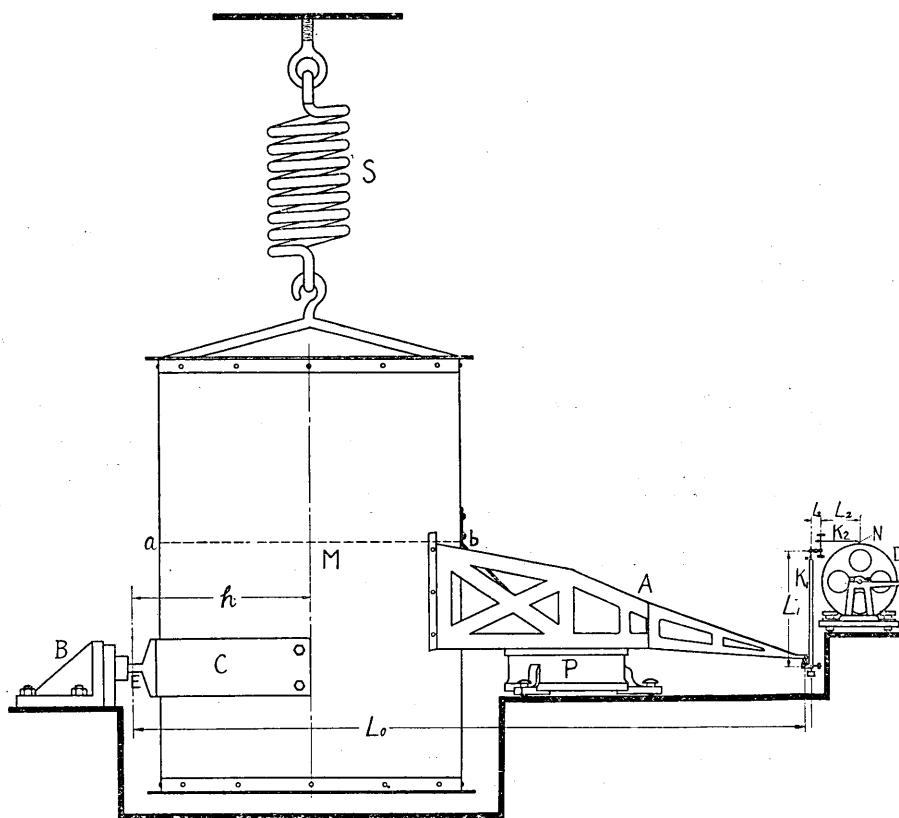


Fig. 2. Aspect général de l'appareil pour la composante verticale représenté schématiquement.

(3) et en éliminant  $F_{01}$ ,  $F_{12}$ , on obtient à la fin,

$$I \frac{d^2\theta_0}{dt^2} + 2\varepsilon_0 \frac{d\theta_0}{dt} + k\theta_0 = -Mh \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (7)$$

$$I = I_0 + I_1 \frac{L_0^2}{l_1^2} + I_2 \frac{L_0^2 L_1^2}{l_1^2 l_2^2}, \quad (8)$$

$$k = k_0 + k_1 \frac{L_0^2}{l_1^2} + k_2 \frac{L_0^2 L_1^2}{l_1^2 l_2^2}. \quad (9)$$

Si l'on résout l'équation (7) en supposant que le déplacement du sol,  $x = a \sin pt$ , la solution du mouvement forcé sera

$$\theta_0 = \frac{Mh}{I} \frac{ap^2 \sin(pt - \delta)}{\sqrt{(n^2 - p^2)^2 + 4\lambda^2 p^2}}, \quad (10)$$

où 
$$\tan \delta = \frac{2\lambda p}{n^2 - p^2}, \quad n^2 = \frac{k}{I}, \quad \lambda = \frac{\varepsilon_0}{I}.$$

Si

$$n \gg p,$$

$$\theta_0 = -\frac{Mh}{In^2} \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (11)$$

Par conséquent cela nous montre que l'angle de rotation du pendule est proportionnel à la valeur de l'accélération du mouvement du sol. La période de l'oscillation propre de ce système augmenté est

$$T = 2\pi \sqrt{I/k}. \quad (12)$$

La période propre de l'oscillation peut être influencée par les leviers qu'on ajoute pour amplifier les mouvements du pendule. C'est pour cela qu'il faut rendre convenablement petits  $I_1$ ,  $I_2$  qui, en grandissant, augmenteraient la période oscillatoire du pendule. Il faut aussi se rendre compte que leur quantité en grandissant diminue l'amplification.

Le rapport géométrique d'amplification du levier pouvant donc être déterminé par

$$V_g = \frac{\xi}{h\theta_0} = \frac{L_0 L_1 L_2}{h l_1 l_2}, \quad (13)$$

qui ne peut influencer les moments d'inertie, nous pouvons calculer le rapport oscillant d'amplification  $V_a$  comme

$$V_a = \frac{Mh^2}{I}. \quad (14)$$

L'augmentation de  $I$  diminue donc  $V_a$ . Pour cette raison nous avons

employé, pour le troisième levier, une paille très légère, comme dans d'autres appareils ordinaires.

Quant au frottement solide de l'extrémité de la plume sur le papier à l'enregistrement, on obtient dans ce cas l'équation du mouvement du pendule en modifiant l'équation (7), c'est-à-dire :

$$\frac{d^2\theta_0}{dt^2} + 2\lambda \frac{d\theta_0}{dt} + n^2(\theta_0 \pm \rho) = -\frac{Mh}{I} \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (15)$$

Dans l'équation ci-dessus, quand  $\frac{d\theta_0}{dt} > 0$ , elle est positive; dans le cas contraire, elle est négative.  $\rho$  représente le frottement solide. Les conditions où se trouve le mouvement initial de la plume étant

$$M \left| \frac{d^2x}{dt^2} \right| > fV_\sigma, \quad (16)$$

où  $f = n^2 I \rho / V_\sigma^2 h^2,$

l'accélération qui n'atteint pas  $fV_\sigma/M$  ne sera pas inscrite. Dans nos appareils  $M$  est assez grand pour enregistrer des secousses dont l'accélération est relativement petite. Nous avons ainsi atteint le but que nous nous étions proposé.

Les lecteurs trouveront dans les Figs. 1 et 2 l'aspect général des sismographes accélérométriques représenté schématiquement pour les composantes horizontales et verticales construits par nous pour observer les petites secousses, et dans les Figs. 3 et 4 leurs photographies. Tous les deux pèsent un peu plus d'une tonne, d'où l'appellation de "grand sismographe accélérométrique d'une tonne." Ces deux appareils se trouvent dans une cave de notre Institut, l'un, qui est pour la composante horizontale, est fixé par des chevilles sur un support de béton long de 3 mètres et large de 1.5 mètres; l'autre est suspendu au plafond haut de 2.5 mètres au moyen d'une spirale (S) de 9.2 cm de rayon et de huit tours. Le fil d'acier a un diamètre de 2.5 cm.

Quant aux moments d'inertie dans les dimensions de chaque partie de nos appareils, après avoir soigneusement observé la période d'oscillation d'une part du pendule et d'autre part des leviers par le procédé d'oscillation torsionnel, nous avons déterminé comme suit :

	$I_0$ (c.g.s.)	$I_1$ (c.g.s.)	$I_2$ (c.g.s.)	$h$ (cm)	$L_0$ (cm)	$M$ (kg)
la composante horizontale	$2.51 \times 10^9$	320	1.5	46.3	156.4	1050
la composante verticale	$3.01 \times 10^9$	320	1.5	48.6	170.5	1010

En outre, tous les leviers sont disposés de manière que leurs centres de gravité soient sur les axes de rotation.

Dans les deux appareils

$$L_1=30 \text{ cm}, \quad L_2=10 \text{ cm}, \quad l_1=2.0 \text{ cm}, \quad l_2=0.5 \text{ cm}.$$

Par conséquent,

$$\text{pour l'appareil horizontal} \quad V_g=1015,$$

$$\text{pour l'appareil vertical} \quad V_g=1054.$$

Et le rapport géométrique d'amplification du levier est environ de 1,000 fois dans les deux composantes.

Si l'on cherche le moment d'inertie  $I$  dans l'équation (8),

	$Mh^2$ (c.g.s.)	$I_1 L_0^2 / l_1^2$ (c.g.s.)	$I_2 L_0^2 L_1^2 / l_1^2 l_2^2$ (c.g.s.)	$I$ (c.g.s.)
la composante horizontale	$2.25 \times 10^9$	$1.96 \times 10^6$	$3.30 \times 10^7$	$2.55 \times 10^9$
la composante verticale	$2.38 \times 10^9$	$2.32 \times 10^6$	$3.92 \times 10^7$	$3.05 \times 10^9$

Donc

la composante horizontale	$Mh^2/I$ 88.3%	$V_d$ 896
la composante verticale	78.0%	823

Le rapport oscillant d'amplification est environ de 900 fois pour la composante horizontale et environ de 820 fois pour la composante verticale. Comparé à l'appareil horizontal  $V_d$  est petit dans l'autre appareil, il aurait donc été préférable d'augmenter  $M$ , mais nous n'avons pas pu le faire car, l'appareil étant suspendu au plafond, on ne pouvait accroître comme on voulait son poids.

### 3. Etalonnages des appareils.

#### a). Période propre d'oscillation du pendule.

Pour chercher la période propre d'oscillation du pendule, nous l'avons examiné dans les conditions suivantes. Cela nous a servi aussi à la détermination des moments d'inertie de chaque partie.

	la comp. horizontale	la comp. verticale
(i) Poids du pendule seul.	0.133 sec	0.168 sec
(ii) En y ajoutant le premier levier.	0.135 sec	0.172 sec

	la comp. horizontale	la comp. verticale
(iii) Le piston de l'amortisseur d'air en plus de (ii).	0·138 sec	0·177 sec
(iv) Le second levier en plus de (iii).	0·139 sec	0·178 sec
(v) Le troisième levier en plus de (iv).	0·141 sec	0·179 sec
(vi) En appliquant l'extrémité de la plume sur le papier enduit de suie en plus de (v).	0·142 sec	0·180 sec

Le cas de (vi) est à l'observation à présent, et la période dont il s'agit est, dans le sismographe pour la composante horizontale, 0·14 seconde et, dans celui pour la composante verticale, 0·18 seconde.

La période propre d'oscillation du bras, du premier levier etc. qu'on ajoute au poids du pendule, est encore plus petite et ne dépasse pas 0·05 seconde.

b). *Amplification géométrique.*

Pour mesurer le rapport géométrique d'amplification des leviers, nous avons placé au centre de gravité du pendule un micromètre à cadran pouvant indiquer jusqu'au centième de mm par son aiguille, si nous déplaçons un peu le pendule. Et nous avons cherché le rapport avec le déplacement ( $\xi$ ) de la pointe de la plume; les résultats des mesures sont donnés dans la Figs. 5 a, b. La valeur d'amplification géométrique ainsi obtenue

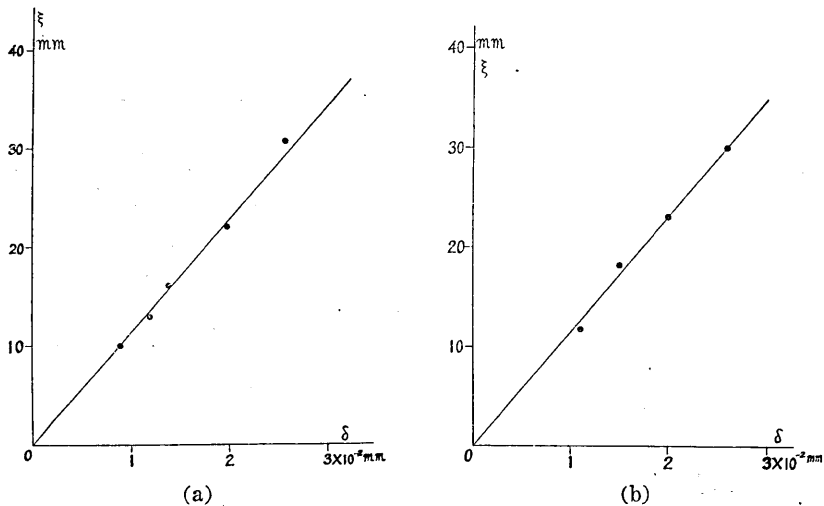


Fig. 5. Relation entre le déplacement ( $\delta$ ) du pendule et celui ( $\xi$ ) de la pointe de la plume.

- (a) La composante horizontale.  
(b) La composante verticale.



est de 1130 fois pour l'appareil horizontal et de 1150 fois pour le vertical. Les valeurs numériques dépassent un peu celles qu'on a obtenues par le calcul. Cette différence vient de ce qu'il y a un écart dans l'indication du micromètre à cadran, un déplacement minime au centre de gravité pouvant correspondre, dans un appareil d'amplification si élevée à un grand déplacement de la pointe de la plume. En tout cas, on pourrait admettre que, l'amplification réelle, plus grande que celle du calcul, est de 1100 fois dans les deux appareils.

c). *Examen de sensibilité.*

Pour examiner statiquement la sensibilité, on emploie le plus généralement la méthode suivante: on place un sismographe sur un support plat, on penche ce dernier convenablement pour donner au pendule l'accélération dans la direction horizontale ou verticale, et on cherche le rapport entre le déplacement de la pointe de la plume et l'accélération. Ne pouvant pas employer la même méthode pour les appareils dont il s'agit, nous avons recouru à une autre: pour l'appareil horizontal on tend un fil horizontalement à partir du centre de gravité du pendule, on donne au moyen de ce fil une accélération horizontale et on cherche le rapport entre celle-ci et le déplacement de la pointe de la plume.

Pour l'appareil vertical, on tend perpendiculairement un fil à partir du centre de gravité du pendule, on donne au moyen de ce fil une accélération verticale on obtient le rapport entre celle-ci et le déplacement de la plume. La Fig. 6 montre ce rapport,  $g$  représentant l'accélération due à la gravité,  $M$  la masse du sismographe,  $m$  la masse ajoutée au centre de gravité du pendule, et le déplacement de la pointe de la plume, la sensibilité ( $S$ ) obtenue

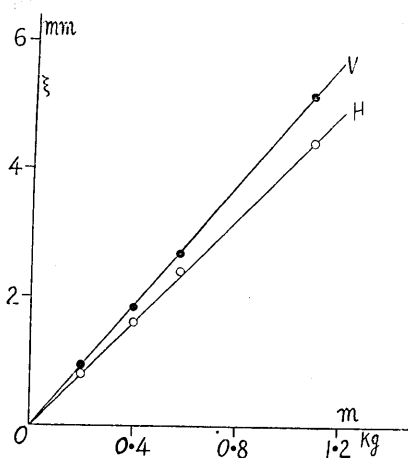


Fig. 6. Relation entre le déplacement ( $\xi$ ) de la pointe de la plume et la masse ( $m$ ) ajoutée au centre de gravité du pendule.

- La composante horizontale.
- La composante verticale.

correspond à 0.24 gal pour l'appareil horizontal et à 0.21 gal pour l'appa-

$$S = mg/M\xi. \quad (17)$$

Avec l'aide de cette formule, si l'on cherche dans le rapport donné à la Fig. 6, les résultats obtenus sont: un millimètre dans l'enregistrement

reil vertical.

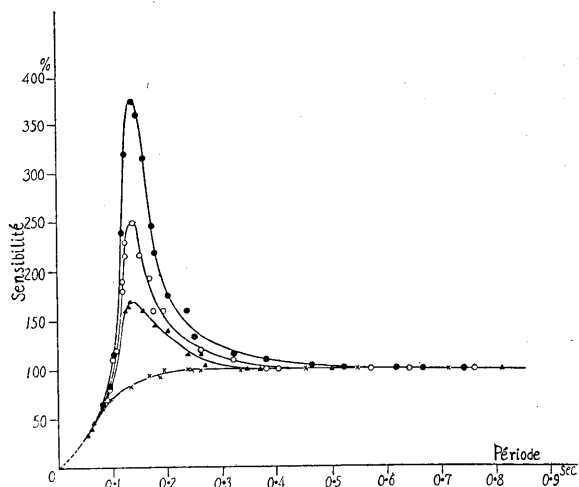


Fig. 7. Relation entre la sensibilité de l'appareil pour la composante horizontale et la condition de l'amortisseur à air.

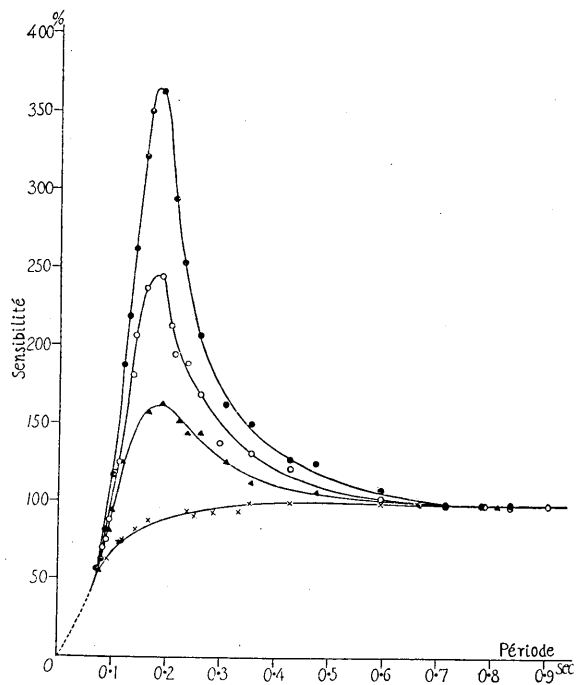


Fig. 8. Relation entre la sensibilité de l'appareil pour la composante verticale et la condition de l'amortisseur à air.

L'examen dynamique de la sensibilité consiste à donner une force périodique au poids du pendule. Voici notre procédé: on attache un bout de fil élastique de caoutchouc et on donne à l'autre bout du fil des mouvements de périodes différentes, mais avec la même amplitude. En donnant ainsi au poids du sismographe des mouvements dont l'accélération reste constante, mais avec des périodes différentes, nous avons examiné les conditions de l'amortisseur à air. Les Figs. 7 et 8 montrent ce rapport qui donne une sensibilité à peu près constante pour les mouvements au-dessus de 0.14 seconde pour l'appareil horizontal et de 0.18 seconde pour le vertical.

d). *Frottement solide et constante décroissante.*

Quand on enregistre un mouvement du pendule en l'agrandissant au moyen des leviers, il y a un frottement solide par le contact de la pointe de la plume sur le papier d'enregistrement. Il y en a aussi qui sont produits par l'attache des leviers ou par le contact des pivots. Nous les avons aussi examinés.

D'abord nous nous sommes occupés, par le procédé optique, du frottement des leviers dans leur point d'attache. Nous avons placé un miroir à un endroit correspondant à l'axe de rotation du pendule et fait réfléchir l'image d'une source lumineuse sur le papier au bromure fixé sur le tambour tournant. Nous avons ainsi obtenu l'enregistrement de l'oscillation propre du pendule. L'examen a porté sur les divers cas semblables lors de l'examen de la période propre d'oscillation. Si une double amplitude donnée sur le papier d'enregistrement est représentée par  $A_n$  et la seconde après celle-ci, en sautant la suivante, par  $A_{n+1}$  (Fig. 9),

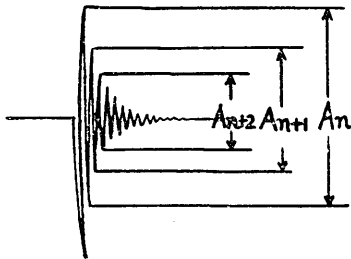


Fig. 9. Un des exemples de l'oscillation amortissante.

$$A_n = v^2 A_{n+1} + 2\rho(v+1)^2. \quad (18)$$

Donc nous pouvons déterminer au moyen de diverses valeurs de  $A_n$ ,  $A_{n+1}$ , celle du frottement solide  $\rho$  et la proportion décroissante  $v$ .

Les Figs. 10 (a), (b), (c), (d) montrent le rapport entre  $A_n$  et  $A_{n+1}$ . Dans les cas (i), (ii), (iii), dans le paragraphe précédent (a), la rectiligne qui représente le rapport de  $A_n$  et  $A_{n+1}$  passe par le point d'origine et nous pouvons admettre que le frottement solide est nul. Mais si l'on applique la pointe de la plume sur le papier enduit de suie (par exemple (vi) dans le paragraphe précé-

dent (a)), la rectiligne qui représente le rapport de ces deux amplitudes ne passe pas par le point d'origine. Nous pouvons donc déterminer les

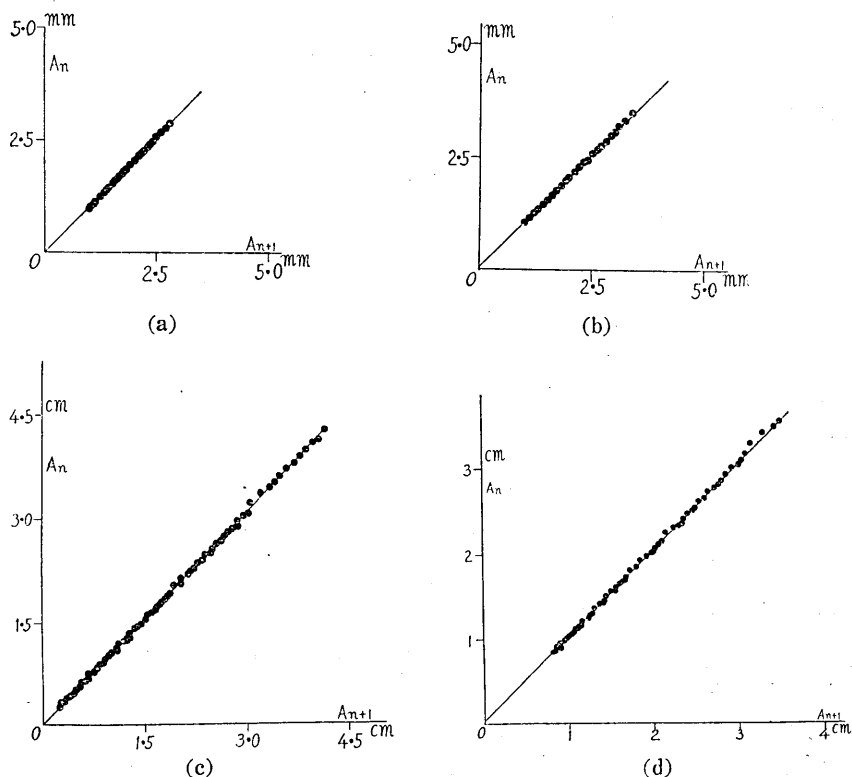


Fig. 10. Détermination du frottement solide.

- (a) Le cas (iii) dans le paragraphe 3, a), (horizontal).
- (b) Le cas (iv) (horizontal).
- (c) Le cas (iii) (vertical).
- (d) Le cas (iv) (vertical).

valeurs de  $\rho$  et  $v$ . Ainsi déterminée la valeur de  $v$  est de 1.02 qui est invariable dans tous les cas. Quant à la valeur de  $\rho$ , avec le second levier, elle est, selon que la pointe de la plume est appliquée ou non appliquée sur le tambour tournant,  $1.83 \times 10^{-5}$  cm et  $1.84 \times 10^{-5}$  cm pour l'appareil horizontal, et pour celui vertical  $4.9 \times 10^{-5}$  cm dans les deux cas.

Quand la pointe de la plume est appliquée sur le papier couvert de suie  $\rho = 1.23 \times 10^{-3}$  cm et  $v = 1.02$  pour les appareils horizontal et vertical. Le frottement solide  $f$  produit par la pointe de la plume et d'autres causes est

$$f = (n/V_g)^2 I \rho / h^2.$$

Les valeurs de  $f$  sont donc :

$$\begin{array}{ll} \text{pour l'appareil horizontal} & f=2.1 \text{ dyne,} \\ \text{pour l'appareil vertical} & f=1.2 \text{ dyne.} \end{array}$$

Par conséquent, pour l'accélération  $d^2x/dt^2 (=a)$  dans l'équation (16), c'est-à-dire

$$fV_{\sigma} < M |d^2x/dt^2|,$$

les sismographes se mettent en branle et ces valeurs sont comme suit :

$$\begin{array}{ll} \text{pour l'appareil horizontal} & a > 2.20 \times 10^{-3} \text{ gal,} \\ \text{pour l'appareil vertical} & a > 1.36 \times 10^{-3} \text{ gal,} \end{array}$$

et ces valeurs sont environ le quart de celles que les petits sismographes accélérométriques existants donnent. Si l'on cherche  $a$  avec la sensibilité obtenue par l'expérimentation, nous obtenons :

$$\begin{array}{ll} \text{pour l'appareil horizontal} & a > \rho \times \text{sensibilité} = 2.8 \times 10^{-3} \text{ gal,} \\ \text{pour l'appareil vertical} & a > \rho \times \text{sensibilité} = 2.6 \times 10^{-3} \text{ gal.} \end{array}$$

Quoique la valeur en chiffres soit un peu plus élevée, nous pourrions considérer qu'elle s'accorde avec celle qu'on a obtenue par le calcul. Nous avons pu construire ainsi des appareils accélérométriques de haute sensibilité. Comme il y a le frottement sur la pointe de la plume, il faudrait tenir compte des flexions du levier, mais la valeur des flexions du levier par rapport au frottement étant relativement petite, on peut en pratique la négliger.

*e). Amortisseur.*

Nous avons adopté pour nos appareils l'amortisseur à air (P dans les Figs. 1, 2.) de forme cylindrique fixé au bras saillant du poids du pendule. La distance entre l'axe de rotation et le piston de l'amortisseur est pour l'horizontal 84 cm et pour le vertical 113 cm. Le diamètre du piston est 30 cm et sa hauteur 8 cm. Si l'on varie convenablement le degré d'échappement de l'air par le robinet attaché à l'amortisseur, on obtient la puissance amortissante voulue. Nous sommes arrivés à présent, à mettre le pendule dans la condition d'amortissement critique.

*f). Système d'enregistrement.*

Nous avons adopté le système courant qui consiste à faire tracer les secousses sismiques par une plume (N) attachée au troisième levier du sismographe sur un papier couvert de suie enroulé sur un tambour

(D). La rotation du tambour se fait par un moteur synchronique de 6 watt.

La circonférence du tambour est 63 cm, longueur est 32 cm. Sa vitesse est un tour toutes les 5 minutes. La marche d'une seconde est 2.1 mm. Nous renouvelons chaque jour le papier.

#### 4. De l'enregistrement sismographique.

Ayant installé dans une cave de notre Institut les deux sismographes accélérométriques pour les composantes horizontales et verticales du type indiqué ci-dessus, nous avons poursuivi nos observations pendant une année, de mai 1939 à juin 1940.

Durant cette période, nous avons obtenu l'enregistrement de beaucoup de séismes n'atteignant pas le degré des secousses sensibles. Dans les Figs. 11~13 nous montrons quelques exemples de ces enregistrements,

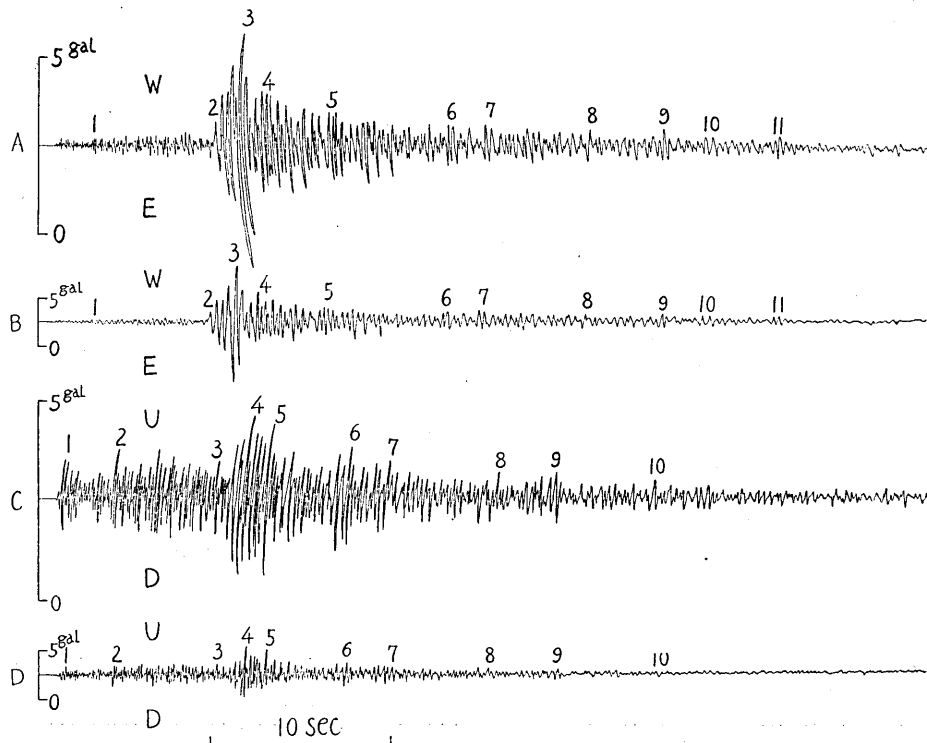


Fig. 14. Inscriptions obtenues pour le séisme du 6 octobre 1939.

Epicentre: le golfe de Tokyo, E 140.1°, N 35.6°.

A, C: par les grands sismographe. B, D: par les petits sismographes.

la première représente un tremblement de terre sensible et l'autre un

non-sensible. Au premier coup d'oeil les lecteurs trouverent eux-mêmes qu'ils sont semblables aux tracés des sismographes accélérométriques courants pour les ondes dont la période est relativement petite.

Si nous rapprochons les enregistrements de nos grands sismographes de ceux des appareils ordinaires pour saisir leurs ressemblances et leurs dissemblances, cela nous donne l'occasion de vérifier ceux-là. Nous reproduisons dans les Figs. 14~16 les tracés des composantes horizontales

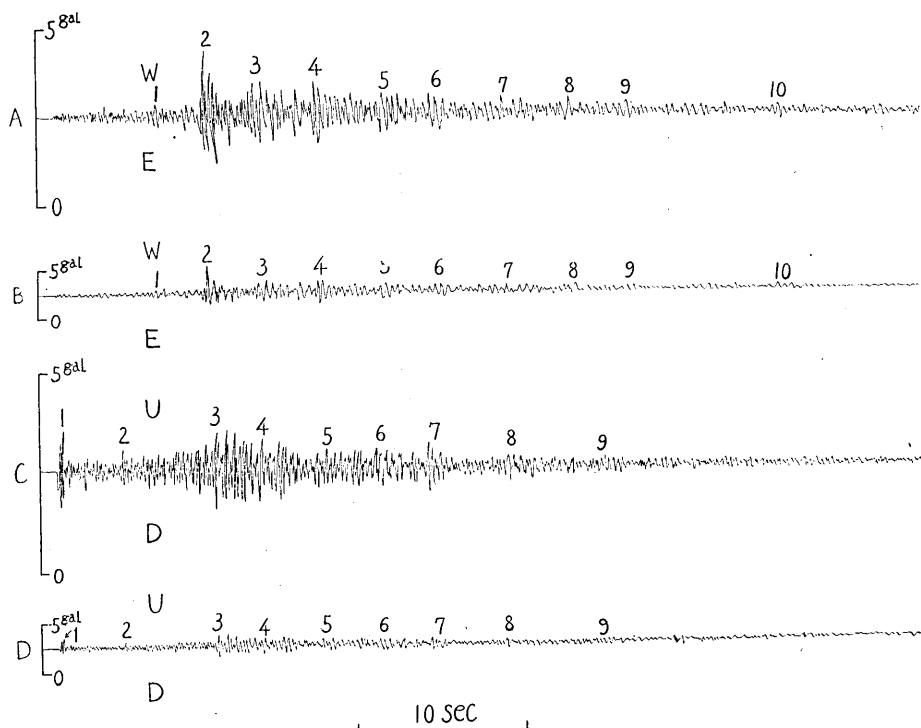


Fig. 15. Inscriptions obtenues pour le séisme du 20 décembre 1939.

Epicentre: près de Koga, Ibaraki, E  $139^{\circ}$ , N  $36.2^{\circ}$ .

A, C: par les grands sismographes. B, D: par les petits sismographes.

et verticales obtenus respectivement par des appareils grands et petits, en les développant à la même échelle de temps. Dans ce rapprochement les composantes horizontales et verticales enregistrées par les deux sortes d'appareils s'accordent, comme on le voit, même dans toutes les phases de leurs tracés.

Les chiffres correspondent dans les enregistrements obtenus par les deux sortes d'appareils respectivement pour les composantes horizontales et verticales. Leur ressemblance est si forte qu'on a l'impression que

les tracés sont identiques. Mais si l'on examine de plus près les deux tracés, on constate qu'il y a plus d'ondes de courtes périodes, qui sont de 0.2 seconde environ, en comparaison avec les petits appareils courants où elles ne laissent pas de tracés. S'il y a des vibrations dominantes des leviers, elles doivent être de période encore plus courte, et nous pensons que les assez petites secousses sont en dehors de l'intervention de ces vibrations des leviers. Mais, comme dans les tracés, il y a les ondes de courte période notées ci-dessus, celles-ci sont précisément le signe de

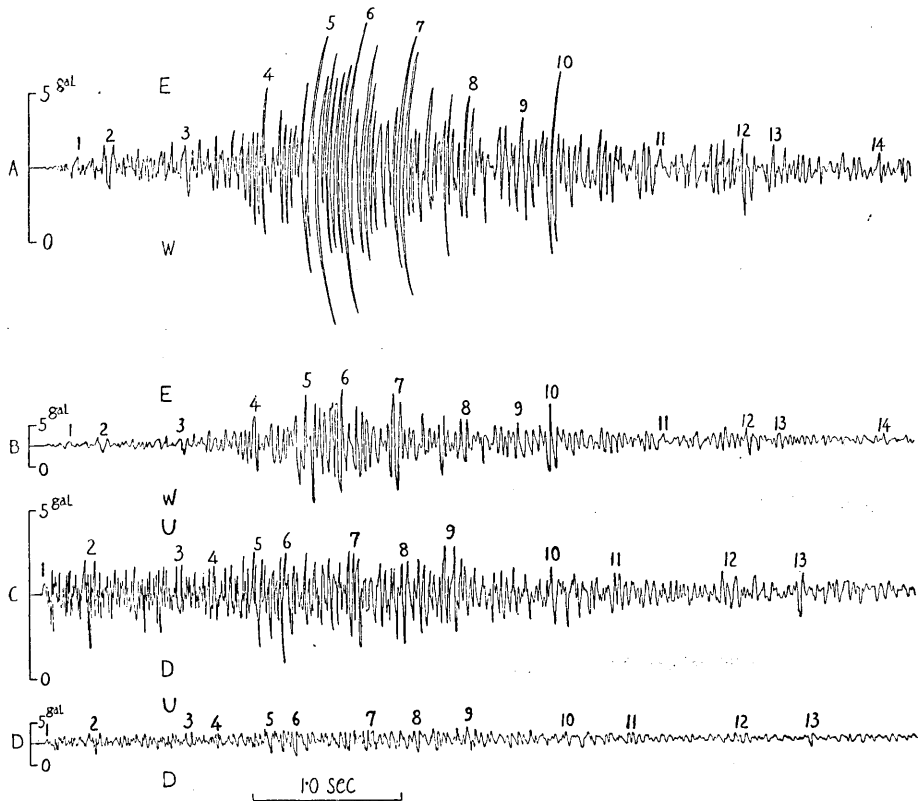


Fig. 16. Inscriptions obtenues pour le séisme du 31 décembre 1939.

Epicentre: près de Tyōsi, E 140.8°, N 35.6°.

A, C: par les grands sismographes. B, D: par les petits sismographes.

la haute sensibilité de nos appareils, qui réagissent même avec une accélération assez petite et qui peuvent enregistrer ainsi, le frottement étant relativement petit à cause de la grandeur de la masse du pendule, les petits tremblements auxquels les petits appareils restent indifférents.

Comme on le voit au premier abord, il y a dans les enregistrements de l'appareil horizontal, des ondes de périodes relativement longues



comparées à celles du vertical. D'autre part dans l'horizontal, on constate à la partie préliminaire, plus d'ondes de courte période que dans la partie principale. Il y a une prédominance des ondes de courte période qui rappelle l'enregistrement de l'appareil vertical. Ces constatations peuvent servir aux études des ondes longitudinales et transversales dans les secousses terrestres ou aux études sur la nature des secousses horizontales et verticales.

### 5. Conclusion.

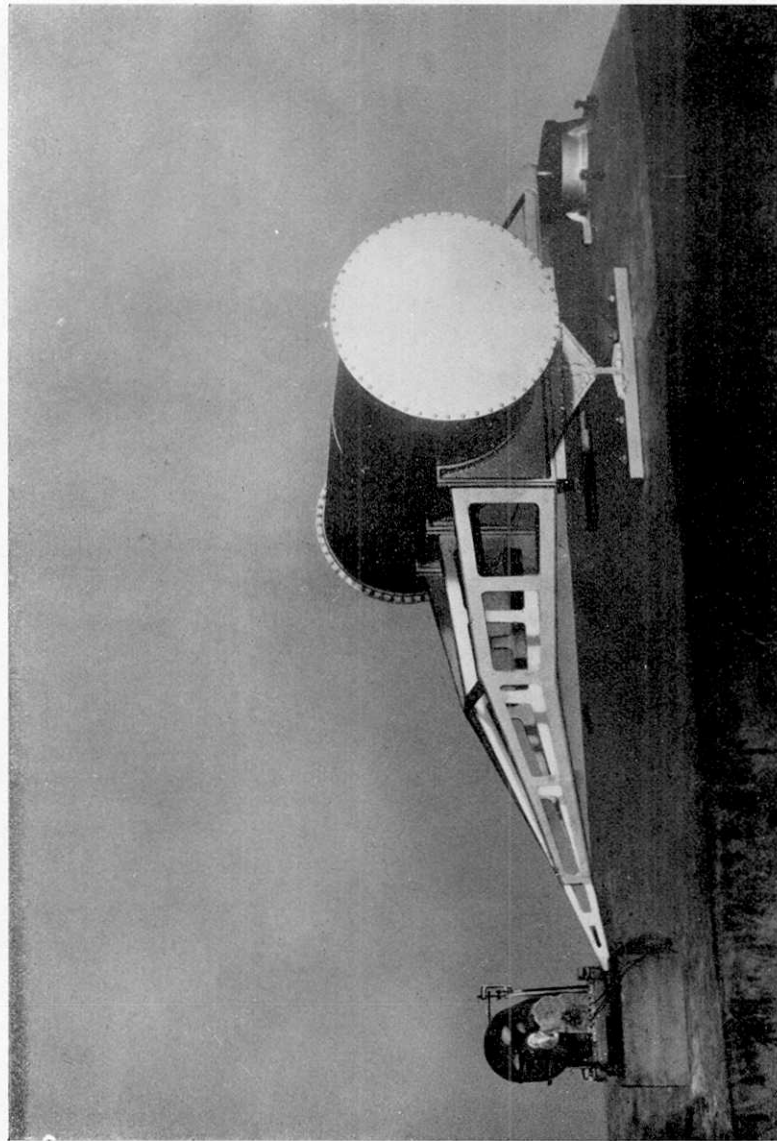
Nous avons décrit suffisamment les divers éléments de nos grands sismographes accélérométriques. On a vu que les enregistrements obtenus sont presque identiques à ceux des petits appareils courants, avec cette différence qu'il y a chez les premiers beaucoup plus d'ondes de courtes périodes.

Dans l'avenir l'observation des petites secousses, qui n'étaient pas suffisamment étudiées dans le passé, deviendra plus facile et, si l'on analyse leurs tracés, on pourra approfondir les études portant sur la période prédominante des petites secousses, sur leur accélération, sur le rapport entre l'accélération et l'intensité des secousses, sur la nature des petites secousses non encore étudiées, sur le rapport avec les grandes secousses assez fortes. Pour tous ces problèmes, nous publierons, quand l'occasion viendra, les résultats de nos recherches.

Il y a eu des difficultés pendant la construction de nos grands appareils, et c'est uniquement grâce à l'encouragement du Professeur Mishio Ishimoto, que j'ai pu les réaliser. Je suis donc heureux de pouvoir exprimer ici la reconnaissance que je dois à sa mémoire. Je remerce M. T. Ishizawa de m'avoir aidé pendant les expérimentations, MM. K. Kinoshita, Z. Sibano, Melles Y. Nakayama, M. Kaizuka de m'avoir assisté pour les observations.

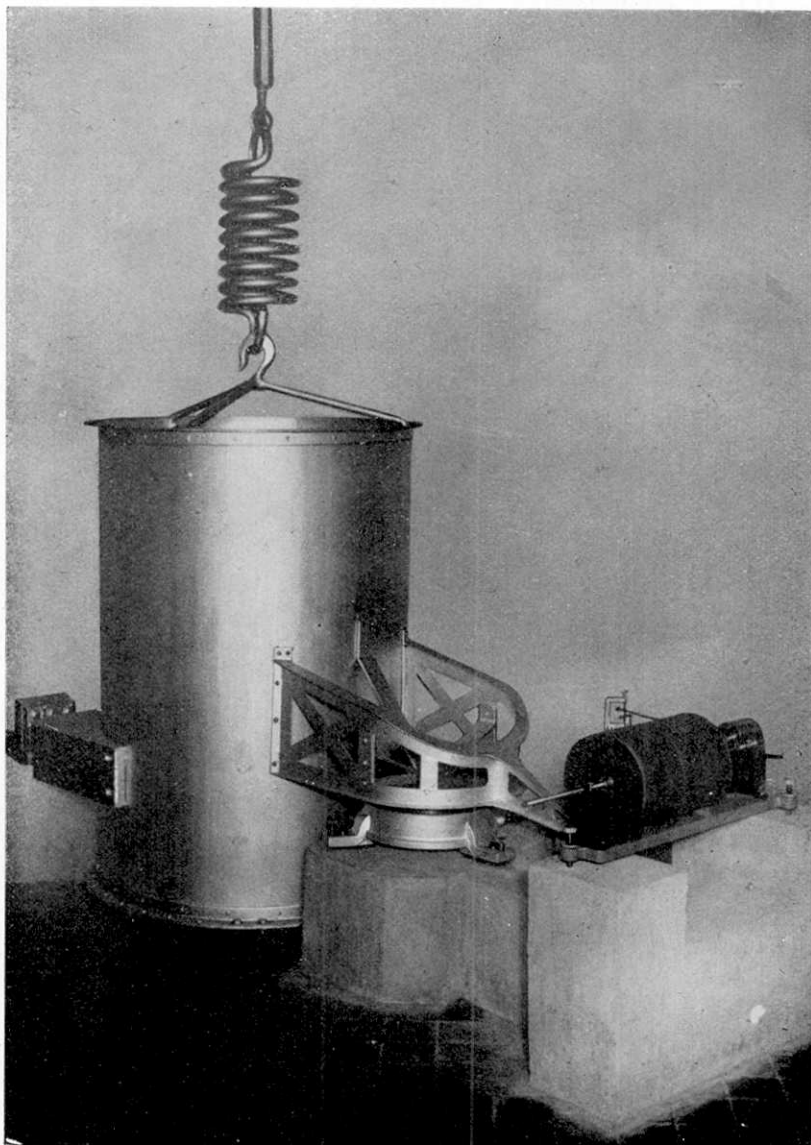
Une partie des frais d'observation a été couverte par la Bourse pour les études scientifiques de l'Instruction publique.

---



(震研彙報 第十八號 圖版 飯田)

Fig. 3. Photographie du sismographe accélérométrique pour la composante horizontale.  
Masse: 1050 kg. Sensibilité 1 mm sur l'inscription = 0.24 gal.  
Période propre d'oscillation: 0.14 seconde. Agrandissement: 900 fois.

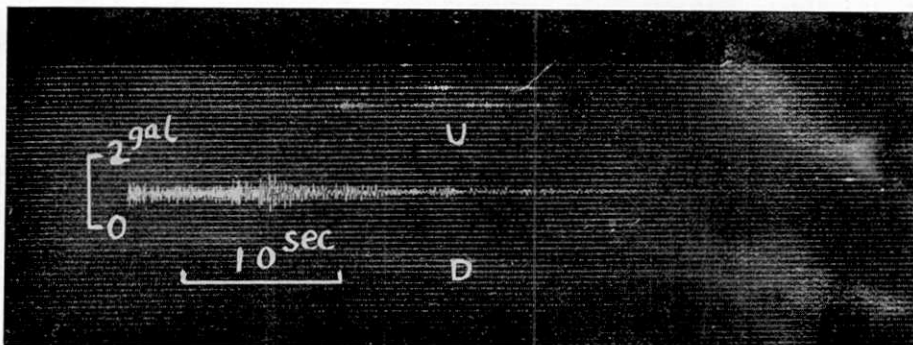
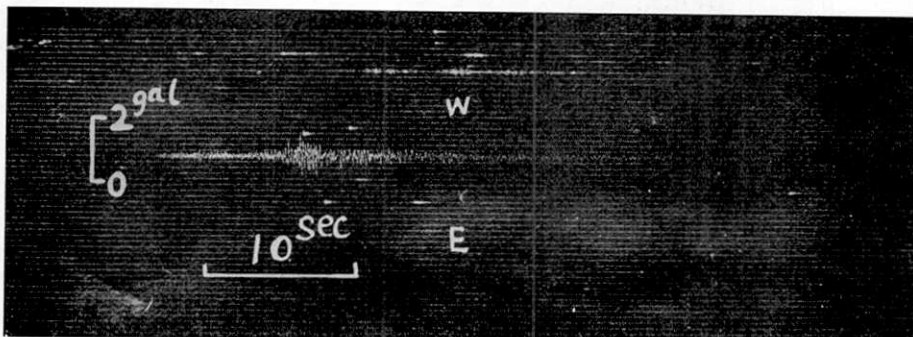


(震研彙報 第十八號 圖版 飯田)

Fig. 4. Photographie du sismographe accélérométrique pour la composante verticale.

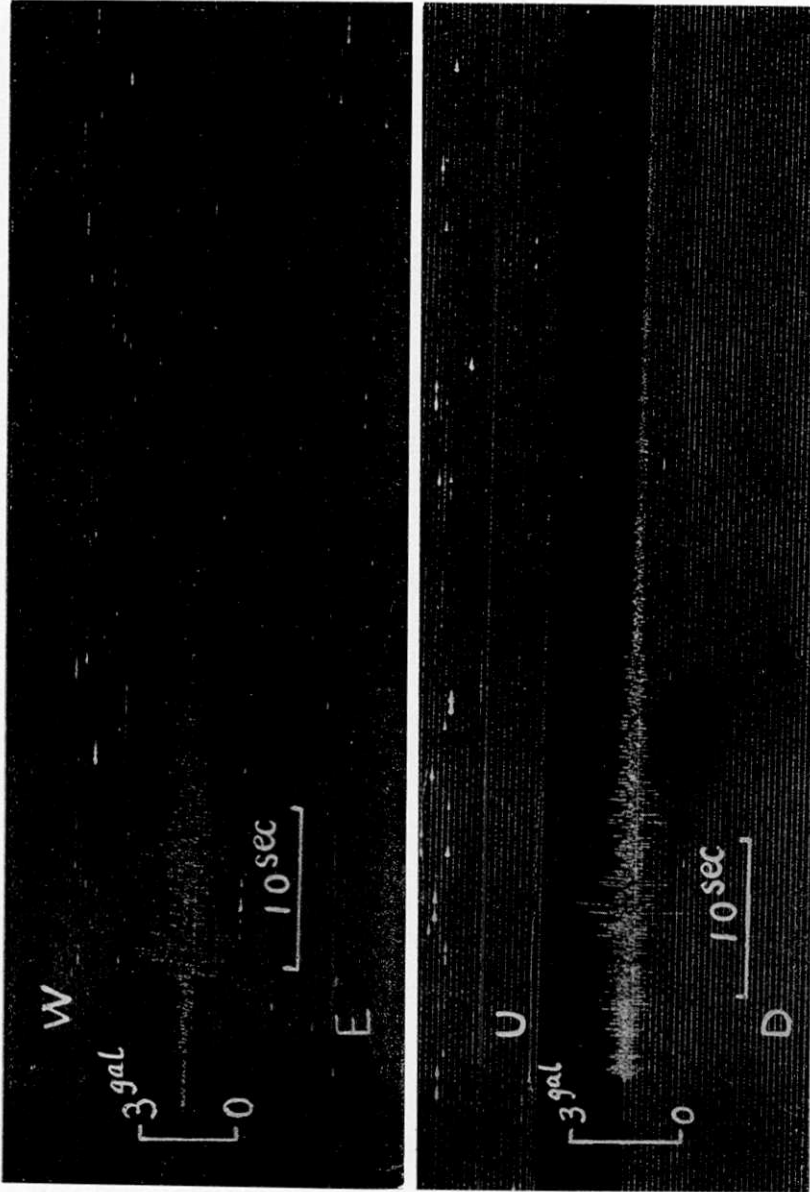
Masse: 1010 kg. Sensibilité 1 mm sur l'inscription = 0.21 gal.

Période propre d'oscillation: 0.18 seconde. Agrandissement: 820 fois.



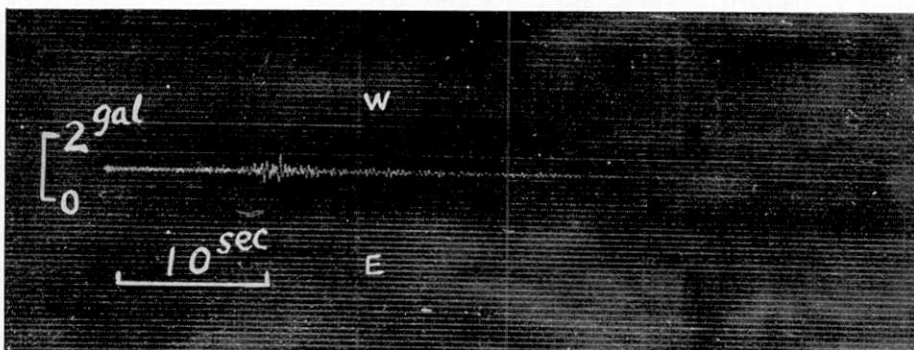
(震研彙報 第十八號 圖版 飯田)

Fig. 11. Enregistrements obtenus pour le petit séisme non-sensible du 5 décembre 1939.



(震研彙報，第十八號 圖版 飯田)

Fig. 12. Enregistrements obtenus pour le séisme sensible du 15 janvier 1940.  
Epicentre: le golfe de Tokyo, E 139.7°, N 35.3°.



(震研彙報 第十八號 圖版 飯田)

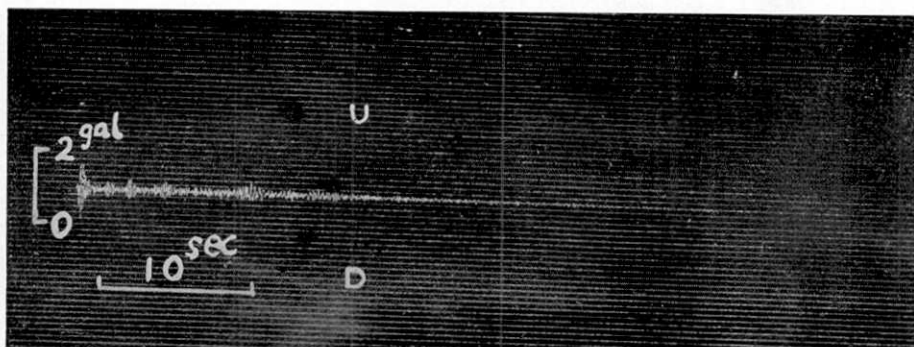


Fig. 13. Enregistrements obtenus pour le petit séisme non-sensible du 17 février 1940.

## 31. 一噸大型加速度地震計の製作と其の記象

地震研究所 飯田 汲 事

種々の階級に屬する地震動の性質を考究すべき目的を以て、今回新に器械的記録を行ふ高感度の上下、水平兩成分大型加速度地震計を製作した。此等は第3圖及び第4圖の如きものである。而して其の要素は

	水平動加速度地震計	上下動加速度地震計
器械の感度 (記象上 1 mm の振れに相當する加速度)	0.24 gal	0.21 gal
振子の質量	1050 kg	1010 kg
自己振動周期	0.14 秒	0.18 秒
幾何倍率 (槓杆により重心變位の擴大)	1015 倍	1054 倍
振動倍率 (倍率)	896 倍	823 倍
針先其の他の固體摩擦	2.1 dyne	1.2 dyne
動き出しの限界加速度	$2.8 \times 10^{-3}$ gal	$2.6 \times 10^{-3}$ gal
減衰比	1.02	1.02
器械の大きさ	縦 3 m, 横 1.5 m 高さ約 1 m	横 2.3 m, 縦 1 m 高さ 2.5 m

等であり、擴大装置は三つの槓杆により行はれ、制振器はピストン型空氣制振器である。記録は廻轉する圓筒に巻かれた煤煙紙上に地震計針先が觸れて行はれ、記象速度は 1 秒間に 2 mm であつて、ドラムの廻轉は 6 ワットの同調電動機により行はれてゐる。

尚行つた試験は

- (a) 各階段に於ける自己振動周期、慣性能率の決定
- (b) 倍率の測定
- (c) 靜的及び動的の感度試験
- (d) 針先其の他に於ける固體摩擦の決定

等である。

得られた記象は第 11~13 圖に於て示した。此の記象を見る時は從來の加速度地震計記象と全く同様に短周期の波動の存在を認めるのであるが、今迄よりも更に短周期の波動を記録する事を確め得た次第である。此等の波動の性質に就いては次に示す輪文に於て述べる事とした。