

東京帝國大學 地震研究所彙報

第 貳 號

*Observations sur les variations de l'inclinaison
de la surface terrestre. (premier rapport)*

par **Mishio ISHIMOTO**

地表の傾斜の變化に就て (第壹報)

所 員 石 本 巳 四 雄

梗 概

大正十二年關東大地震前に於ける油壺驗潮儀の記録及び地震直後の土地の隆起等より考察すれば、地表の傾斜の變化と地震との間には密接の關係があるかの如く思はれるので、先頃から特別の水平振子を製作して觀測を開始した次第である。この水平振子は上下二本の絲で振子を水平に保つ Zöllner 式を採用して居る爲め、この式の水平振子の性能を先づ明らかに知らうと努めた。この振子は第二圖に於ける PQ の方向と重力の方向とのなす角が小なる程感度が大となる筈であるが、二本の吊絲に多少の剛性がある爲め、或る程度以上の周期を得る事が不可能となり、従つて感度に於いても同じくある限度がある事が分る。

現今觀測に使用して居る振子は、棒、振子、吊絲等すべてシリカ製であり、なほそれらの大きさが分つて居るので、計算によつて此の周期の限度が大體決定される。

此の水平振子の材料としてシリカを用ひた事は、第一に地震による振動の後にも正しい傾斜の方向を示すと云ふ事と、第二には周圍の溫度の變化が多少はあつても、此の裝置には大した影響を與へぬと云ふ結果に外ならぬのである。細工は燈火用瓦斯に酸素を混じて高熱焔を得、これに由つて専ら遂行せられた。

水平振子を觀測に使用する前に一秒の百分の一程度まで精密に傾斜を與へる三脚臺に由つて試験し、その振子の周期と傾斜に對する振れとの關係を求めた。乃ち理論上求めた値と同じく周期の二乗と感度とが比例すると云ふ結果を得て居る。

第四圖は目下觀測中の水平振子の設置圖であるが、濕氣と微とを防ぐ爲めに、振子は耐子鐘の中に置き、周期は 20 秒に保ち、なほ記録する方法としては寫眞裝置を採用した。

斯様にして得た七、八、九の三ヶ月に於ける記録は傾斜の一日中の變化も長期に亘る變化も大氣の溫度と密接な關係を持つことが分つたが、降水量とは餘り關係が無い様に見える。

地震の前後に於ける傾斜の變化は我々にとつて非常に興味深いものであるが、遠地地震の場合には地殼が單に波動を通過せしめると云ふ事に止まるから、傾斜には何の變化も與

へぬのは當然であつて、記録に徴しても何ら變化を認めない。然るに近地地震、而も有感地震程度のものに於いては地震直後に傾斜の變化が極めて僅かではあるが認められる場合がある。而してこの傾斜の方向は他の地震計に由つて求められた震央の方向と大體一致して居る事が分り従つて震央の見かけの隆起或は沈降が決定されるのである。八月三日の強震には吊絲が切斷され、地震直後の傾斜の變化は全く不明であるが、約二週間以前に南北成分に温度の影響には無關係の變調があつた事は、或はこの前兆を意味するものであつたかも知れない。地震直前の狀況に就いては、この装置の記録する感度内に於いて地震に關係した變化は全く認められなかつた事を附記して置く。

INTRODUCTION.

Les enrégistremens du maréographe d'Aburatubo nous apprennent qu'il y a eu une dépression continue de la surface de la terre¹⁾ jusqu'aux certaines années qui ont précédé le grand tremblement de terre de Kwanto (le 1er Septembre 1923) ; une période de repos a suivi, puis s'est produit le mouvement brusque de l'écorce terrestre qui a provoqué le cataclysme et alors est apparue une forte élévation des côtes par rapport au niveau de la mer. Ces faits nous ont inspiré le projet d'étudier les mouvements lents de l'écorce afin d'en tirer certains renseignements sur les tremblemens de terre particulièrement fréquents au Japon.

Bien qu'on ne sache pas encore les causes des tremblemens de terre, il est vraisemblable que des forces existent dans l'écorce et que ces forces sont à la fois des mouvements brusques et des mouvements lents. De plus, il y a des forces externes, par exemple : le gradient de pression atmosphérique,²⁾ la hauteur de la marée,³⁾ etc. qui, on peut le supposer, jouent le rôle de forces d'incitation pour donner le branle au tremblement de terre.

En tout cas, si ces deux sortes de forces produisent une certaine élévation ou dépression locales à la surface de la terre, en observant l'inclinaison de cette surface aux environs d'une région considérée, on pourra obtenir plus ou moins de renseignements concernant les tremblemens de terre. C'est en part-

1) Omori : Bull. Eq. Inv. Com. Vol. V. 1913.

2) Terada : Journ. Coll. Sci. Tokyo. 44. Art. 6. 1923.

Nakamura : Jap. Journ. of Astro. & Geophys. Vol. III. No. 2, 1925.

3) Omori : Publ. Eq. Inv. com. No. 18, 1904.

Nakamura : loc. cit.

ant de cette idée que j'ai commencé à observer l'inclinaison de la surface terrestre aux moyens d'un pendule horizontal.

CARACTÉRISTIQUES DU PENDULE HORIZONTAL.

Comme, pour toutes les observations, j'ai employé un pendule horizontal du type de Zöllner, indiquons d'abord les caractéristiques de celui-ci.

Supposons un pendule idéal de ce type suspendu par deux fils qui ne résistent point au couple de torsion. Mettons un système de trois axes perpendiculaires entre eux (Fig. 1.) et un axe- Z représentant la direction opposée à celle de la gravité. Faisons que la tige du pendule et les deux points P et Q (Fig. 2.) de suspension au cadre soient dans le plan- XZ ; qu'une ligne droite qui lie les deux points P et Q rencontre l'axe- Z avec un angle θ ; que l'inclinaison ϕ qui correspond à celle de la terre soit dans le plan- YZ , et enfin que l'angle de déviation de la tige φ soit dans le plan- XY ; nous avons :

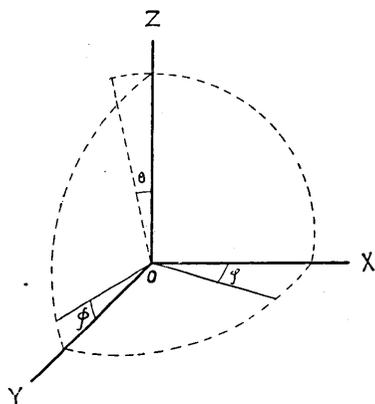


Fig. 1.

$$(1) \quad \tan \varphi = \frac{\tan \phi}{\tan \theta}$$

et si les trois angles sont assez petits

$$(2) \quad \varphi = \frac{\phi}{\theta}$$

Il semble que le rapport augmentera quand θ approchera de zéro. Dans la pratique on constate que le pendule, empêché par la résistivité des deux fils, ne suit pas cette formule et s'y conforme d'autant moins que sa sensibilité s'accroît.

Supposons une position du pendule telle que les deux points de suspension P et Q (Fig. 2.) soient d'aplomb et faisons que l soit la longueur de la tige (AB), T_1 et T_2 les tensions de chaque fil, et C le milieu de la tige. De

plus, pour avoir un résultat simple, posons qu'il n'y a que la masse m au bout de la tige A . Nous aurons ;

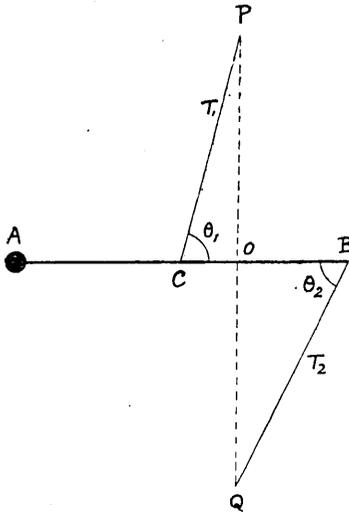


Fig. 2.

$$(3) \begin{cases} T_1 \cos \theta_1 = T_2 \cos \theta_2 \\ T_1 \sin \theta_1 = mg + T_2 \sin \theta_2 \\ T_1 \sin \theta_1 = 2mg \end{cases}$$

De ces équations on tire

$$(4) \quad 2 \tan \theta_2 = \tan \theta_1$$

De plus, si $OP = OQ$, nous aurons $2OC = OB$, et la position du point O se trouvera sur la tige à la distance de $\frac{2l}{3}$ de la masse m et on aura le moment d'inertie du pendule

$$(5) \quad I = \frac{4ml^2}{9}$$

Pour la simplicité du calcul, supposons que les deux fils de suspension soient assez longs pour qu'ils ne donnent que deux couples parallèles de torsion. Dans cette supposition, ces couples de torsion faisant tourner le pendule à l'unité d'angle seront représentés par $\frac{\pi r^4 n}{L}$; considérant en même temps l'angle θ , la période du pendule sera

$$(6) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{4ml^2}{9}}{\frac{2}{3} mgl \theta + \frac{\pi r^4 n}{L}}}$$

où n : rigidité du fil.

L : longueur de chaque fil.

r : rayon sectionnel du fil.

Au cas où $\theta=0$, cette formule devient

$$(7) \quad T_{\theta=0} = 2\pi \sqrt{\frac{4ml^2 L}{9\pi r^4 n}}$$

Je construis le pendule horizontal tout en quartz fondu (silice amorphe) et ses dimensions de détail sont

L : longueur du fil de quartz	12 cm
l : longueur de la tige du pendule	9 cm
m : masse du pendule	0.7 gr.
r : rayon sectionnel du fil	7 micron.
n : rigidité du fil de quartz	3.0×10^{11} dyne/cm ²

En posant ces constantes dans la formule (7), on a

$$T_{\theta=0} = 230 \text{ sec.}$$

C'est une valeur convenable pour nous permettre l'observation. Malheureusement il n'est pas possible d'avoir des fils de quartz dont le rayon sectionnel soit toujours le même ; et par suite de ce défaut de technique, on est obligé de chercher au laboratoire la période de chaque pendule par rapport à θ .

CONSTRUCTION DU PENDULE HORIZONTAL

A la suite des calculs précédents, il a été décidé de construire un pendule horizontal ayant 20 cm de hauteur environ. En employant du quartz fondu, on obtient une vraie position de déviation même après des vibrations sismiques et d'autre part on peut négliger les perturbations thermiques qui viennent de l'emplacement du pendule.

J'ai choisi des tubes transparents en quartz fondu ayant 5-6 mm. de diamètre. En employant le gaz d'éclairage et l'oxygène comprimé, on a une température assez élevée pour travailler le quartz. L'aspect général du pendule est représenté dans la photographie (Fig. 3.), mais dans la suite les trois piliers du cadre sont remplacés par un seul où l'on met de pendule en arrêt pour le transport.

ETALONNAGE DU PENDULE

Pour avoir l'étalonnage du pendule, j'ai employé une table triangulaire ayant trois pieds sur laquelle est posé le pendule horizontal. La déviation de la tige du pendule, indiquée par un petit miroir concave attaché au centre de rotation, est mesurée par la déviation de l'image sur une règle semi-transparente posée à un mètre de distance. Les éléments de cette table sont :

Distance entre chaque pied 25 cm.

Marche de vis de pied 0.5 mm.

Chaque pied tourne à l'aide d'un pignon (nombre de dents : 66) et d'une vis

sans fin ; et le cadran qui se trouve au bout de l'axe de la vis est gradué par cent. Quand on fait tourner la vis de la valeur d'une de ces divisions, nous avons l'inclinaison de la table par rapport à la direction de pied 3.03×10^{-7} ou $0.0625''$.

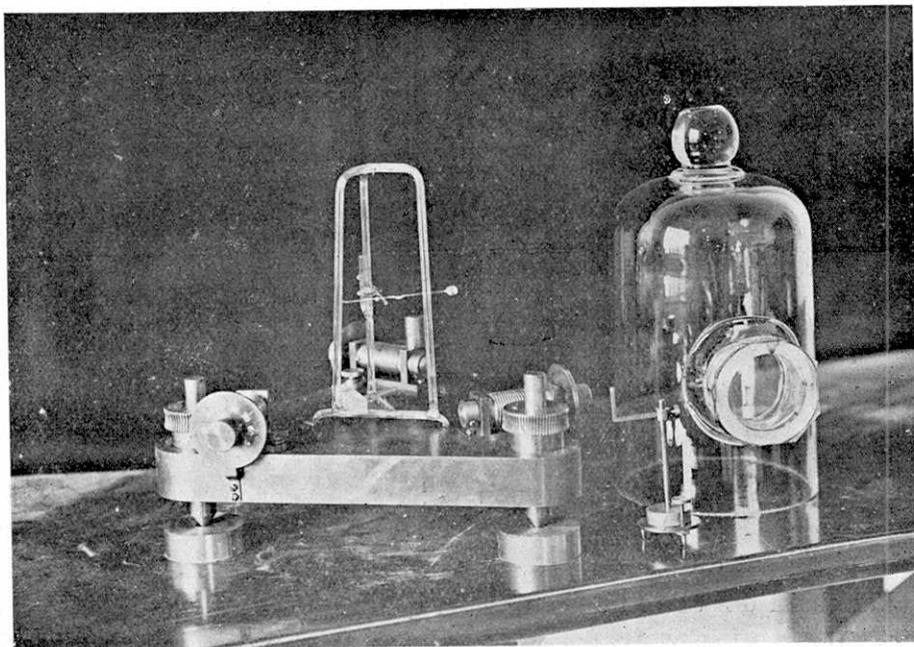


Fig. 3.

Pour vérifier la relation (6), j'ai commencé une expérience en faisant varier θ , et des résultats obtenus j'ai tiré

$$(8) \quad \frac{1}{T^2} = K(\theta + a)$$

où K et a sont constantes, et par le calcul de la relation (6), on a

$$K = \frac{3g}{8\pi^2 l}, \quad a = \frac{3\pi r^4 n}{2mglL}$$

On peut considérer la relation (8) comme la confirmation de la relation (6), mais c'est un problème difficile que de trouver la valeur a de ces expériences.

En deuxième lieu, j'ai observé la déviation en donnant très peu d'inclinaison à la table. Il est plus commode de représenter une relation par la période T que par θ qui accompagne toujours a . Quand on modifie la relation (2) par (8), on a

$$(9) \quad \varphi = \frac{3g}{8\pi^2 l} \times \phi T^2$$

ou bien au lieu de φ , quand on a δ comme déviation de l'image sur la règle posée à un mètre de distance,

$$(10) \quad \delta = \frac{75g}{\pi^2 l} \times \phi T^2$$

Si l'on met $l=9$ cm, $g=980$ cm/sec², $\phi=4.85 \times 10^{-6}$ ($\equiv 1''$) on a

$$(11) \quad \delta = 0.404 \times 10^{-2} T^2$$

qu'on peut accepter comme exprimant la sensibilité du pendule.

Les résultats fournis par l'expérience sur un des pendules sont représentés au tableau suivant :

Période (sec.)	15.6	19.8	24.8	31.6	33.6	38.2	44.8
δ (cm.)	1.03	1.70	2.81	4.25	4.70	6.40	8.65

Grâce à ces résultats, on aura un diagramme (Fig. 4.) ayant T^2 pour abscisse et δ pour ordonnée.

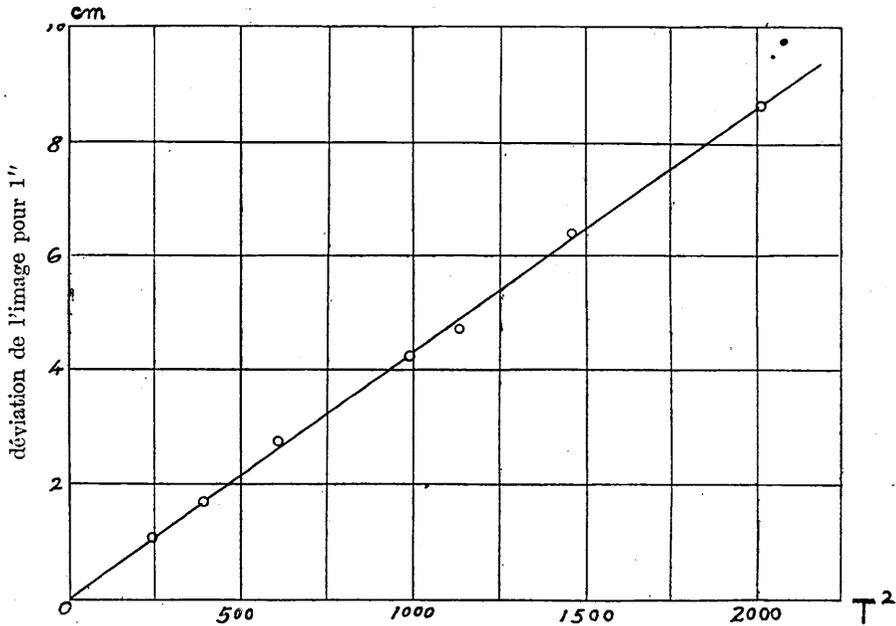


Fig. 4.

Ce diagramme représente une ligne droite $\delta = 0.432 \times 10^{-2} \times T^2$ qui s'accorde bien avec la relation (11). Dans le cas où la période du pendule est augmentée de plus de 60 secondes, on a 15 cm. pour la valeur de δ .

Quant à l'amortissement du pendule, son amplitude diminue seulement par l'effet de la friction de l'air et son degré est tel que l'amplitude devient la moitié de sa valeur pendant 4 min. 20 sec. indépendamment de la période.

ARRANGEMENT

Avec le pendule horizontal tel qu'il vient d'être défini, j'ai commencé dernièrement à observer les variations d'inclinaison de la surface terrestre. Dans une cave qui se trouve à l'Université impériale de Tokyo, j'ai posé, sur un bloc de pierre, deux pendules pour *N-S* et *E-O* components. L'arrangement général est représenté schématiquement dans la Fig. (5).

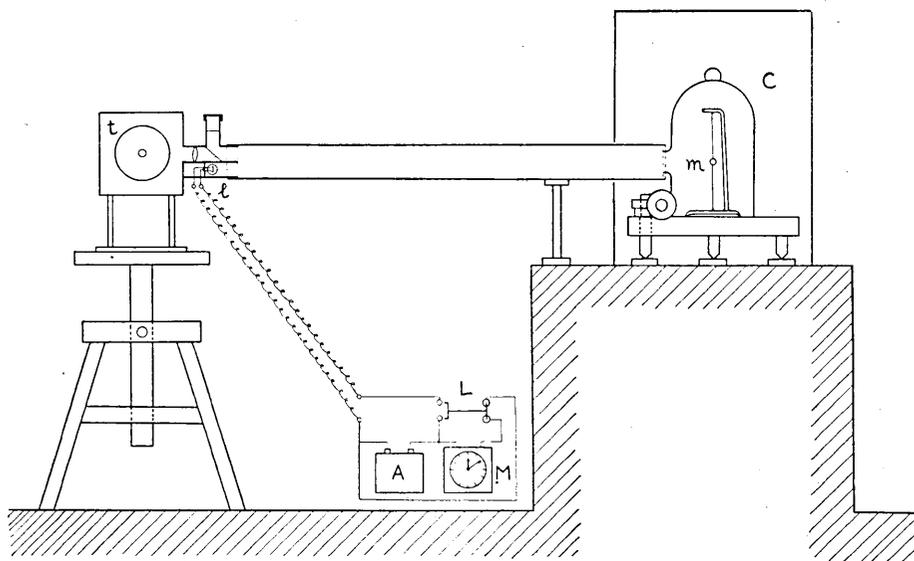


Fig. 5.

Pour mettre l'appareil à l'abri des perturbations vibratoires qui provoquent souvent des sauts d'image, j'ai fixé les pieds du cadre du pendule sur la table triangulaire avec une sorte de cire. Comme point de référence, j'ai placé auprès du pendule un autre miroir qui indique toujours la déviation constante. (non représenté dans la figure).

J'ai posé le pendule horizontal dans une cloche de verre (c) pour le mettre

à l'abri de l'humidité, de la moisissure et des perturbations par les courants d'air. Pour empêcher la rouille aux pieds de la table triangulaire, j'ai tenté de les placer dans une cuvette emplie d'huile (non représentée dans la figure) ; j'ai d'autre part, le projet de faire les pieds en acier inoxydable.

Le miroir concave (m) attaché à la tige du pendule réfléchit le faisceau lumineux d'une petite lampe électrique (l) allumée par un accumulateur (A) et enregistre sa déviation sur un papier sensible roulé sur un tambour (t) dont la rotation dure une semaine. Pour obtenir une interruption dans l'enregistrement, je me suis arrangé de manière à couper le courant électrique deux fois par jour au moyen d'une montre (M) et d'un relais (L).

J'ai garde toujours la période du pendule à 20 sec. et la distance entre le miroir et le papier sensible à un mètre.

Les variations de température de la cave où j'ai posé les pendules, sont généralement si petites qu'on n'y constate pas $1^{\circ} C$ de différence pendant une semaine.

RESULTATS OBTENUS

Les enregistrements donnés par les deux pendules pendant trois mois (Juillet, Août et Septembre) correspondent à la température atmosphérique ou plutôt à la température de la surface de l'écorce. Il y a un maximum à 4 heures après-midi, un minimum à 5 heures du matin dans la variation diurne (à O-E component) et son amplitude correspond à celle de la température de l'air. En comparant ces enregistrements à la température moyenne du jour (données de l'observatoire central de météorologie de Tokyo) pendant plus de deux mois, on remarque entre eux le même rapport. (Fig. 6)

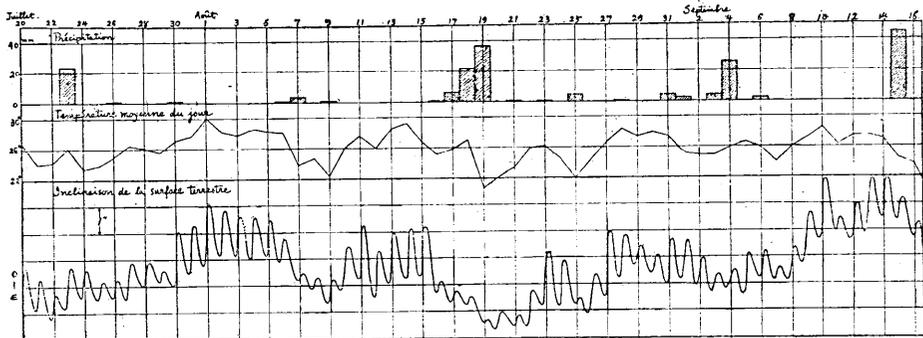


Fig. 6.

Ce rapport, cependant, est plus remarquable à $E-O$ component qu'à $N-S$ component et un diagramme vectoriel de deux components représentera l'effet thermique dépendant de la situation d'un terrain. De plus, comme on le voit dans la figure (6), il me semble que la quantité de précipitation est indifférente à la variation d'inclinaison de la terre.

Les résultats obtenus par M. Mazelle¹⁾ à Triëste ne donnent pas une si grande amplitude ; c'est dû à ce que ses observations ont été faites dans une cave moins sensible à l'influence de la chaleur superficielle de la terre.

A cause des perturbations thermiques de l'écorce, je ne peux pas augmenter la sensibilité de l'appareil et dans l'état actuel je n'arrive pas encore à dégager l'influence des marées de l'océan ou de l'écorce.

L'étude des variations de l'inclinaison avant et après le tremblement de terre est intéressante pour nous principalement. Pour des tremblements de terre lointains, l'enregistrement devient faible à cause de la secousse ; mais ensuite, il ne montre aucun changement d'inclinaison puisque le terrain est affecté seulement d'ondes sismiques. Pour quelques tremblements de terre voisins, au contraire, l'enregistrement donne un peu de changement de déviations immédiatement après les séismes. Avec les deux components d'enregistrement, j'ai trouvé que ce changement exprime quelquefois l'élévation, quelquefois la dépression dans la direction d'épicentre qui est trouvée à l'aide de sismographe.

Le tremblement de terre du 3 Août (18^h 26^m) a été assez fort à Tokyo et ses éléments ont été

Position d'épicentre : Au milieu du golfe de Tokyo.

Distance d'épicentre : 54 KM S(E) de Tokyo.

Amplitude maximum : 24.8 mm. à Hongo, Tokyo.

Malheureusement les fils de quartz ont été brisés et il manque l'enregistrement juste après ce séisme. Deux semaines avant ce tremblement de terre, j'ai relevé une anomalie à $N-S$ component indépendante de la perturbation thermique. Jusqu'à présent je n'ose pas affirmer que ce phénomène avait une relation avec ce séisme ; je me réserve de l'étudier à l'occasion d'un grand tremblement de terre. En passant j'ajoute qu'après ce tremblement de terre

1) Mazelle : Knott : The Phys. of Earthquake Phenomena (1908.) p. 188.

le pendule de *N-S* component ne donnait plus un bon enrégistrement par suite de la secousse.

De la photographie enrégistrée juste avant ce tremblement de terre, je peux conclure que, dans son état actuel de sensibilité, cet appareil n'a indiqué aucune variation spéciale.

REMARQUES.

Comme j'ai l'intention de continuer cette observation en dehors de l'influence thermique, j'ai le projet de placer cet appareil dans une cave profonde ou un puits de mine. D'après les mesures météorologiques, la température atmosphérique n'atteint pas au delà de la profondeur de 10 mètre, mais pour se mettre à l'abri de toute influence thermique, il semble qu'il faut se placer encore plus profondément. Quant aux lieux d'observations, je me propose d'en choisir en plusieurs endroits pour étudier les mouvements d'écorce, soit périodiques, soit non périodiques.

Grâce aux études sur les déplacements de l'écorce constatés après des tremblements de terre, nous pourrions peut-être arriver à expliquer certain mécanisme des séismes. Quant au problème de la prévision sur le tremblement de terre, il me semble qu'il est nécessaire l'avoir des mesures plus précises et un certain nombre d'observations.

A la fin j'exprime mes vifs remerciements à Messieurs les Professeurs K. Suyehiro, T. Terada et A. Imamura qui m'ont fourni des suggestions utiles et des données exactes.

RÉSUMÉ.

Après avoir construit le pendule horizontal du type de Zöllner en quartz fondu ; après l'avoir étalonné et après l'avoir placé dans une cave pour observer les variations d'inclinaison de la surface terrestre ; je suis arrivé aux résultats suivants :

- 1° L'amplitude des variations diurnes dépend toujours de celle de la température superficielle.
- 2° Celle des variations longues dépend aussi de la température moyenne de chaque jour, mais ce phénomène est remarquable à *E-O* component.
- 3° Après des tremblements de terre dans le voisinage, on trouve certains

déviations qui expriment l'élévation ou la dépression d'épicentre.

- 4° Deux semaines avant un fort tremblement de terre, il y a eu une certaine anomalie à *N-S* component.
 - 5° Immédiatement avant ce fort tremblement de terre aucun présage n'a été enregistré dans l'état actuel de sensibilité de l'appareil.
-