

CONSEIL INTERNATIONAL DE RECHERCHES

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE

SECTION DE SÉISMOLOGIE

Publications du Bureau Central Séismologique International

Sous la direction de E. ROTHÉ

SECRÉTAIRE DE LA SECTION DE SÉISMOLOGIE

SÉRIE A

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

FASCICULE N° 4

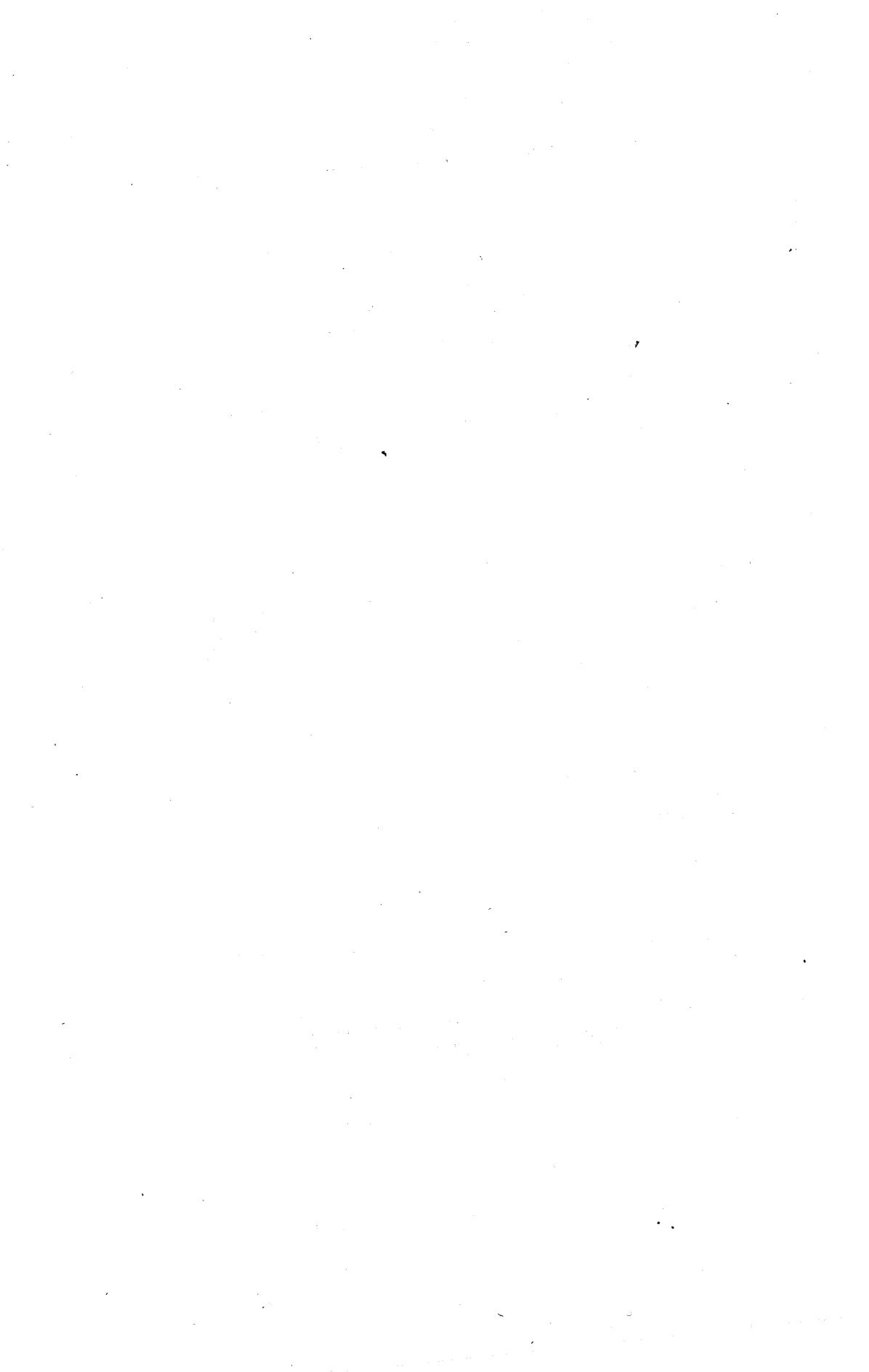
ÉTAT ACTUEL DES INSTRUMENTS SÉISMOLOGIQUES

PARIS (V°)

LES PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

49, Boulevard Saint-Michel, 49

1927



The Milne-Shaw Seismograph

Par J.-J. SHAW ⁽¹⁾

The Milne-Shaw Seismograph is the result of a decision made in 1913 to improve the Milne instrument. The Milne apparatus was designed in 1896 with a view to simplicity in order that it might present as few difficulties as possible to the untrained observer of that time. The magnification never exceeded six times the ground movement, and with the exception of its natural friction, it was quite undamped.

With so small a magnification, damping reduced the amplitude of a seismogram to microscopical dimensions, hence the necessity for striking out on new lines.

The principle adopted in the new design is to suspend a very thin focal mirror as frictionless as possible, and rotate it by the motion of a horizontal pendulum. A beam of light is reflected by the mirror and recorded upon sensitised paper.

The paper speed received careful consideration, it being realised that some observatories may feel the cost of maintenance if the paper consumption was excessive. Six millimetres per minute was first used but eight millimetres were eventually decided upon.

(1) NOTE. — Les clichés qui illustrent cet article ont été mis gracieusement à la disposition de la rédaction par M. J.-J. Shaw.

If a speed so slow was to be adopted, it became necessary to improve the distinctness of the photographic line ; as also, if greater sensitivity was to be used, it was necessary to improve the method of calibration.

DESCRIPTION OF THE INSTRUMENT

The Milne-Shaw Seismograph occupies a space 5 ft. x 2 ft. and 2 feet in height. The general arrangement will be seen Plate n^o 1. The details of the pendulum etc. and the recording mechanism are better shown in Plates Nos 2, 3, 4 and 5. The column (30) (31), (Figures in brackets thus will be found on Plate n^o 4) which supports the horizontal pendulum or boom is a lattice structure of cast iron and rests upon three feet, (8) (17) and (29). These feet are set at the corners of a right-angled triangle in order that any alterations to (a) the period of the pendulum, or (b) its zero position, shall be mutually independent. The distance apart of the feet is 11.46 inches. This special dimension was adopted so that one degree turn of the calibrating screw, with its 50 threads per inch, would impose one second of arc tilt upon the column.

The boom is hung upon the column by a tungsten wire .005 inches diameter, and rests with its steel point in an agate cone (12). The wire is gripped between blocks to prevent any rolling action where it leaves the column. The point is detachable for renewal, and is held in a 4-jaw holder. In addition to the detachable point there is a fixed point which can seat into the coned end of a brass screw. The fixed point is used during erection, after which the coned screw is withdrawn. This allows the point proper slowly and delicately to seat itself into the agate cone without injury.

The cast iron column also carries the damping device (20), comprising four Tungsten Steel Magnets which

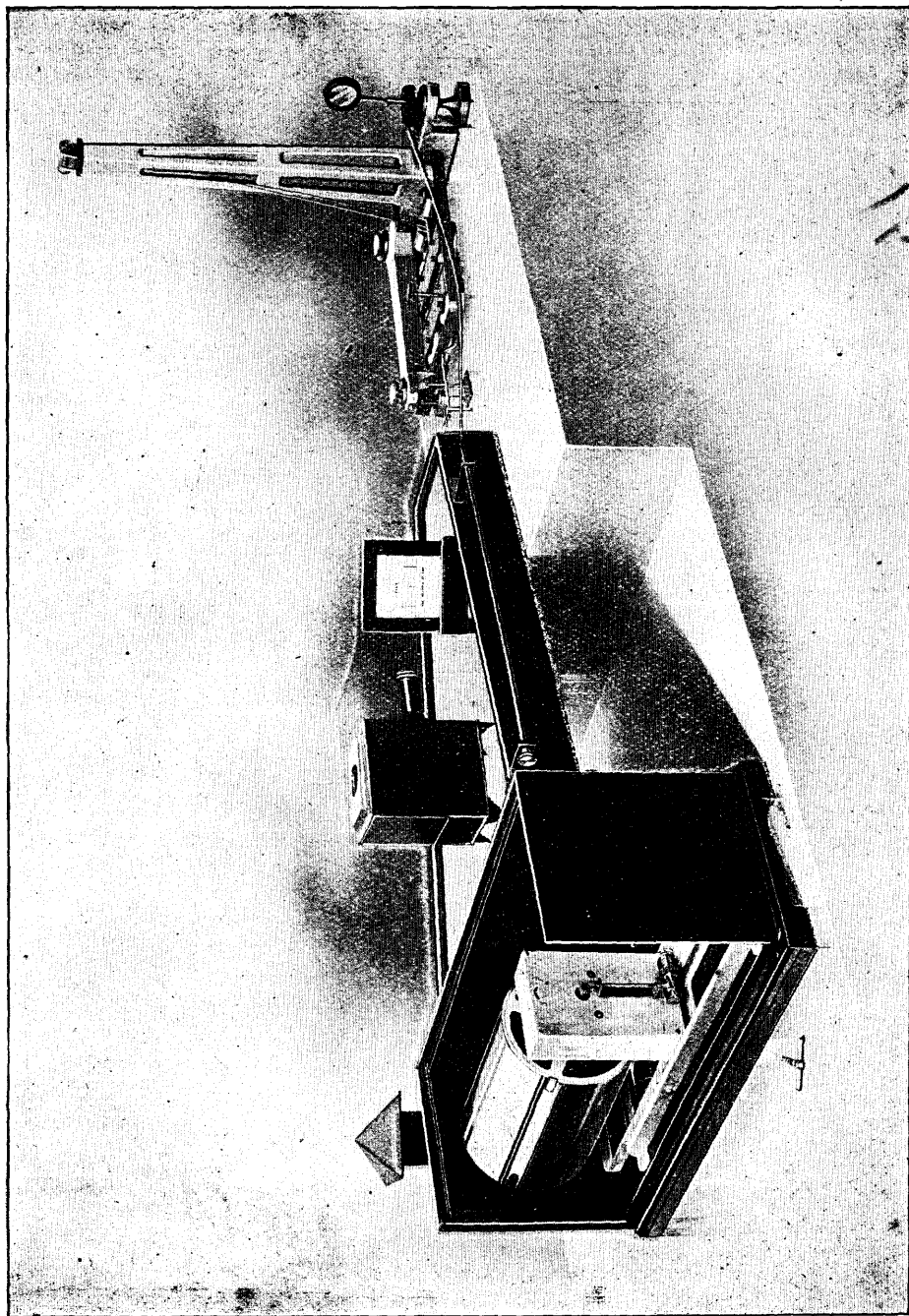


Plate no 1. — General Arrangement with Cases Removed.

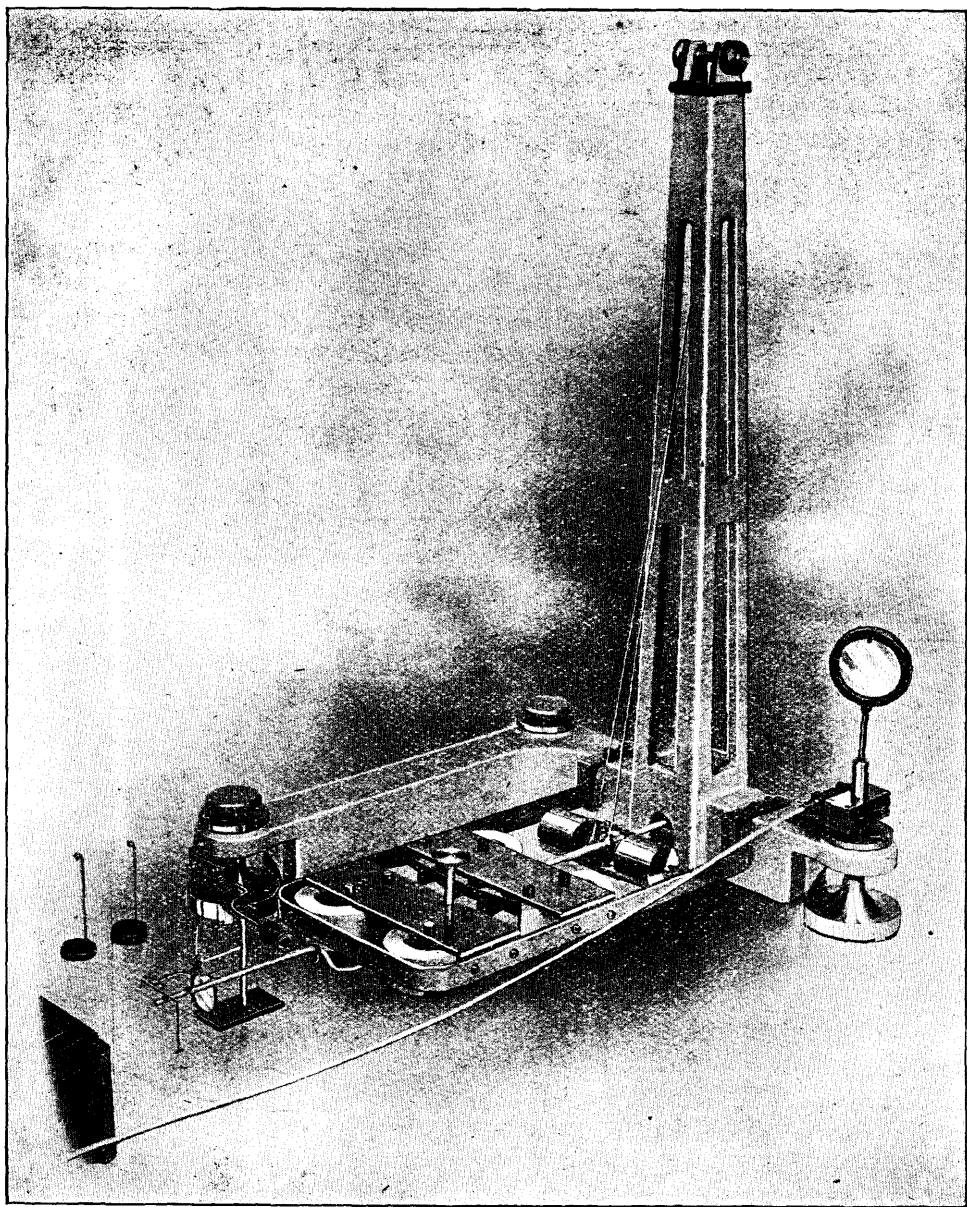


Plate n° 2 — Horizontal Pendulum and Damping Device.

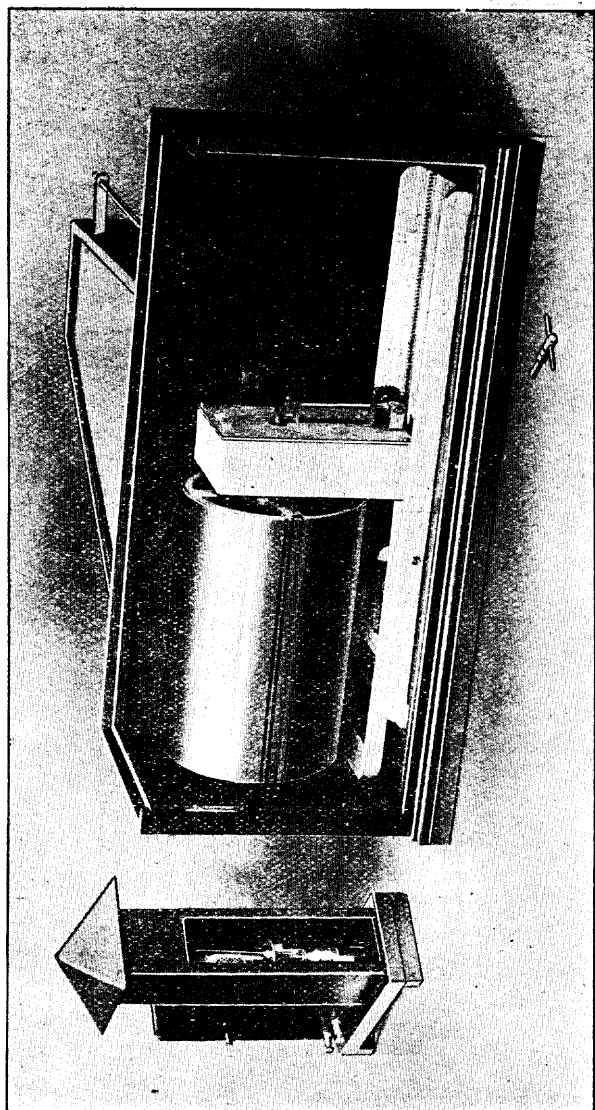
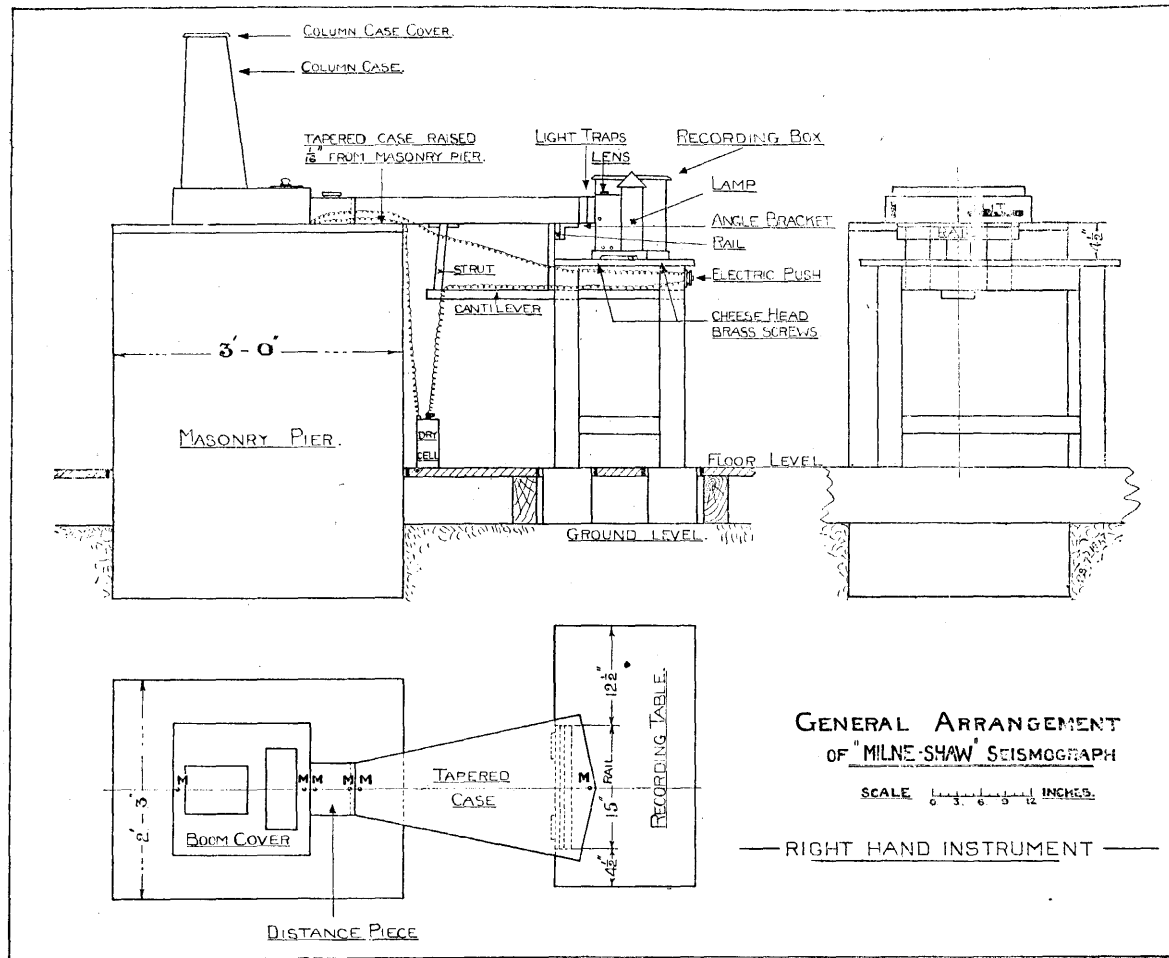


Plate n° 3. — Lamp and Recording Apparatus.



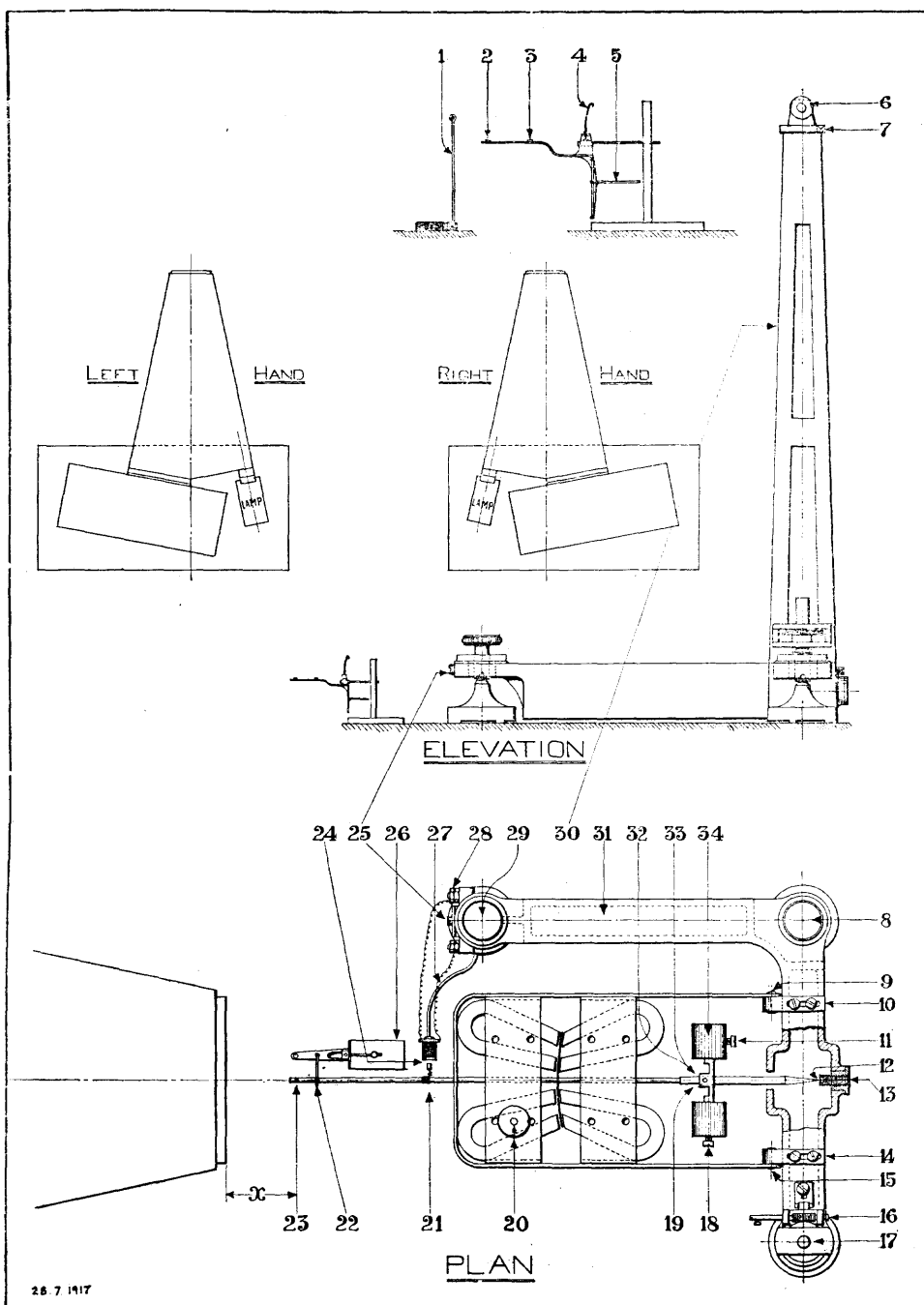


Plate nº 5.

may be raised or lowered to decrease or increase the damping ratio to any desired amount. To facilitate damping tests artificial movements of the boom are produced by means of a solenoid attracting a small Pellet of iron.

The pendulum or boom is made of light aluminium tube and carries a mass of 1. lb. (34), which is pivotted in an agate bearing four inches from the boom-point (19). A curved damping vane is fixed near the centre of the boom and at the outer end are two agate cones (22) (23) which correspond with a similar pair (2) (3) attached to the focal mirror. By coupling one pair the ground movements are magnified 150 times whereas the other pair give 250 magnifications.

The period of the pendulum is varied by the 50 thread per inch screw (29).

The calibrating screw (17) also has 50 threads per inch and is fitted with an arm, rotated by a traversing screw. This screw is connected by means of a flexible cable to a handle near the recording box, making it possible to adjust or experiment with the mounted pendulum without approaching it nearer than five feet.

The focal mirror (26) which stands adjacent to the outer end of the boom is mounted in an aluminium frame, the whole weighing not more than one gram. It rotates upon a single iridium point. This point and all agate cups are arranged to lie in the same horizontal plane, a construction which renders a second pivot unnecessary, and thereby removes many mechanical worries, and reduces the friction to a minimum.

Either Electric current (high or low voltages), Gas, or Oil may be used as the illuminant. The light passes through a fine vertical slit to the focal mirror. The ray is eclipsed for timing the record by a magnetic shutter, electrically connected to the Observatory Clock. This shutter has a unique feature quite new in the timing of scientific apparatus. A horizontal slit cut across the

shutter passes 3% of the light when the shutter is closed, resulting in a faint record of the trace being seen on the paper during the eclipse ; thus no part of the record is lost. This is particularly valuable when P or S arrives during one of the time breaks.

Just before reaching the mirror the ray passes through a second vertical slit. This is effective in sharpening the sides of the trace. After reflection, the ray falls upon a cylindrical lens placed horizontally in the recording box to focus the vertical ribbon of light to a point. This point is brought to its focus upon a fine slit running parallel to the axis of the lens, and lies in actual contact with the bromide paper, thus preventing any spreading of the light, and reduces the thickness of a lateral trace to .07 mm. It will be seen that with a traverse of 8 mm. per minute, waves of two or three seconds period are separated. This is an important development for Observatories where cost of maintenance is a consideration.

STANDARDISATION

The standardisation of the Milne-Shaw Seismograph has been reduced to a very simple operation. The instrument belongs to that class of seismograph where the amplitude in the trace is a direct measure of the amplitude of the ground movement, and not a measure of the velocity of the pendulum ; therefore much mathematical labour is dispensed with.

The magnification factor of a seismograph, as is well known, is merely nominal, unless the ground movements are very rapid, the true magnification of any movement being modified by the damping and the ratio of the earth period to the pendulum period.

Only two facts need to be experimentally determined to obtain the nominal magnification, viz. :

- (a) The undamped pendulum period.

(b) The displacement of the light spot for known amount of tilting of the column.

The first may be measured from the record, or taken by stop watch in the usual way. Special provision is made for ascertaining the displacement value with great precision.

The adopted unit of tilt is one second of arc. As before stated, one degree turn of the calibrating screw produces this amount. This screw is provided with a mirror, and a projecting lantern, seen in Plate N^o 1, projects a line on to the mirror, whence it is reflected to a distant scale on the recording box. One second of arc is represented by a two-inch movement of the line upon the scale. One hundredth of a second of arc may be imposed with precision. The displacement of the light spot is also read at the recording box on the amplitude scale.

The formula for calculating the nominal magnification is :

$$M = \frac{n^2}{g} \frac{x}{x} \frac{y}{x},$$

where

g = gravity

x = tilt of the column

$$n = \frac{2\pi}{T}$$

T = the pendulum period

y = the displacement of the light spot (amplitude).

When the unit of one second of arc is adopted for (x) , and the amplitude (a) is read in millimetres, the above formula reduces to the simple form :

$$M = \frac{ax829}{T^2}.$$

To calculate the TRUE amplitude of the ground movement this factor will be modified by :

(a) The damping ratio.

(b) The ratio of the earthwave period to the pendulum period.

To determine the damping ratio, the solenoid is used to give a deflection of the boom. The resulting movements of the light spot may then be measured either from the film, or read visually upon the amplitude scale provided. The period of the earthwave is read from the film. This is the whole of the data required to complete the calculation by the use of the Galitzin tables.

To avoid the labour thus entailed, graphs, seen on Plates Nos 6 and 7, have been made for several sets of constants, which are suggested for adoption. The true magnification of any wave in the seismogram may then be read on the graph without further mathematical treatment.

SENSITIVITY

In the design of the Milne-Shaw Seismograph the weight of the moving parts has been much reduced, with the result that the friction is very small. When the apparatus is carefully erected the damping ratio γ due to the mechanical friction need not exceed 1.015 : 1. This freedom from friction ⁽¹⁾ is secured by specially sharpened and polished iridium pivots working in polished agate cups. The total rotary movement of all the pivots combined is but $1^{\circ} 40'$ for each inch of amplitude in the record, and of this small motion only $3/29$ occurs where the pivot pressure exceeds one gram. The fine adjustments permit high periods to be obtained. A period of 120 seconds has been achieved. With the period set at 90 seconds, and a magnification of 250 times, one millimetre in the record represents a tilt of one inch in approximately 8,000 miles ⁽²⁾.

⁽¹⁾ *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 9, n^o 2.

⁽²⁾ *British Association Report*, 1917.

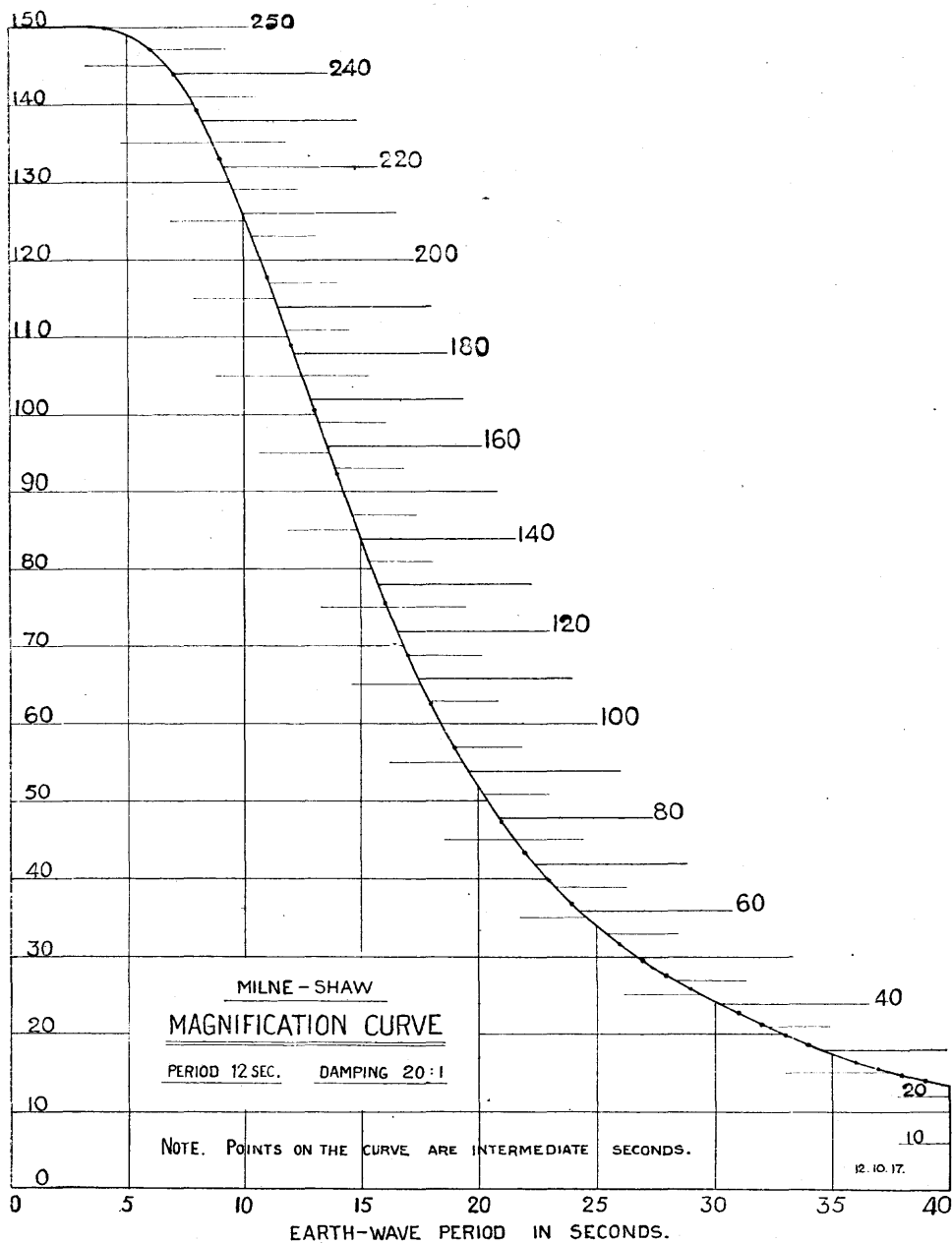


Plate n° 7 — Magnification Curve for a Pendulum Period of 12 seconds;
 Damping ratio 20 : 1 and nominal magnifications of 150 and 250.

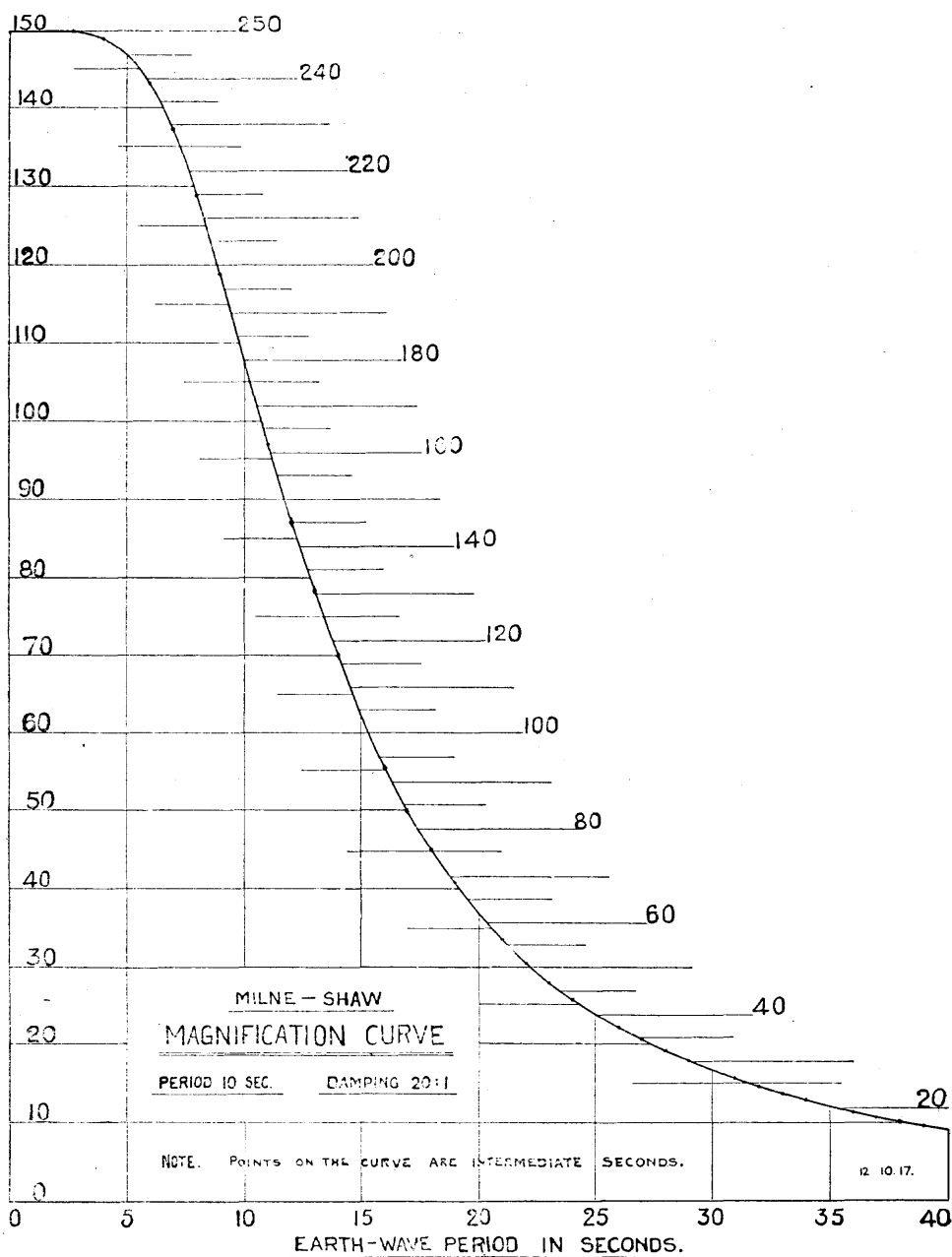
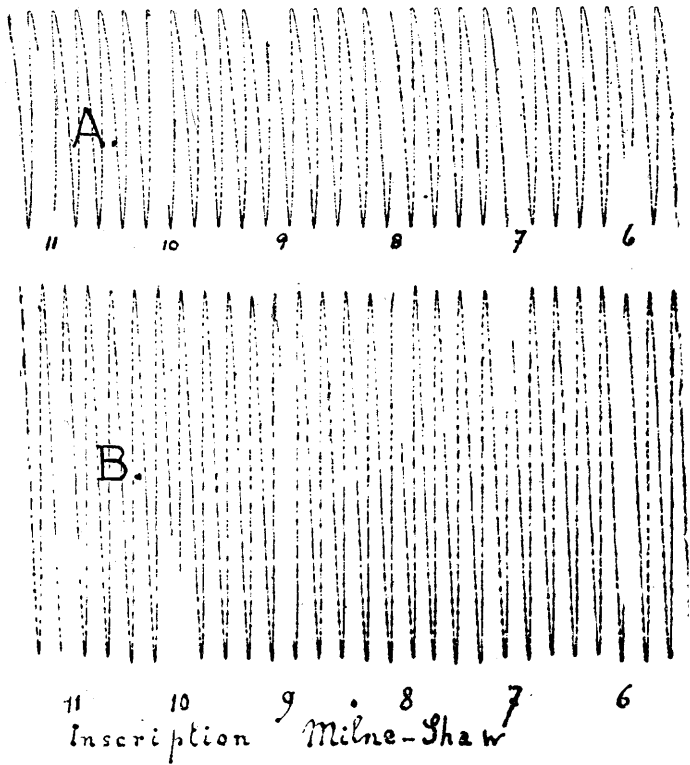


Plate n° 6. — Magnification Curve for a Pendulum Period of 10 seconds;
Damping ratio 20 : 1 and nominal magnifications of 150 and 250.

The apparatus is thus particularly suitable for measuring small changes of level, such as tidal load.

EFFICIENCY

The performance of the Milne-Shaw Seismograph has



STRASBOURG 1924 MARCH 3RD

Plate n° 8

been tested by Professor Rothé, Director of the International Seismological Bureau, on the experimental table

at Strasbourg with satisfactory results ⁽¹⁾. The curve representing the motion of the table is almost identical with that shown by the seismograph.

The movements of the table were produced by an electrically driven cam, the amplitude and periodicity of which can be changed at will, and its motion recorded mechanically on smoked paper. The seismograph was placed upon the table and made its record photographically in the usual manner. Both curves were timed by the same electric circuit. The apparatus was tested both with simple and complex periods and in each case faithful records were obtained.

Plate N° 8 illustrates curves where the periods of the table and pendulum were alike (a condition when distortion due to synchronism is most likely to develop). Curve A shows a table movement of 0.13 mm. magnified 109 times. Curve B is the corresponding seismogram, in which, by the Galitzin formulas, the magnification should be 187. Measurement of the curve gives magnifications ranging between 181 and 187, or an error of about 3 % under the severe test due to synchronism.

Inspection of the time-breaks shows the phase lag of the recording curve behind that of the table movement. This is in strict accord with the Galitzin formula too.

It has been demonstrated ⁽²⁾ that when these machines are standardised the resulting seismograms are identical in all respects. The two seismograms reproduced side by side in Plate N° 9 are records of the same earthquake, but taken upon different machines operating in separate buildings 60 feet apart, though in the same azimuth, and in series on the same time circuit. The machines were in

(1) NOTE DE LA RÉDACTION. — Voir l'article *Essais de Sismographes à la Plate-Forme*, par MM. E. ROTHÉ, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, et J. LACOSTE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Strasbourg, dans le premier fascicule de cette série.

(2) *British Association Report*, 1924.

course of erection for testing purposes, and their standardising was not yet complete. The respective nominal magnifications of the machines at that moment were

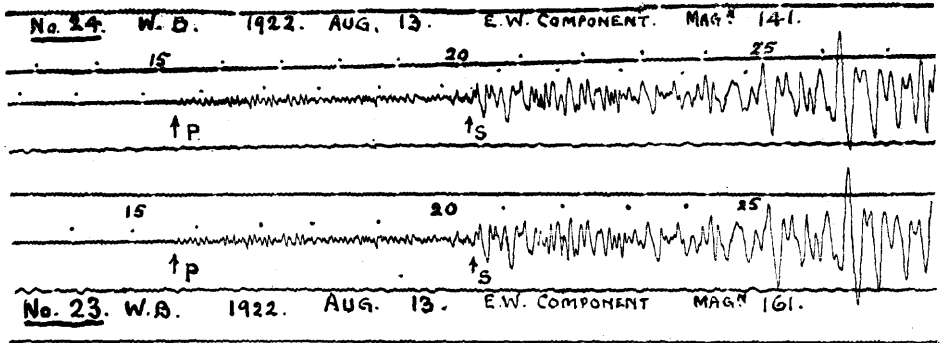


Plate n° 9.

141 and 161, which accounts for the difference in amplitude. The amplitudes for the large wave after the 26th minute are in the ratio of 141 to 163 within about 1 per cent. of the calibrated value.

Reçu en juin 1926.

Séismographe Mainka
Type
du Bureau Central Séismologique Français

Par E. ROTHE

Directeur du Bureau Central Séismologique

et H. LABROUSTE

Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg

Lors de la constitution du Bureau Central Séismologique Français, nous avons été conduits à faire choix d'un type d'instrument pour les stations secondaires de France et des Colonies.

Il existe en France deux stations principales, à Paris et à Strasbourg, munies d'appareils de précision de différents modèles : il convenait de doter les autres stations d'instruments à la fois sensibles et robustes, mais surtout pouvant être manipulés par un personnel sans préparation spéciale, donc peu apte au règlement d'instruments délicats. Aux colonies en particulier la simplicité du dispositif doit être une condition fondamentale. Il était bon en outre que le séismographe pût être démonté et remonté sans difficultés. Pour toutes ces raisons notre choix s'est arrêté au pendule horizontal genre Mainka : la valeur de 450 kilogrammes a été fixée pour la masse

afin que les instruments nouvellement construits restent comparables aux appareils déjà en service dans divers observatoires. Lorsque ce pendule horizontal est bien réglé à une période d'une dizaine de secondes, il donne des résultats presque comparables à ceux des appareils Wiechert. Si ces derniers sont plus sensibles ils sont par contre d'un montage et d'un entretien plus compliqués.

Nous avons pu cependant nous convaincre que le modèle existant du pendule horizontal Mainka présentait des inconvénients graves, tenant surtout à des imperfections de construction. Il nous a semblé que le réglage des différentes pièces devait être fait à l'aide de vis de précision et non par des tirages à la main, que la masse devait être bloquée pendant les réparations, le réglage des diverses pièces, qu'enfin le constructeur devait donner au bâti une forme rendant toutes les pièces aisément accessibles pour le montage et le démontage.

Nous nous sommes adressés à cet effet à la Société d'Optique et de Mécanique de Haute Précision de Paris qui a su satisfaire aux conditions que nous lui imposions et qui a elle-même apporté aux diverses pièces de l'instrument des perfectionnements appréciables. C'est le modèle sorti de ses ateliers que nous décrivons ici (Fig. 1).

Des exemplaires du type du Bureau Central sont actuellement en fonctionnement à Strasbourg, Grenoble, Bagnères-de-Bigorre, Phu-Liên (Haïphong), Tunis, Dakar, la Martinique, Madagascar, et quelques-unes de ces stations ont déjà rendu des services signalés au travail international, en particulier celle de Phu-Liên, qui, en liaison avec Zi-ka-wei, facilite beaucoup l'étude des phénomènes de l'Asie orientale ⁽¹⁾.

Principe du Séismographe. — Le pendule horizontal est constitué par une masse de 450 kilogrammes environ

⁽¹⁾ L'appareil de Strasbourg est destiné à l'instruction des stagiaires qui font un séjour au Bureau central; il sert à des exercices de montage, démontage, réglage, étude des variations du grandissement, etc...

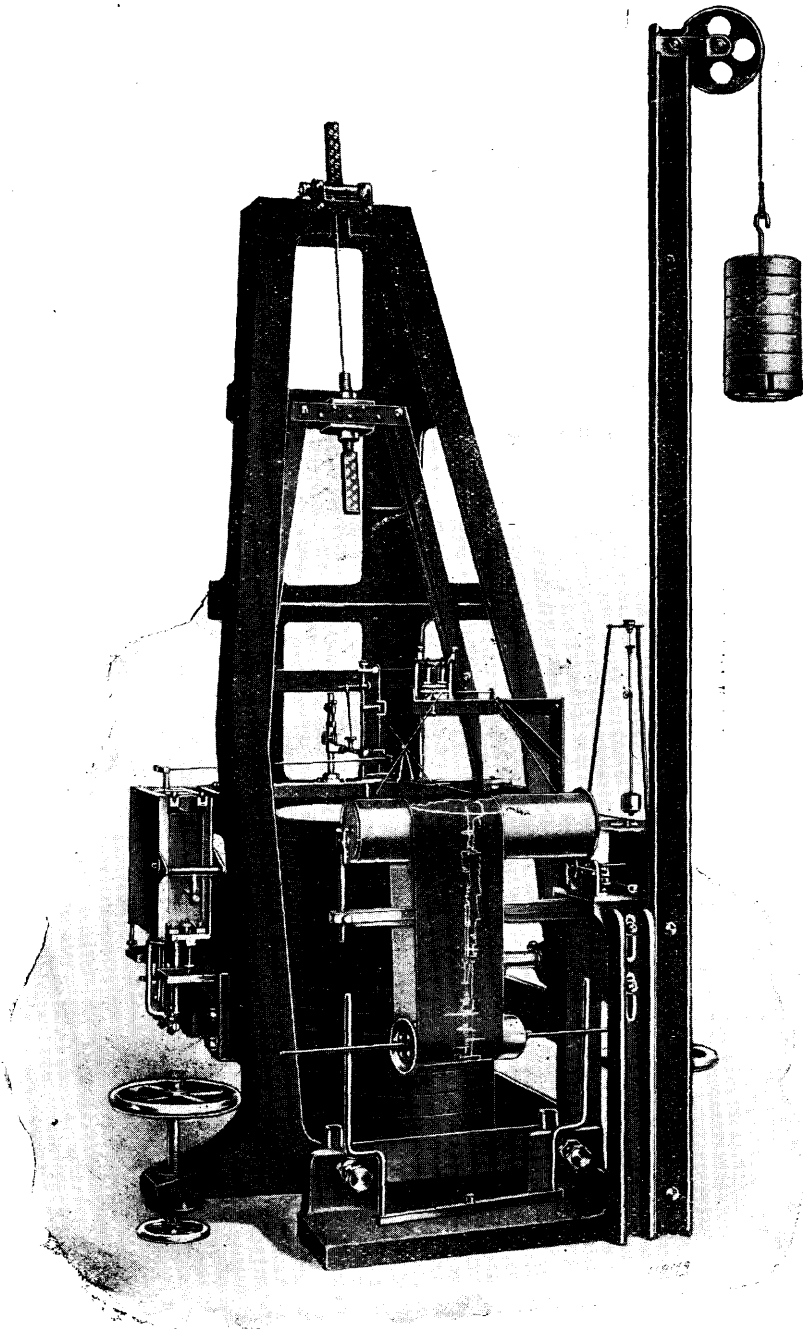


Fig. 1

suspendue de façon à osciller autour d'un axe presque vertical.

Lors d'une secousse séismique, les déplacements relatifs du pendule par rapport au sol dûs à l'inertie de la masse sont enregistrés par une pointe solidaire de cette dernière, et cet enregistrement se fait sur un rouleau de papier enfumé solidaire du sol. On obtient ainsi une composante horizontale du mouvement.

Les déplacements du pendule étant très petits, un système de tiges articulées est nécessaire pour amplifier les mouvements de la pointe, dans un rapport connu et réglable dans certaines limites.

Pour éviter que le mouvement de la masse donne lieu à des oscillations propres du pendule, on intercale un amortisseur sur le trajet des tiges articulées.

DESCRIPTION

(Voir les planches à la fin du volume) ⁽¹⁾

Dispositif Pendulaire. — Un bâti en fonte A, d'une seule pièce ayant 1 m. 65 de hauteur, repose en trois points sur le sol dans des crapaudines ; un des points *a* est fixe, les deux autres sont pourvus de vis calantes *b* et *c*.

Ce bâti est symétrique par rapport à un plan vertical et sa base mesure 590 m/m normalement et 610 m/m parallèlement à ce plan de symétrie.

À la partie supérieure du bâti est placé un petit cylindre B, dont l'axe horizontal est traversé normalement et au milieu de sa longueur par le fil de suspension C du pendule.

Le cylindre B est maintenu et réglé en place au moyen de deux vis butées *d* solidaires du bâti A.

⁽¹⁾ Ces planches ont été mises gracieusement à notre disposition par la Société d'Optique et de Mécanique.

Un manchon D monté à friction sur le fil C retient celui-ci sur le cylindre B.

L'autre extrémité du fil est pourvue d'un manchon E identique au précédent, sur lequel repose la traverse *e* d'une fourche G qui prolonge le fil de suspension pour embrasser et porter le poids du pendule par l'intermédiaire d'un axe creux H.

La traverse *e* est munie d'une tige creuse filetée *f* avec écrous *g* pour permettre le réglage en hauteur de la masse pendulaire.

La rotation de la masse autour d'un axe vertical est assurée : d'une part au moyen des organes de suspension B, C, D, E, G, H, déjà décrits, d'autre part à l'aide d'une nouvelle liaison avec le bâti A réalisée par une lamelle flexible K qu'un étrier I relie à l'axe creux H tandis qu'un support L la rend solidaire du bâti A.

La lame K est réglable dans un plan vertical, de façon à lui donner son maximum de flexibilité dans le sens horizontal.

Une pièce M formée d'une plaque verticale, terminée à sa partie inférieure par une rondelle d'appui, est traversée et supportée vers le milieu de sa hauteur par l'axe creux H ; c'est elle qui reçoit la masse pendulaire.

Cette masse est constituée par une série de galettes en fonte N empilées les unes sur les autres.

Dans chaque galette est ménagée une fente radiale dans laquelle s'engage la plaque verticale de la pièce M pour guider et maintenir en place les galettes. La galette du milieu est disposée en deux parties pour réserver le passage de l'axe creux H.

Dispositif d'amortissement et d'agrandissement. — A l'intérieur de l'axe creux H et sensiblement au centre de gravité de la masse pendulaire est fixée une pièce d'appui O portant une mince tige d'acier *k* ; cette tige est reliée à une bielle de connexion horizontale *l* qui vient s'attacher en α à un premier levier vertical P du dispositif d'agrandissement.

Ce levier est articulé en m , à son extrémité inférieure, au moyen de deux lamelles flexibles verticales qui le relient au bâti ; il s'élève jusqu'en n , en traversant la boîte de l'amortisseur à air, donnant un premier rapport d'agrandissement de 5 environ.

Le réglage de la bielle l est obtenu grossièrement en allongeant ou raccourcissant cette bielle qui est constituée à cet effet par deux tubes coulissant l'un dans l'autre et que l'on peut immobiliser au moyen de la vis p ; ce réglage s'achève commodément en agissant sur la tête de vis q qui fait saillie à l'autre extrémité de l'axe creux H en dehors du bâti A et permet de déplacer à volonté la pièce O .

A la partie supérieure du levier P s'assemble en n une bielle horizontale r dont l'autre extrémité est reliée en β à un équipage s s' s'' mobile autour d'un axe vertical. La tige verticale s de cet équipage peut tourner dans deux portées cylindriques avec rattrapage de jeu ; un fil de suspension t enroulé sur une poulie permet d'en faire le réglage en hauteur.

Une petite masse mobile u assure l'équilibrage autour de l'axe vertical s , la branche s' se prolongeant pour porter la plume traçante v .

Un jeu suffisant en hauteur a été prévu, dans le dispositif de suspension de l'équipage mobile, pour permettre de faire un réglage préalable ayant pour but d'assurer à la tige s un passage dans les portées en question avec le frottement minimum. L'équipage mobile peut être soulevé de telle manière que la tige s sortant alors de la portée inférieure, il se trouve pendre librement par son fil ; on peut ensuite, par un réglage convenable de la pièce comprenant la portée, amener cette dernière à se trouver exactement au-dessous de l'extrémité inférieure de la tige. Ce réglage effectué une fois pour toutes, on abaisse l'équipage à la hauteur appropriée pour l'usage.

Un dispositif de réglage est prévu en n pour assurer l'horizontalité de la bielle r .

Le point de liaison β de l'équipage avec la bielle r se fait à l'aide d'une vis de pression qu'on peut fixer sur une pièce fendue, faisant partie de l'équipage, plus ou moins près de l'axe de rotation s , ce qui permet d'obtenir un nouvel agrandissement variable à volonté. Comme la distance du point de liaison β à l'axe vertical s peut varier de 30 m/m à 3 m/m environ, tandis que la distance entre cet axe et la plume est de 410 m/m environ, on peut réaliser un agrandissement variable de 14 à 140 environ ; on peut donc ainsi obtenir des agrandissements variant de 70 à 700.

La plume traçante ν est elle-même mobile autour d'un axe horizontal x et équilibrée au moyen d'une petite masse réglable ν .

L'équipage $s s' s''$ est porté par un support 6 monté sur une traverse 7 fixée au bâti A.

Le support 6 est muni d'organes de réglage par vis et écrous qui permettent d'élever ou d'abaisser, d'avancer ou de reculer et de fixer en place avec précision le dit équipement.

L'amortisseur se compose d'une boîte Q montée sur un support R rapporté sur le côté du bâti A ; dans cette boîte peut osciller une lame S faisant partie du levier P, ainsi qu'il a été dit plus haut ; l'amortissement se fait par l'action de la différence de pression qui tend à se produire sur l'une et l'autre face de la lame S et se transmet à la masse oscillante par la bielle L.

La boîte Q est munie d'une fenêtre qui peut être fermée ou ouverte suivant que l'on veut faire agir ou diminuer l'action de l'amortisseur.

Des vis calantes et des vis de serrage sont prévues pour le réglage de la boîte sur son support.

Lorsque le système pendulaire a été convenablement réglé, on immobilise la masse mobile au moyen du dispositif spécial placé en 8 pour faciliter le réglage des mécanismes d'agrandissement.

Le dispositif 8 constitue un des principaux perfectionnements dont on apprécie la valeur.

Dispositif d'inscription. — Ce dispositif, indépendant du système pendulaire, se compose : d'un bâti T, d'un mécanisme d'horlogerie U à contrepoids, de rouleaux V et V' et d'un électro-aimant X.

L'entraînement du cylindre V par le mécanisme d'horlogerie est obtenu au moyen de poulies à gorges.

L'inscription se fait par déplacement de la plume traçante ν sur une bande sans fin de papier enfumé. Cette bande passe sur le cylindre V placé horizontalement, elle est tendue par le poids du cylindre V' engagé dans sa boucle inférieure ; l'axe du cylindre V' est oblique et réglable dans un plan horizontal par rapport à l'axe du cylindre V : il est maintenu dans cette position au moyen de son axe z et par les deux bras verticaux d'une fourche renversée, qui peut pivoter dans la semelle du bâti T. Cette disposition qui donne une légère tension au papier a pour effet de produire automatiquement le déplacement de la bande sur le cylindre V et d'éviter ainsi la confusion des courbes inscrites par superposition après chaque rotation.

Le cylindre V peut être réglé en hauteur par déplacement de son support Z sur le bâti T au moyen des vis de pression 2 et 3.

L'électro-aimant X est commandé par une horloge à contact qui ne fait pas partie du séismographe, il a pour but de soulever la pointe traçante à des intervalles connus pour marquer les temps (généralement deux secondes par minute).

La position du dispositif inscripteur par rapport au bâti du séismographe est repérée à l'aide de deux vis butées 4 qui peuvent être réglées au contact de deux portées 5 ménagées à cet effet sur le bâti A.

Ce dispositif peut ainsi être remis en position sans tâtonnement lorsqu'il a été déplacé, soit pour changer la bande de papier, soit pour toute autre cause.

Le deux portées 5 serviront également à établir l'axe du séismographe suivant en direction NS et EW au moment de son installation.

Deux petits crochets 11 et 12 pour la détermination des constantes sont disposés : le 11 à l'extrémité de l'axe creux H, sur la pièce *q*, le 12 sur la liaison *a* de la bielle *l*.

Mesure de l'agrandissement statique du séismographe. — Elle peut être faite de deux manières différentes :

1^o Un premier appareil construit par la Société d'Optique et de Mécanisme de Haute Précision est représenté dans la figure 2. Il comprend un support vertical à coulisse

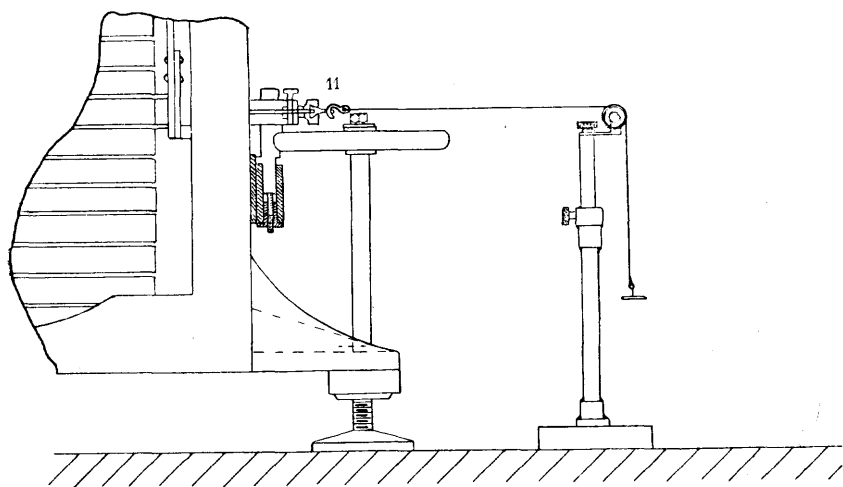


Fig. 2.

au sommet duquel est montée une poulie folle dont la hauteur doit être réglée de façon que sa génératrice supérieure soit à la hauteur de l'axe H qui supporte la masse pendulaire de 450 kilogrammes. Pour mesurer l'agrandissement l'on attache à l'anneau 11 de l'axe E, par une de ses extrémités, un fil fin et très souple que l'on fait passer sur la poulie de l'appareil. A l'autre extrémité du fil pend un poids de 5 grammes. Sous l'action de ce poids la masse pendulaire se déplace entraînant la pointe traçante *v* qui s'arrête à fin de course. La longueur du chemin parcouru

par cette pointe permet d'obtenir l'agrandissement cherché ⁽¹⁾.

2° Un deuxième appareil établi au Bureau Central est constitué de la manière suivante (figure 3) : sur la tige P qui

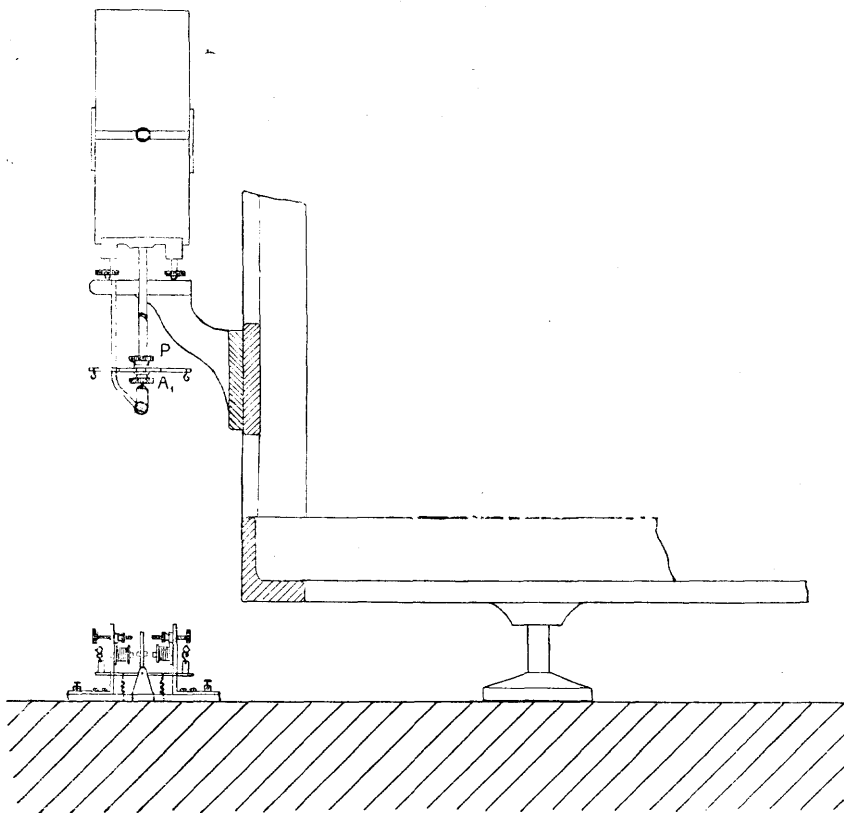


Fig. 3.

sert à l'agrandissement et porte aussi la partie mobile de l'amortisseur est fixée en A_1 une pièce horizontale aux extré-

⁽¹⁾ H. LABROUSTE, *Exposé sommaire de l'état de la sismologie*. Extrait des « Annales de Physique », 9^e série, T. XIX, janvier-février 1923. Masson et C^{ie}, Paris, 1923.

E. ROTHÉ, *Le tremblement de terre*. Alcan, Paris, 1925.

mités de laquelle sont suspendues deux masses pesantes. Celles-ci reposent d'abord toutes deux sur les extrémités d'un fléau plat de balance $F_1 F_2$ maintenu en équilibre horizontal par tension de deux petits ressorts $r_1 r_2$. Perpendiculairement au fléau se trouve une lame de fer doux

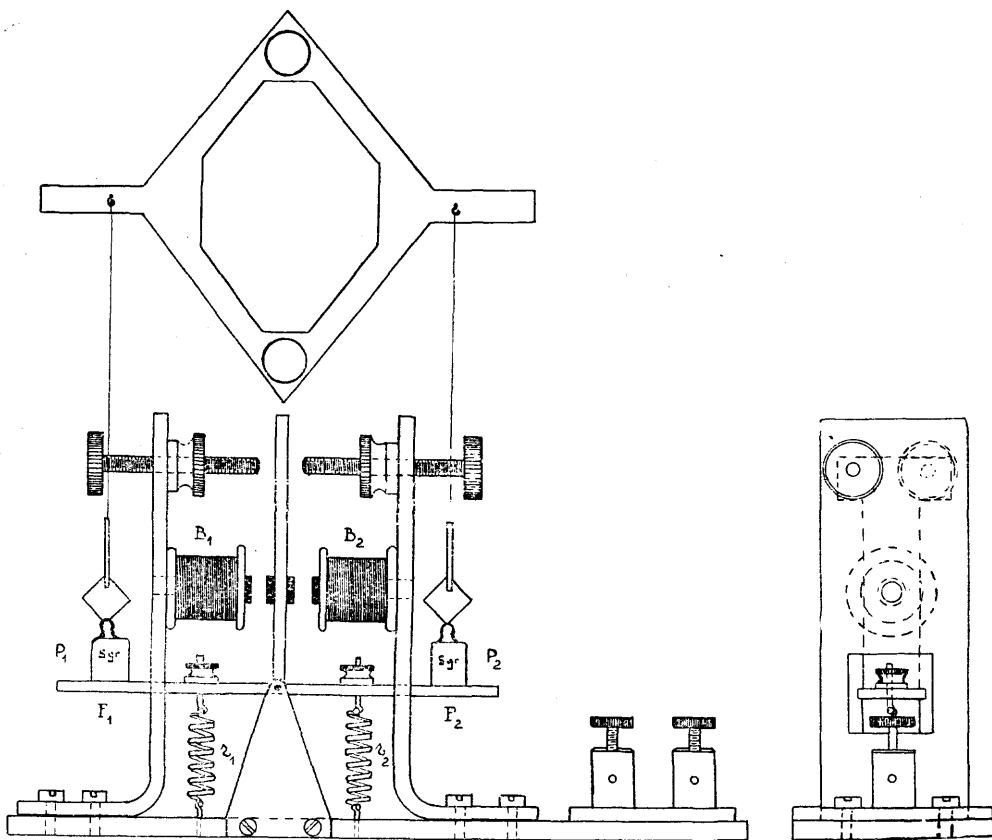


Fig. 4.

qui peut être tirée vers la gauche ou vers la droite successivement par deux bobines $B_1 B_2$ d'électro-aimants (Fig. 4). Si le courant passe dans la bobine B_1 , P_1 est abaissé et agit sur le levier, produisant un moment calculé de telle manière que son action soit équivalente à celle du poids pré-

cédemment accroché au crochet 12. Pendant ce temps P_2 reste soulevé et le fil de suspension étant sans résistance, il n'intervient en aucune façon. Si le courant passe dans B_2 l'effet inverse se produit ; P_1 est soulevé, P_2 est libéré et l'effet est le même que si l'on avait accroché directement le poids au crochet 11.

On conçoit immédiatement les avantages de ce dernier dispositif ; tous ceux qui se sont servis du premier procédé savent combien il est pénible d'obtenir la symétrie des déviations à droite et à gauche ; la présence de l'observateur, ses mouvements divers pour accrocher les deux poids, pour passer les fils sur la poulie, sont cause d'autant de perturbations regrettables. Avec le deuxième dispositif les manœuvres peuvent être faites à grande distance de l'instrument et on arrive ainsi à une parfaite égalité de déviations dans les deux sens.

Inscription optique. — On peut, dans des cas exceptionnels, réaliser une inscription optique à l'aide du séismographe décrit en utilisant un agrandissement qui peut être rendu considérable (5.000 par exemple), et qui est obtenu en adaptant à l'appareil un dispositif d'agrandissement auxiliaire, facile à construire, et analogue à celui qui est utilisé sur l'appareil Milne-Shaw ; le miroir est porté par un nouvel équipage mobile relié à la tige horizontale s' par un système de leviers d'agrandissements ; on supprime alors la plume traçante ν et on place le dispositif d'inscription à une distance convenable du séismographe ⁽¹⁾.

A la vérité, les organes du séismographe décrit ici n'ont pas une délicatesse suffisante pour obtenir un enregistrement fidèle et l'usage avec dispositif optique d'agrandissement n'est indiqué que lorsqu'on veut obtenir une grande

(1) On pourra faire usage d'une fente lumineuse verticale comme source de lumière, avec lentille cylindrique devant le cylindre enregistreur, comme dans le dispositif employé par Galitzine.

sensibilité pour enregistrer un phénomène exceptionnel, tel le début de l'ébranlement d'une explosion lointaine.

Voici, à titre d'exemple (Fig. 5), pour montrer l'amplitude inscrite ainsi, la reproduction d'un enregistrement

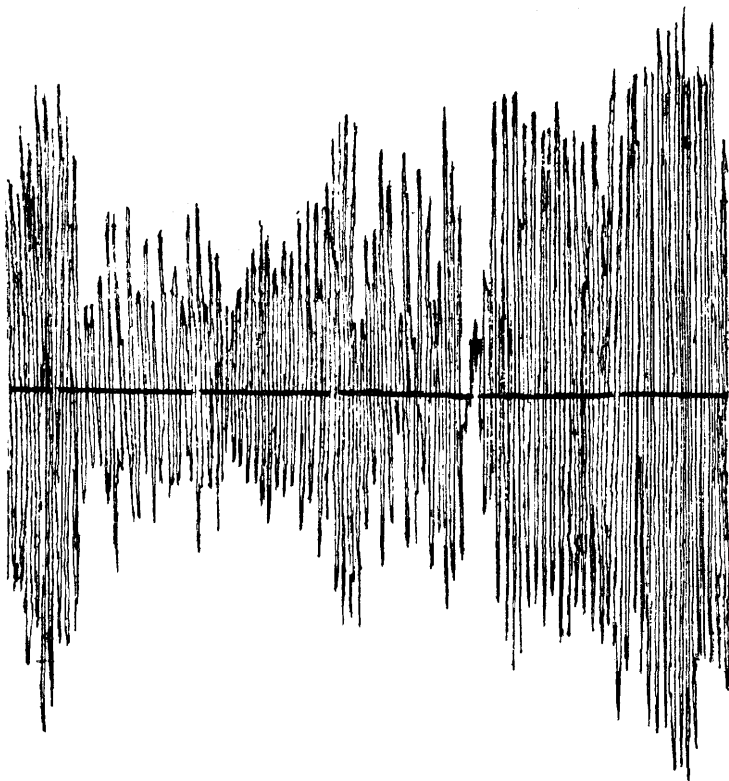


Fig 5.

d'agitation du sol au Parc Saint-Maur, au milieu d'un vaste enclos de plusieurs hectares ; l'amplitude double dépasse à certains moments 12 centimètres. L'amortisseur de l'appareil est resté complètement en action ; la période du séismographe avait été amenée préalablement à 6 secondes.

Reçu en juin 1926.

Description du Séismographe Universel de 21 tonnes Système de Quervain-Piccard

Par le Professeur A. DE QUERVAIN

Chef du Service Séismologique Suisse

I. — L'IDÉE QUI A PRÉSIDÉ A LA CONSTRUCTION

Notre séismographe n'a pas eu pour origine le désir de construire « aussi grand que possible », mais bien les besoins de la pratique séismographique journalière : atteindre et même en quelque sorte, si l'on veut bien accepter cette expression, *forcer* les résultats. Cet instrument devait remplir d'une part le but d'enregistrer les tremblements de terre *éloignés*, avec toutes les exigences auxquelles on est habitué, mais aussi et surtout les séismes *voisins* avec toutes leurs phases. Tel est le programme séismologique d'une station scientifique séismologique placée dans le voisinage des Alpes, où les séismes sont très nombreux mais faibles ; c'est par là même celui de notre observatoire séismologique suisse. Je suis heureux de rendre hommage à cette place au dévouement de mon ami A. Piccard que la science suisse ne doit cesser de regretter, l'ayant donné à l'Université de Bruxelles comme professeur de physique.

Un assez grand nombre de stations séismologiques placées dans le voisinage immédiat d'une zone ébranlée se trouveront dans la même situation et leur tâche la plus indiquée sera d'étudier ces tremblements de terre rapprochés, tâche d'autant moins facile à résoudre à l'aide des séismographes ordinaires que les appareils devront fournir en même temps une contribution à l'étude des tremblements de terre éloignés. Nous avons pensé que cette publication qu'on nous a demandée serait justifiée tout autant par cet intérêt général que par les résultats satisfaisants obtenus jusqu'ici. En effet, les buts mentionnés plus haut ont tous été atteints : le projet d'inscrire les deux composantes horizontales avec une seule masse s'est trouvé justifié d'une manière positive par les résultats, en particulier par le fait que l'azimut est satisfaisant.

Les meilleurs séismographes qui existent pour les tremblements de terre éloignés sont les appareils à inscription optique de Galitzine, qui ont leur maximum de rendement pour les ondes à longue période et dont l'agrandissement commence au voisinage de zéro pour les ondes à très courte période. Nous avons conféré avec le prince Galitzine sur la difficulté qu'il y a à appliquer ses appareils au cas qui nous occupe.

La construction de notre appareil découlait donc, pour ainsi dire, de la nécessité de prémisses se rapportant surtout aux tremblements de terre rapprochés. Nous nous trouvions en possession de faits d'observation recueillis par nous pendant de nombreuses années avec les quelques appareils qui avaient été adoptés judicieusement lors de l'installation de notre station séismographique.

C'était le séismographe dit le « grand Mainka » qui se trouve installé au Parc Saint-Maur à Paris et à Strasbourg, et le « petit modèle de Wiechert » (séismographe vertical). Nos constatations se répétaient toujours identiques en des cas nombreux : la phase principale (maximum) était correctement enregistrée, mais la phase P, qui précédait,

paraissait absorbée par suite de la petitesse de ses amplitudes. Etant donné que la différence de temps S-P est la donnée la plus importante, il ne pouvait être question de continuer le service avec des instruments qui semblaient se refuser précisément à fournir le résultat auquel on tenait davantage.

Restait la question de l'*agrandissement* à exiger du nouvel appareil. Sur la base des enregistrements fournis par les appareils que nous possédions alors, nous pouvions constater que la phase S de certaines secousses dont la phase P manquait (apocryphes) pouvait encore être distinguée avec un agrandissement de 150-200. De là on pouvait déduire que l'agrandissement à exiger devait être dix fois plus grand, soit de 1500-2000, pour l'obtention certaine de la phase P dans les séismogrammes. Pour arriver à ce résultat il fallait prévoir une masse de l'ordre de grandeur de 10-20 tonnes.

Restait encore le choix de la période que devait posséder le nouvel appareil. Cette période devait éviter toute résonance avec les microséismes, sous peine d'obtenir des séismogrammes illisibles. De notre côté nous avions vérifié le fait que dans les séismogrammes des tremblements de terre voisins jusqu'à des distances d'un millier de kilomètres les périodes d'ordre supérieur à 1-2 secondes ne sont pas importantes. Mais le fait nous était connu que le grand séismographe de Wiechert de 17 tonnes, qui possède une période de 1,7 secondes, n'embrassait qu'une petite échelle de tremblements de terre. — Des considérations de cette nature nous amenèrent à donner aux composantes horizontales du nouvel instrument une période de 3 secondes. En raison des résultats connus de l'instrument de 17 tonnes, nous avons cru bon de porter surtout notre attention sur l'importance qu'il y avait à ajouter une composante verticale à cet instrument. Il est inutile d'en exposer ici l'importance pour toute l'interprétation d'un séismogramme.

Il est facile de « tuer » par des considérations théoriques

toute entreprise de ce genre. La pratique que nous avons de l'instrument depuis quelques mois nous donne raison d'avoir mis de côté les considérations trop subtiles, dans le but d'obtenir tout au moins une indication utilisable.

Un postulatum essentiel fut celui de posséder simultanément toutes les trois composantes. L'idée qui nous guidait était l'économie de construction. Il était à prévoir que nous n'aurions plus à l'avenir l'occasion de suspendre une masse de 20 tonnes, il fallait donc chercher à tirer de cette suspension le maximum de rendement ; nous croyons avoir atteint ce résultat. Nous indiquons dans les lignes suivantes la construction que nous avons employée.

Il fallait craindre qu'éventuellement les trois composantes solidaires d'une seule et même masse ne subissent une influence mutuelle. L'examen qui a été fait par le Dr Berlage, collaborateur scientifique à l'Observatoire de Batavia, confirme du reste que dans cette construction l'indépendance mutuelle des composantes est satisfaite dans une très large mesure, et dans la pratique nous n'avons pas pu jusqu'ici constater d'effets fâcheux, sauf l'effet de torsion de la suspension et l'effet de balancement, remarqués aussi par M. Berlage.

Relativement à l'inscription des séismes, la phase P était celle dont il fallait surtout envisager les conditions d'enregistrement. Les recherches antérieures indiquent pour cette phase la prédominance de la période de 6 secondes. Pour ces ondes, la période propre de notre instrument faisait prévoir un grandissement de 400-450. Déjà très fort si on le compare à celui des appareils existant déjà, il est voisin de celui des appareils Galitzine. Dans la suite, l'expérience nous a agréablement surpris par le fait que les ondes de la première phase de ces séismes contiennent beaucoup d'ondes de période beaucoup plus courte que nous n'avions pensé. Cette circonstance facilite beaucoup la distinction de la première phase.

Nous insisterons encore sur un point qui nous a paru particulièrement important, nous voulons parler du choix du mode d'enregistrement, c'est-à-dire de l'*enregistrement mécanique*. En effet, après l'expérience que nous possédions nous en avons reconnu la supériorité pratique dans la finesse extraordinaire de ce procédé ; nous étions obligés de nous plier devant les conditions pratiques imposées par l'époque de la construction de l'appareil. Pendant la guerre le matériel nécessaire à l'enregistrement optique ne nous aurait pas été accessible. Un instrument qui doit servir à donner des renseignements journaliers au public et aux stations avec lesquelles on est en correspondance ne peut pas se passer de cette méthode d'enregistrement.

Nous venons d'exposer les prémisses qui ont présidé à la construction de l'instrument et auxquelles son exécution a été entièrement soumise.

II. — LES DÉTAILS IMPORTANTS DE LA CONSTRUCTION

Fig. 1 et 2.

1^o *Système des piliers*. — Un pilier ou plutôt deux piliers étaient nécessaires pour fournir la hauteur de suspension exigée par la période choisie. Il n'y a pas lieu de critiquer trop ces hauteurs de suspension, l'essentiel est que le pied du pilier soit bien immuable et solidaire du sol. La masse peut se soulever ou s'abaisser facilement à l'aide d'une vis de soulèvement qui roule sur billes, ce qui facilite grandement le montage de l'appareil et la mise au point de la composante verticale. Nous avons relié les deux piliers dans le sol de sorte qu'ils reposent sur un seul bloc énorme de béton. Les deux piliers sont réunis par le haut par une très forte traverse et aussi par le milieu par une traverse (qui représente la terre pour la composante verticale). Le centre de gravité du système des piliers se trouve à 10 centimètres du terrain rocheux.

La manière de se comporter de ce système peut être considérée comme identique à celle du rocher dans lequel le bloc de béton de $3 \times 3 \times 2,5$ m. est enfoncé.

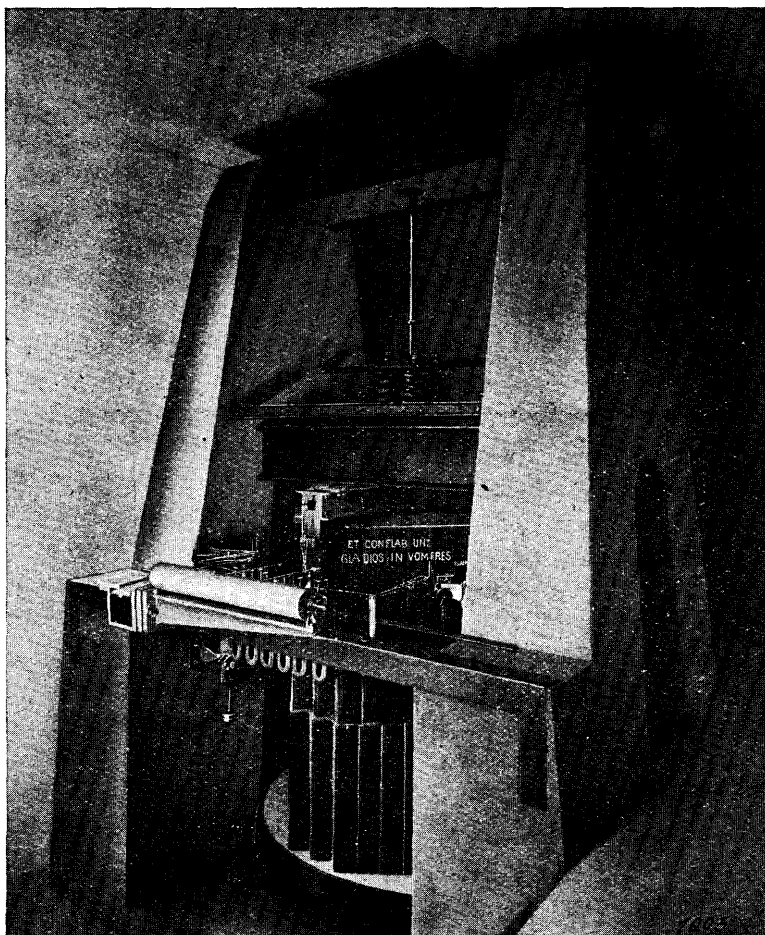


Fig 1.

2° La *suspension de la masse*. — La masse est suspendue par une tige en acier et nous l'avons constituée de blocs destinés à être transformés en obus. Nous en avons

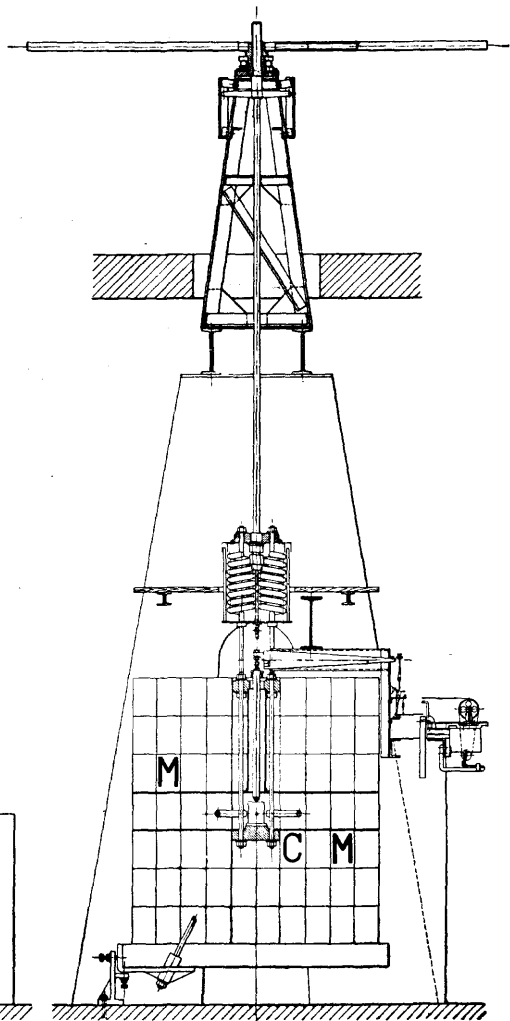
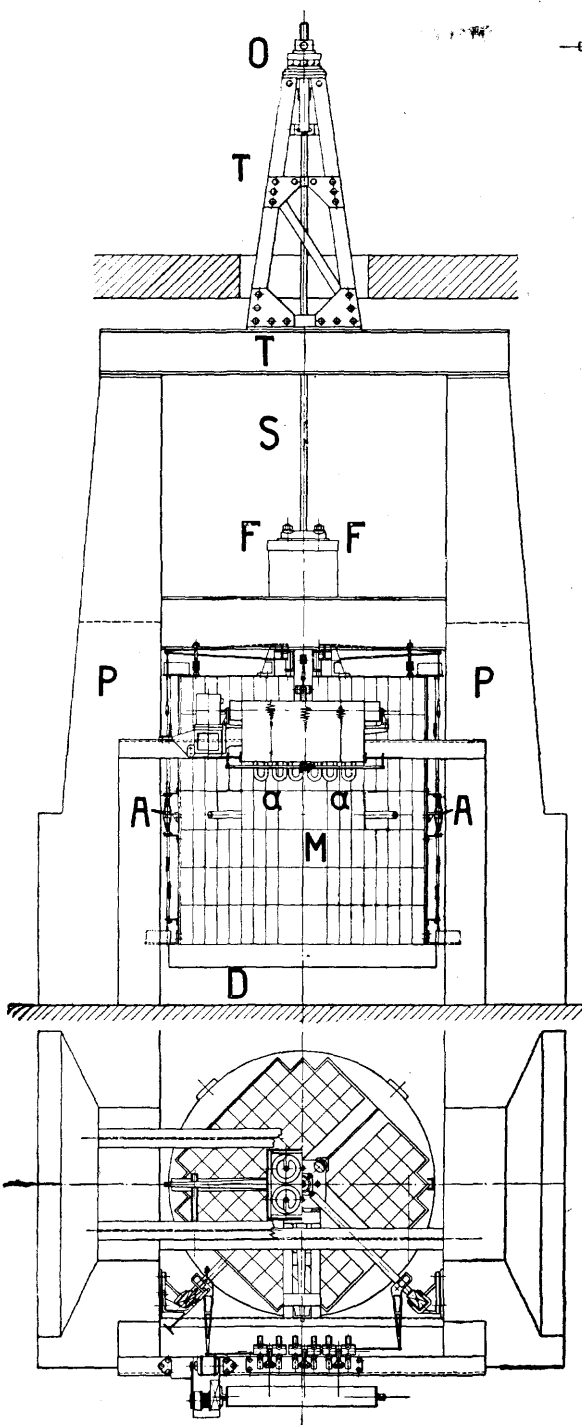
formé un grand cube de 1. m 70 de côté. Dans le centre de gravité de ce bloc suspendu nous avons fait aboutir les quatre tiges de poussée (« Stossstangen ») de trois systèmes de leviers. Ces systèmes sont disposés de façon à écrire sur une même feuille noircie. Nous en dirons encore un mot.

3° *Le système des leviers* ⁽¹⁾. — Il fournit un agrandissement de $10 \times 10 \times 10$ mécaniquement. Il n'y a dans le dispositif de leviers aucun frottement extérieur dû à des contacts. Toutes les articulations sont faites d'une manière élastique. Le moment d'inertie des systèmes de leviers a été réalisé inférieur à 5 % de la masse inerte. En vue de la flexibilité des leviers nous avons dimensionné le système des leviers de manière à ne pas perdre plus de 1 % des amplitudes enregistrées pour les oscillations rapide. La hauteur de suspension de la masse de 470 centimètres a été choisie surtout en vue de compenser les indésirables accélérations parasites qui pouvaient provenir des parties élastiques du système des leviers.

4° *L'amortissement*. — Nous nous sommes proposé d'atteindre un rapport 5:1 et nous avons employé un amortissement avec des aimants à acier chromé et facilement réglable. Les aimants se déplacent sur des glissières.

5° *L'astatisation*. — Dans toutes les constructions destinées à enregistrer la composante verticale on est obligé de suspendre la masse par des ressorts et, comme on le sait, la difficulté essentielle consiste à procurer à la masse une période verticale de durée suffisamment longue. Comme cette période n'augmente qu'en raison de la racine carrée de la déformation du ressort, on serait amené très vite à une longueur de ressort très peu pratique sous tous les rapports. Dans notre cas les ressorts ont été

(1) On trouvera dans l'article suivant de MM. E. Rothé et J. Lacoste une description complète du système de leviers que la Maison Täufer a fabriqué pour Strasbourg, comme elle l'avait fait précédemment pour Zurich.



intercalés dans la tige de suspension de la masse. Nous nous sommes proposé d'atteindre pour la période verticale celle des composantes horizontales, sans toutefois y parvenir complètement. Le système astatiseur auquel nous sommes arrivés ressemble à celui du grand séismographe vertical de Wiechert, mais nous n'en avons pas eu connaissance ; la construction que nous décrivons a été conçue par nous. Nous profitons volontiers de l'occasion pour dire que les séismographes que nous avons eus devant les yeux avant la construction de cet appareil étaient des appareils allemands qui ont sans doute rendu à la séismologie moderne les plus grands services. Nous avons aussi conféré avec quelques-uns de nos collègues allemands comme le Dr Mainka, alors au bureau séismologique international de Strasbourg, et le Professeur Zeissig de Darmstadt, qui tous deux s'étaient montrés sceptiques.

Les essais faits avec des modèles nous avaient fait croire qu'il serait possible d'augmenter la période de 4-5 fois environ. Nous avons fini par nous convaincre qu'il suffisait d'exécuter l'astatisation sur une petite partie de la course du ressort de suspension.

6° *La compensation.* — Elle est liée étroitement au fonctionnement de la composante verticale. Notre attention s'est portée sur le fait que chaque minute la plume inscriptrice de la composante verticale doit être forcément soulevée pour produire une interruption de minute sur le diagramme. Quand la composante verticale quitte la position d'équilibre, ce fait se traduit par une déviation de la plume vers la gauche ou vers la droite. Nous avons placé sur la tige qui soulève la plume le contact de deux circuits électriques. Ces deux circuits ont pour fonction de faire varier plus ou moins la masse inerte en laissant entrer systématiquement dans un réservoir qui se trouve sur la masse de petites gouttes d'eau. C'est donc tout à fait insensiblement que l'action s'effectue. Il n'est peut-être pas nécessaire d'indiquer tous les détails de ce dispositif automatique. (Ces détails devaient éviter que soit l'apport

du liquide sur la masse, soit l'allègement de la masse, se fissent par changement brusque.)

7° *Enregistrement optique.* — Pendant un certain temps nous avons muni la composante verticale d'un enregistrement optique qui nous a bientôt révélé un mouvement incessant du sol, mais des pulsations beaucoup plus rapides que les microséismes. Pour moi, j'attribue ces pulsations à l'influence de la ville éloignée de quelques kilomètres. L'agrandissement était environ de 300.000. Nous avons fait ces installations additionnelles en vue des expériences qui avaient été exécutées sur l'initiative des géophysiciens français à La Courtine.

8° *Le mouvement d'horlogerie et l'exactitude de l'inscription de l'heure.* — Nous avons choisi une vitesse d'enregistrement de 1 millimètre par seconde, 60 millimètres à la minute, et vérifié si l'exactitude d'interpolation était vraiment de 0,1 seconde, limite que nous nous étions imposée. Si on veut différencier les détails d'enregistrement de tremblements de terre rapprochés, on a besoin de distinguer encore des périodes de 0,1 seconde, et si l'on veut comparer entre eux les résultats de stations voisines il est nécessaire d'atteindre ce degré de précision dans la détermination de l'heure. Pour la comparaison des trois composantes entre elles, il faut que toute incertitude de parallaxe entre les trois composantes disparaisse. Et cette condition peut être satisfaite si l'on fait inscrire les trois composantes sur une même feuille, ce que nous avons fait.

III. — INDICATIONS SUR LES RÉSULTATS DÉJÀ OBTENUS AVEC CES APPAREILS

a) *L'indépendance des composantes horizontales.* — Elle a été vérifiée suffisamment par de nombreuses déterminations d'azimut qui toutes étaient satisfaisantes. Ces

déterminations se sont vérifiées aussi bien pour des séismes très voisins et très éloignés.

b) *L'enregistrement de la composante de la première phase des séismes.* — Il s'est fait d'une manière tout à fait supérieure. Nous observons souvent un précurseur avant le commencement de la phase première, c'est-à-dire avant ce qu'on prendrait sur un séismogramme ordinaire très probablement pour la phase première.

c) *La phase S.* — Il faut distinguer entre ce que nous avons l'habitude de désigner ainsi dans les tremblements de terre voisins. (La phase qui commence d'une façon très véhémement n'est que l'introduction du maximum.)

Certaines stations désignent cette phase par iM. Nous croyons, précisément sur la base des enregistrements de notre appareil, posséder les preuves que cette phase est de caractère purement transversal. Notre collaborateur, M. Gassmann, se basant sur ce résultat, a trouvé une méthode pour déduire l'azimut dans les cas de tremblements de terre voisins. — D'un autre côté, dans les cas de séismes très éloignés dont nous disposons, la phase S a aussi pu être distinguée suffisamment bien, ainsi qu'on le désire dans la pratique. Mais un instrument qui aurait une période pour la composante horizontale un peu plus longue serait supérieur dans ce cas. Du reste nous avons déjà trouvé un mode de construction permettant d'allonger cette période de l'instrument si on le désire.

Le 28 juin 1926 a eu lieu un tremblement de terre assez important en Bade s/Rhin, qui s'est fait sentir dans tout le sud de l'Allemagne, en Alsace et en Suisse. Nous croyons que l'enregistrement de notre instrument, qui a permis de déduire l'azimut de l'épicentre et de corriger notre idée première qui nous avait mené dans une tout autre direction, a donné plus de détails sur les secousses plus faibles qui ont accompagné ce séisme que les stations voisines.

Il est certain que nos collaborateurs au service séismologique ne consentiraient plus à se passer de l'instrument

décrit qui a porté un élément important de sûreté dans le fonctionnement de ce service et dans l'accomplissement de sa tâche. Nous prévoyons pour la Suisse l'installation de deux autres appareils de ce type, l'un pour la station de Coire qui sera aux soins du Professeur Kreis, l'autre à l'Observatoire de Neuchâtel.

Pour être maître des études séismographiques dans notre pays, on ne saurait avoir moins que cet ensemble de trois appareils. Il va sans dire que tout est prévu pour assurer une identité rigoureuse des heures sur la base d'un signal horaire de Paris. On voit facilement l'avantage qu'on pourra tirer d'une collaboration étroite de ces trois stations.

L'installation de Neuchâtel est due à la belle initiative de quelques amis de la science qui renouvelle ainsi une vieille tradition qui caractérise cette ville.

Ces deux installations qui sont en cours d'exécution comportent des adaptations aux conditions locales qui de fait sont des améliorations et permettent de donner aux composantes horizontales de plus grandes périodes, ainsi qu'à la composante verticale. Le constructeur de l'instrument est la maison Trüb, Taüber et Co, Ampèrestrasse, Zurich.

Il reste à dire un mot de la question de la grande masse. Pour arriver à un résultat satisfaisant on ne peut se passer de suspendre au moins 10 tonnes. Cela conduit à une certaine hésitation psychique. Mais suspendre 10 tonnes ce n'est pas un problème insoluble pour la technique moderne. Par conséquent s'il faut pour la solution du problème mécanique dont il s'agit la suspension d'un certain nombre de tonnes, eh bien, qu'on les suspende !

Zurich, Aug. 26.

Reçu en août 1926.

Séismographe de 19 tonnes de la station de Strasbourg

Description et étude critique de l'instrument ⁽¹⁾

Par E. ROTHÉ

Directeur du Bureau Central Séismologique

et J. LACOSTE

Maitre de Conférences à la Faculté des Sciences de Strasbourg

Une station séismologique qui se propose d'enregistrer le plus grand nombre possible des mouvements de la terre doit posséder une série d'appareils dont les propriétés iront en se modifiant progressivement, afin qu'ils puissent s'adapter à toutes les exigences, notamment au point de vue de la période, les ondes séismiques possédant des périodes très différentes.

Pour des séismes éloignés, des instruments à période propre comprise entre 8 et 20 secondes sont utilisés avec profit, mais de tels séismographes laissent souvent ignorer de légers mouvements dont l'étude est précieuse dans certaines régions. L'un des séismographes employés doit s'adapter en particulier le mieux possible aux circonstances locales, et Strasbourg se trouvant au voisinage des Vosges, de la Forêt-Noire, du Jura, des Alpes, autant de régions susceptibles de petits ébranlements, il paraissait

(1) Les figures 1, 7, 8, 9, 10 et 11 accompagnaient un article de M. E. Rothé, « la Séismologie Pratique », publié dans la *Revue Scientifique* du 12 juin 1926. La *Revue Scientifique* a bien voulu faire cadeau des clichés au Bureau Central.

nécessaire que la station de la Faculté des Sciences possédât, entre autres, un appareil à courte période et de très grande sensibilité.

A côté donc des Galitzine horizontal et vertical, des Wiechert, du Milne-Shaw, des pendules Mainka, ancien, ou nouveau (type du Bureau central), il a été construit récemment un pendule à grande masse et à courte période ⁽¹⁾. La sensibilité variant en raison du carré de la masse, ces genres de pendule sont très sensibles, et se prêtent admirablement à l'inscription des mouvements locaux et des petits séismes voisins.

En collaboration avec les autres stations munies de tels pendules, par exemple celle de Zurich, il sera donc possible de poursuivre les ébranlements nombreux mais faibles dans une région très accidentée, et sillonnée d'importantes failles dont le jeu continue encore.

Depuis longtemps déjà la nécessité de tels séismographes s'était imposée, et dès 1904 ⁽²⁾ la station de Goettingue était dotée d'un pendule dont la masse stationnaire était de 17 tonnes ; celle de Zurich mettait plus récemment en action un appareil de 20 tonnes.

Dès avant la guerre le projet de construction d'un pendule lourd à Strasbourg avait reçu un commencement d'exécution, et après l'armistice nous avons trouvé une des salles disposée à cet effet avec de grosses poutres de fer supportant par des tiges une sorte de cuve, enveloppe cylindrique destinée à contenir les masses pesantes. L'installation, la réalisation de la masse, des dispositifs enregistreurs, était entièrement à faire.

(1) L'Institut de Physique du Globe de Strasbourg met continuellement en fonction les appareils énumérés ci-dessus ; de plus, en vue de l'enseignement, il a fait reconstituer un grand nombre d'appareils antérieurement utilisés, constituant ainsi un véritable musée historique de la séismologie.

(2) Wiechert : Die physikalischen Institute der Universität Goettingen. Festschrift an die Einweihung der Neubauten, p. 172. Leipzig und Berlin. Druck und Verlag von B. G. Teubner, 1906.

Au cours de l'été 1924, M. H. Berlage, physicien hollandais, docteur de l'Université de Zurich, qui venait précisément de soutenir une thèse sur le gros pendule de cette station, put être attaché pendant quelques mois à l'Institut de Strasbourg; il voulut bien nous prêter son concours et dresser les plans des différentes pièces, en harmonie avec l'exiguïté de la salle destinée à contenir l'ensemble de l'appareil. M. Berlage nous a aidés aussi dans le remplissage de la cuve, jusqu'au moment où il fut appelé comme météorologiste à la station de Batavia.

Si les poutres du support et la cuve sont de construction strasbourgeoise (maison Stoll de Bischheim), les leviers d'amplification, les tiges de propulsion et le cylindre enregistreur sont dûs à la maison Täuber de Zurich.

Cette maison venait en effet de construire les mêmes accessoires pour l'appareil de Zurich et il était d'autant plus naturel de s'adresser à elle que peu de maisons sont spécialisées dans une telle fabrication et que, projetant d'échanger les résultats avec la station de Zurich, nous désirions nous rapprocher le plus possible de la forme adoptée dans cette station.

En fait, le pendule à grande masse de l'Université de Strasbourg tient de celui de Goettingue par son mode de suspension et de celui de Zurich par ses appareils amplificateurs et enregistreurs.

Le travail commencé en mai 1924 n'a guère été terminé, par suite de retards dans certaines livraisons, qu'en mars 1925. Aussitôt le pendule a été mis en fonctionnement partiel pendant la journée seulement; depuis décembre dernier il fonctionne régulièrement jour et nuit.

CUVE

La cuve qui, une fois remplie, doit constituer la masse stationnaire, est un cylindre en tôle de 1 m. 80 de hauteur et 1 m. 80 de diamètre, d'un poids de 1134 kilogrammes. Pour assurer son libre mouvement en position horizontale,

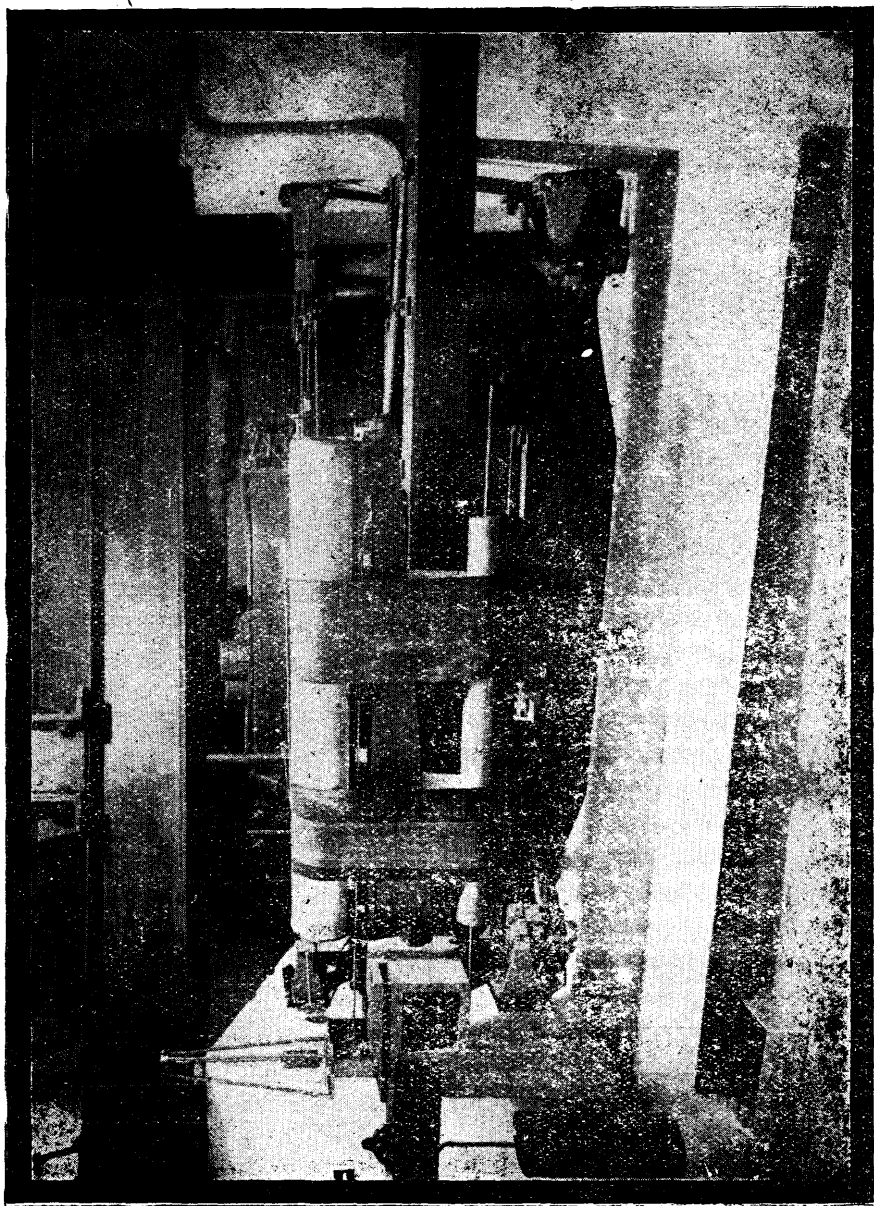


Fig. 1. — Ensemble de l'appareil.

on aurait pu la suspendre simplement, comme on l'avait prévu, par quatre tiges la saisissant en bas par des saillies latérales et solidement fixées en haut à des poutres de fer reposant sur les murs parallèles de l'enceinte. La flexibilité élastique de ces tiges pouvait assurer la liberté de mouvement nécessaire.

Dans le but d'enregistrer aussi le mouvement vertical, nous avons modifié totalement le mode de suspension antérieurement prévu ; les tiges ont été raccourcies et solidement adaptées à des ressorts de traction. Ceux-ci ont été construits par la maison Baumann de Zurich, qui seule s'était engagée à fournir quatre ressorts identiques et qui d'ailleurs avait livré déjà ceux du grand séismographe de cette ville. Étant donné l'énorme masse stationnaire à réaliser, chacun des quatre ressorts comprend 7 spires d'un barreau d'acier de 33 millimètres de diamètre, formant un boudin d'un diamètre extérieur de 180 millimètres. Une expérience préalable nous montra que l'allongement de tels ressorts est de 17 millimètres environ pour 1.000 kilogrammes de charge, la charge sur chacun d'eux pouvant atteindre 5.000 kilogrammes.

La liaison des tiges avec les ressorts se fait par l'intermédiaire de solides manchons à vis dont le jeu possible permet de régler la hauteur de la cuve toute chargée ou son redressement dans le cas où l'allongement de l'un des ressorts serait supérieur à celui des trois autres. Au remplissage, une petite correction de l'ordre de 2 millimètres a pu être ainsi facilement effectuée.

Les ressorts ne sont pas fixés directement aux poutres de support. Mais sur ces poutres nous avons disposé quatre calottes en fonte de 24 centimètres de hauteur, au sommet desquelles les ressorts sont fixés par des écrous dont le jeu permet d'égaliser les quatre tiges de suspension. D'ailleurs ces calottes forment ainsi une espèce de cage protégeant les ressorts contre les petites variations momentanées de la température. Comme d'ailleurs la cuve et d'autres accessoires, les calottes sortent de la maison Stoll de Bischheim,

qui s'est intéressée à notre construction avec la meilleure complaisance.

CALAGE DE LA CUVE.

Au cours du remplissage, il était prudent de fixer la cuve afin d'éviter le jeu inutile des ressorts et d'opérer sur un récipient au repos.

A cet effet, au-dessous du réservoir cylindrique et reposant directement sur le béton au sol, on a disposé trois poutres de fer assemblées en triangle équilatéral. Au besoin la cuve baissée pourrait reposer sur les trois sommets du triangle, mais sans toucher à son mode de suspension on peut l'immobiliser par le jeu de trois puissantes vis verticales qui, disposées sur ces sommets, sont destinées à la caler de bas en haut, et de trois vis latérales qui empêchent tout mouvement oscillatoire horizontal.

Ce dispositif permet d'opérer sans danger toute réparation nécessaire puisqu'on peut travailler sur une masse rapidement mise au repos et aussi rapidement libérée ensuite.

Il était indispensable également, eu égard à l'énorme masse stationnaire prévue et au poids des poutres de fer destinées à la supporter, de se rendre compte de tout faiblissement possible des murs de soutien. A cet effet, et sur les conseils de M. Bonnet, alors architecte de l'Université, on a disposé dans les murs et aux endroits les plus exposés des lames de verre telles que tout fléchissement du mur entraînerait leur rupture au préalable ; d'ailleurs, au-dessous des poutres de soutien, on avait pris soin, au moment de la pose des poutres, d'encastrier dans le mur de solides masses de béton à base évasée, qui répartissent les pressions sur une plus large surface.

REEMPLISSAGE DE LA CUVE.

Les matériaux appelés à remplir la cuve devaient avoir une densité moyenne de 4, pour se rapprocher le plus pos-

sible d'une masse de 20.000 kilogrammes. Faute de pouvoir employer la barytine, nous avons utilisé de vieux métaux que, grâce à la bienveillante intervention du général Mouchon, la direction de l'Artillerie à Paris a bien voulu nous céder à titre peu onéreux.

Ces matériaux nous ont été fournis par le parc d'artillerie de Strasbourg et amenés gracieusement ; ils comprenaient en particulier 12.000 kilogrammes d'essieux de voitures, 2.000 kilogrammes de pièces d'armes, 4.000 kilogrammes de débris métalliques de tout genre.

La présence à l'intérieur de nombreux tirants de consolidation, les cloisons protectrices des tiges de propulsion, les organes de fixation de ces tiges, le tube vertical d'accès à ces organes, étaient autant d'obstacles à l'introduction des essieux. C'est pourquoi on a dû les couper en deux à la flamme afin d'en rendre le maniement plus aisé.

Les tiges de propulsion ayant un point d'attache fixe, il devenait alors assez difficile de faire coïncider ce point d'attache avec le centre de gravité de la masse. Néanmoins, en procédant par couches sensiblement homogènes et en réservant les masses les plus importantes dans la couche avoisinant le point d'attache, il a été possible de rapprocher de très près le centre de gravité de l'ensemble du point de suspension.

Toutes les pièces métalliques ont été pesées et les intervalles qu'elles comportaient ont été remplis en coulant du sable fin, préalablement desséché et en quantité connue.

L'allongement observé des quatre tiges de suspension pouvait nous montrer l'homogénéité des différentes couches ou nous amener à une meilleure répartition des pièces composant chacune d'elles.

On conçoit qu'un tel procédé de remplissage ait été laborieux ; commencé en novembre 1924, la première opération n'a guère été terminée qu'à la fin du même mois. Plusieurs fois même certaines couches ont dû être reprises et différemment aménagées pour obtenir de meilleures répartitions.

TIGES DE PROPULSION.

Dans le but d'inscrire deux composantes horizontales du mouvement, deux premières tiges de propulsion ont été disposées, l'une dans la direction N-S, l'autre dans la direction E-W.

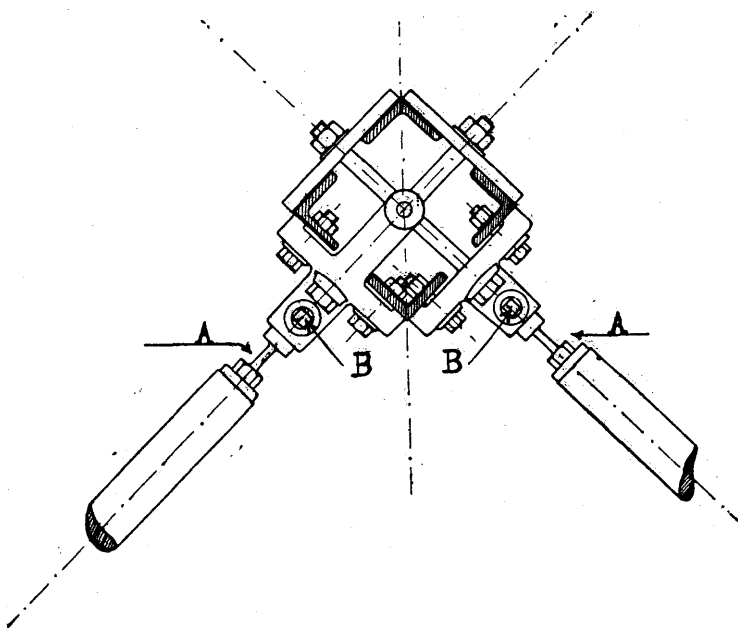


Fig. 2. — Liaison des tiges de propulsion.

Des cloisons verticales en tôle disposées dans la partie supérieure de la cuve forment des compartiments étroits perpendiculaires l'un à l'autre, abritant ces tiges et leur évitant tout contact avec les matériaux de remplissage.

Ces tiges cylindriques d'un diamètre de 45 millimètres se terminent vers le point d'attache inférieur par une partie amincie (fig. 2, A) que prolonge un cône métallique pouvant se loger exactement dans une cavité, également conique, disposée sur une pièce fixée au centre de la cuve.

Un écrou vertical (B), accessible par le haut de la cuve, assure la stricte liaison de la tige avec la pièce d'attache (fig. 2).

Les tiges de propulsion sont donc démontables et peuvent au besoin être sorties par le haut de la cuve après qu'on aura dévissé l'écrou de serrage à l'aide d'une longue clef verticale.

Par leur autre extrémité, les tiges émergent des parois latérales de la cuve à travers des ouvertures circulaires de diamètre suffisant. Avant de les relier au premier levier amplificateur, on doit s'assurer de leur horizontalité. A cet effet elles sont, à leur sortie, soutenues par une bague liée à un ressort vertical dont on peut faire varier la tension ; ce ressort a son deuxième point d'attache aux parois de la cuve.

Des niveaux à bulle d'air disposés en permanence sur les tiges montrent leur horizontalité et permettent de guider le réglage par l'intermédiaire des ressorts de support.

Ce dispositif se distingue très bien sur la figure.

LEVIERS D'AMPLIFICATION.

Tous les autres accessoires du séismographe, leviers d'amplification, cylindre d'enregistrement, mouvements d'horlogerie, etc., devant être supportés par des bâtis spéciaux, nous avons fait élever deux piliers en béton armé joints en bas par une semelle, et à un mètre du sol par une poutre de même matériel. L'ensemble forme ainsi un cadre solide servant de puissant contrefort aux murs de la salle.

PREMIER LEVIER D'AMPLIFICATION.

C'est sur les parois verticales intérieures des piliers en béton que sont fixés les premiers leviers amplificateurs des deux composantes. L'un de ces leviers et sa liaison

avec la tige de propulsion se distinguent nettement sur la droite de la figure 1.

On a tout d'abord solidement incrusté et fixé une plaque métallique rectangulaire dans la paroi du pilier, et sur cette plaque est vissé un sabot métallique entre les mâchoires duquel vient se loger à demi la base du levier amplificateur.

Celui-ci a la forme d'une pyramide rectangulaire tronquée de 60 centimètres de hauteur. Il est lié au sabot par l'intermédiaire de quatre délicates lamelles d'acier croisées deux à deux (dispositif Wiechert), de telle sorte que l'axe d'oscillation est constitué en réalité par une droite horizontale perpendiculaire à la tige de propulsion.

A 6 centimètres au-dessous de l'axe d'oscillation, et sur un talon de la pyramide, est fixée la première tige de propulsion elle-même par l'intermédiaire d'un gros fil d'acier lié au talon par écrou et contre-écrou.

Pour assurer l'équilibre vertical du premier levier amplificateur, un contrepoids de hauteur réglable fait suite au talon de la pyramide ; ce talon est logé dans une cavité cylindrique pratiquée dans la poutre en béton armé qui à un mètre du sol, comme il a été dit, relie les deux piliers.

On vient de voir que les oscillations se font sur la ligne de croisement des lamelles. Celles-ci ont été livrées aussi par la maison Taüber. Ce sont des bandes d'acier de 80 millimètres de longueur sur 10 millimètres de largeur et 3 millimètres d'épaisseur, amincies en leur milieu sur 10 millimètres de longueur et ne présentant plus en cet endroit qu'une épaisseur de 0 mm. 25. On comprend immédiatement que le moindre défaut de leur construction peut amener des ruptures que nous avons eu malheureusement à déplorer. Elles supportent en effet un levier qui uni à son contrepoids constitue une masse relativement lourde, de sorte que le montage du dispositif nécessite de minutieuses précautions.

On peut toutefois soulager les lamelles au cours de l'installation ou des réparations en fixant le levier à l'aide d'une

tige plus robuste qui, traversant les mâchoires du sabot et les bases de la pyramide, devient ainsi un axe de solide soutien, immobilisant immédiatement le levier.

DEUXIÈME LEVIER D'AMPLIFICATION.

Ce deuxième levier d'amplification est aussi fixé sur la même paroi verticale des piliers en béton par l'intermédiaire d'une plaque métallique rectangulaire A scellée dans le mur.

C'est à cette deuxième plaque qu'est liée, d'une façon réglable aussi, le support du deuxième levier.

Pour mettre au point l'axe de rotation de ce dernier, axe qui sera formé par le croisement de fines lamelles, comme il a été dit, ce support comprend un tube fileté B dans lequel s'engage d'un côté la fourchette entre les dents horizontales de laquelle oscillera le levier, de l'autre un petit volant en bois C. Au moyen de ce volant et de filetages appropriés on peut déplacer la fourchette et par conséquent avancer ou éloigner l'axe d'oscillation du levier D de façon à amener l'extrémité E de son grand bras au point nécessaire. D'ailleurs, comme les filetages pourraient ne pas assurer une stabilité suffisante entre la fourchette et la tige du volant, un puissant ressort F assure la liaison des deux pièces.

Le levier, dont les deux bras sont coudés à 120° , s'engage donc entre les bras de la fourchette. Il est lié à ces bras par 8 lamelles très fines, associées quatre à quatre et formant un axe de rotation vertical de sorte que le plan d'oscillation est lui-même horizontal. Comme le levier possède deux bras inégaux, les lamelles délicates de 0 mm. 1 d'épaisseur et 5 millimètres de largeur seraient incapables de le maintenir dans une position nettement horizontale, c'est pour cela que le petit bras est muni, en arrière, d'un contrepoids réglable G.

D'autre part, le levier et son contrepoids constituant

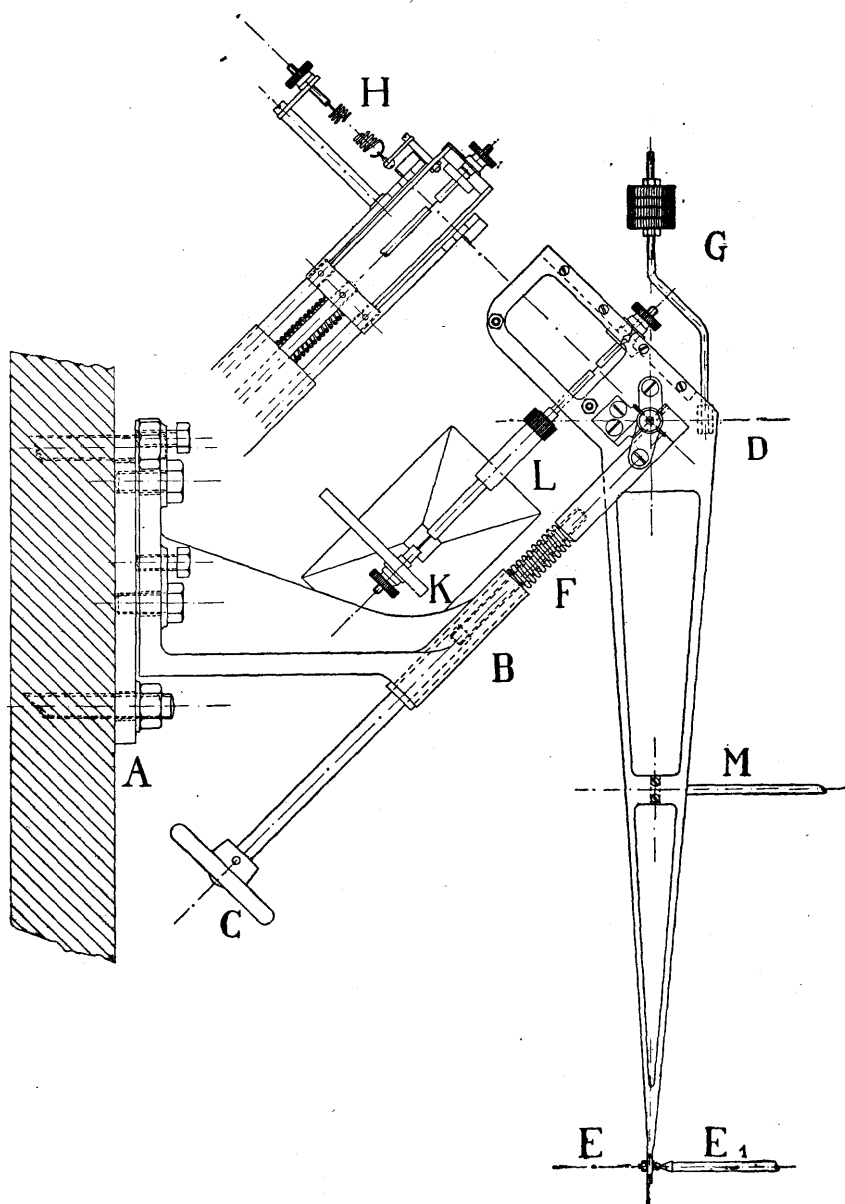


Fig. 3. — Deuxième levier amplificateur.

une masse relativement importante, il y a lieu de soulager les fines lamelles. Dans ce but, l'ensemble est accroché à un ressort vertical H de tension variable et situé au-dessus de la fourchette.

Les mouvements de l'extrémité du grand bras de levier prenant parfois une amplitude trop importante dans le cas de séismes violents et relativement rapprochés, l'appareil enregistreur pourrait être endommagé. Pour éviter cet accident, l'extrémité des bras oscille entre deux vis fixes, dont les distances sont d'ailleurs réglables.

La liaison entre les deux leviers se fait par l'intermédiaire d'une fourchette K en équerre fixée au sommet du premier à hauteur variable. Les bras horizontaux de cette fourchette sont saisis en un point également réglable par un nouveau mécanisme de propulsion du deuxième levier.

On a vu que lors d'une trop violente impulsion les oscillations du grand bras de levier sont limitées. Si donc la liaison des deux leviers était absolument fixe, il pourrait en résulter parfois une rupture. Celle-ci est évitée par le fait que le mécanisme de liaison des deux leviers peut amortir les trop grands chocs par un système genre dash-pot L, mécanisme que MM. de Quervain et Piccart avaient déjà introduit dans le pendule de Zurich.

Ce mécanisme de deuxième liaison peut se déplacer parallèlement à lui-même de façon connue par le fait d'une échelle graduée ; il en résulte que le rapport des deux bras du deuxième levier est variable, ce qui entraîne la variabilité du rapport d'agrandissement de ce levier.

Enfin deux tiges spéciales s'introduisant verticalement dans les mâchoires de la fourchette et dans le levier peuvent au besoin immobiliser le système en cas de réparation.

AMORTISSEUR.

Ce sont des amortisseurs à air, identiques à ceux des appareils Wiechert ; ils existaient d'ailleurs à la station

et nous ne les avons préférés aux amortisseurs électromagnétiques que par raison d'économie.

Placés sur une poutrelle en fer reliant encore les deux piliers en béton, les tambours mobiles de ces appareils sont liés directement au milieu du deuxième levier d'agrandissement M. La liaison est réglable de façon qu'il n'y ait aucun contact entre les tiges de transmission et les ouvertures qui leur livrent passage, condition essentielle pour le bon fonctionnement des amortisseurs.

TROISIÈME LEVIER AMPLIFICATEUR.

Les plumes. — L'extrémité du deuxième levier E (fig. 3) vient s'appuyer sur la troisième tige de propulsion E₁. Celle-ci est horizontale, parallèle au cylindre enregistreur et légèrement supportée, pour éviter sa chute, par une autre tige fixe située parallèlement au-dessus d'elle et à laquelle elle est suspendue par de très faibles ressorts, sans aucune tension horizontale. Cette troisième tige de propulsion est composée en réalité de deux parties unies par un pas de vis qui permet de régler sa longueur. Les deux extrémités sont terminées par des coupes en agate ; l'une d'elles s'appuie sur une fine pointe au bout du deuxième levier, l'autre sur une autre pointe portée par la bielle commandant le mouvement des plumes. Cette bielle, organe important, est une pièce à laquelle on a donné la forme de gouttière, pour allier la rigidité et la légèreté. Elle est suspendue sur un fil dont l'enroulement sur un petit treuil permet de régler la hauteur. Deux pointes fixées dans l'intérieur de la gouttière et dont l'extrémité est sur son axe géométrique prennent appui dans des cuvettes ménagées dans le support de l'appareil. Ces pointes définissent l'axe d'oscillation de la gouttière. Dans sa région médiane elle porte un bras latéral qui reçoit à 15 millimètres de distance une pointe sur laquelle on fait

porter la cuvette terminale de la troisième tige de propulsion.

Un ressort inférieur, à tension réglable, permet d'équilibrer le couple agissant sur la bielle de façon que les pointes ne quittent pas leurs appuis.

L'axe géométrique de cette bielle est prolongé en haut par une tige avec une traverse dans laquelle sont creusées deux cuvettes où viennent se loger les deux pivots des plumes et deux encoches dans lesquelles seront posées les deux extrémités d'un axe obligeant les plumes à obéir aux mouvements de la bielle.

Les plumes sont constituées par de fins tubes d'aluminium de 30 centimètres de longueur dont le diamètre décroît progressivement, et terminées par une délicate pointe d'acier. Cette construction qui diminue le moment d'inertie est très recommandée et donne d'excellents résultats.

Un contrepoids réglable permet de diminuer autant que possible le frottement de la pointe sur le noir de fumée.

INTERRUPTION DE MINUTE.

Au-dessus des plumes et perpendiculairement à leur direction, un contact de fer portant un léger tube d'aluminium obéit à un électro-aimant et son mouvement de bas en haut soulève les plumes toutes les minutes ; le courant qui alimente l'électro-aimant est lancé par le contact d'une bonne horloge.

Dans le cas de changement de feuilles, ce tube peut être soulevé en permanence par l'intermédiaire d'un contrepoids, de sorte que les plumes maintenues en l'air ne courent aucun risque dans la manipulation des feuilles.

AMPLIFICATION TOTALE.

L'agrandissement prévu est donc de 10 pour le premier

levier, 10 pour le second et 20 pour le troisième, soit un agrandissement de 2.000 environ.

CYLINDRE.

Comme on le voit sur la figure d'ensemble, c'est à une poutre de fer reliant les deux piliers verticaux en béton armé qu'est fixé par l'intermédiaire de solides écrous un support massif sur lequel sont disposés le cylindre enregistreur et le mouvement d'horlogerie.

Le cylindre de 1 m. 012 de longueur et de 6 cm. 5 de rayon est en aluminium. L'une de ses extrémités porte un collier d'acier avec une fine rainure qui s'engagera sur deux roues d'entraînement mues par le mouvement d'horlogerie ; l'autre porte un collier d'acier plat qui tourne sur deux autres roues d'entraînement.

Le cylindre repose donc simplement sur quatre petites roues. Comme on peut redouter la chute de cette importante pièce, nous avons ajouté une tige de protection en fer qui la traverse parallèlement à son axe et vient se fixer par ses extrémités à deux pièces métalliques verticales ajoutées au support.

MOUVEMENT D'HORLOGERIE.

Le mouvement d'horlogerie, très visible sur la figure d'ensemble (fig. 1), a été disposé par la maison Ungerer de Strasbourg de façon à fournir au cylindre un développement de 55 millimètres par minute. Sur l'une des faces latérales du mouvement et perpendiculairement à cette face, on aperçoit une longue tige d'acier passant sous le cylindre et solidaire des quatre roues d'entraînement. La rotation de la tige amène celle du cylindre.

La régularité du mouvement est assurée par un pendule conique. La masse en rotation est suspendue par un fil d'acier à une pièce métallique dont le centre est réglable.

Ce fil d'acier nous a occasionné au début des désagréments. En effet, la masse en rotation est beaucoup plus importante que celle que l'on trouve dans les appareils du type Mainka ; d'où des ruptures fréquentes du fil par suite de torsion et cela quels que soient son diamètre et sa qualité. Nous avons donc modifié ce mode de suspension en divisant le fil en deux parties reliées ensuite par des anneaux constitués avec le même fil. Depuis lors nous n'avons eu à déplorer aucune rupture, et si nous indiquons ce détail, c'est qu'il pourrait être utile dans d'autres instruments.

Le mouvement d'horlogerie est entraîné par une importante masse. Pour assurer sa marche pendant 24 heures, nous avons dû adopter la suspension bifilaire avec traction de la masse sur poulie mobile tandis que l'une des extrémités du câble est fixe, ce qui réduit ainsi de moitié la course de la masse pour une même durée.

LES FEUILLES.

Pour l'enregistrement des divers mouvements sismiques, on a prévu l'emploi quotidien d'une grande feuille enfumée au moyen de rouleaux spéciaux et d'une flamme au pétrole. Pour fixer le noir de ces feuilles, on utilise deux cylindres parallèles au moyen desquels la feuille peut être plongée et tournée dans un bain convenable d'alcool ordinaire, d'alcool méthylique, de colophane, de gomme laque. Un pareil liquide donne un joli noir, bien adhérent, à condition que le séchage soit rapide.

Comme nous ne disposons pas encore de la composante verticale, nous avons récemment abandonné l'emploi de ces feuilles pour utiliser simplement des feuilles telles que celles employées avec les appareils Wiechert.

Ces feuilles glissées sur le grand cylindre d'enregistrement sont tendues par le bas par un cylindre de plus petit diamètre guidé par un dispositif bien visible sur la figure,

dispositif qui plus ou moins incliné par rapport au cylindre enregistreur permet de faire varier l'écart des lignes.

MODE D'OSCILLATION DE LA CUVE.

On se rappelle que la masse stationnaire est suspendue par quatre tiges la saisissant par des saillies greffées sur le cercle de base ; on pouvait craindre que par un manque d'élasticité des tiges de support et par le jeu des ressorts terminant les tiges, la cuve ne prît lors des impulsions horizontales qu'elle peut recevoir un mouvement oscillatoire particulier de bascule, qui s'ajoutant à celui des ondes reçues par l'ensemble du système pourrait perturber l'arrivée des impulsions sismiques.

Il était donc important d'étudier le mode d'oscillation de la cuve. Dans ce but nous avons disposé, et sur elle et sur les tiges de support, à différentes hauteurs, de petits miroirs qui permettent d'observer les mouvements de la cuve à une distance de cinq mètres, par la méthode bien connue de Poggendorf.

Suivant la bissectrice de l'angle des deux composantes et à la hauteur du centre de gravité, nous avons exercé des tractions instantanées et horizontales variant de 105 à 500 grammes. Jamais il n'a été possible de mettre en évidence le moindre jeu de bascule de la cuve, et notre conclusion a été que sous ces impulsions la masse n'éprouve que d'infimes mouvements de translation alors que sur le cylindre enregistreur la plume de chaque composante atteint pour une traction variant de 105 à 500 grammes des déplacements de 3 à 17 millimètres.

On peut donc conclure à la réalité de l'élasticité nécessaire des tiges de support.

PRISE DES CONSTANTES

Elle se fait comme pour les appareils type Wiechert ou Mainka.

On aperçoit sur la figure générale (fig. 1), en avant de la cuve, un petit dispositif par l'intermédiaire duquel on peut mettre automatiquement en jeu une surcharge additionnelle exerçant une traction de 105 grammes suivant la bissectrice des deux composantes, soit une traction de 75 grammes dans le sens de chacune d'elles. Cette traction horizontale est appliquée au centre de la cuve.

Pour l'étude de l'amortissement, les impulsions sont aussi exercées horizontalement au centre de gravité par un procédé électromagnétique.

Toute impulsion donnée d'une façon oblique par rapport aux parois de la cuve lui imprime des vibrations verticales qui durent plus d'un quart d'heure, car l'appareil n'est pas amorti pour les oscillations verticales ; ces mouvements sont nuisibles pour la suite des opérations.

GRANDISSEMENT NORMAL ET GRANDISSEMENT DYNAMIQUE.

Les constantes de l'appareil étant déterminées, il est facile de calculer son grandissement normal V_0 par la formule bien connue :

$$V_0 = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{a}{g} \cdot \frac{M}{m}$$

M = masse stationnaire = 19.100 kilogrammes

m = masse additionnelle dont le poids exerce la traction latérale = 75 gr.

a = déviation des plumes

T = période propre du pendule.

Depuis son installation, le pendule de 19 tonnes a été utilisé dans les conditions voisines des suivantes :

Composante NS. :

$$T = 1.73$$

$$r = 1.73$$

$$v = 4.9$$

$$\mu = 0.74$$

$$a = 3$$

$$m = 75.$$

Composante EW. :

$$T = 1.9$$

$$r = 1.45$$

$$v = 3.3$$

$$\mu = 0.86$$

$$a = 3$$

$$m = 75.$$

Pour la composante NS. le grandissement normal serait donc, d'après la formule ci-dessus, $V_0 = 1025$ environ (1023,75).

Pour la composante EW. $V_0 = 855$.

Mais le grandissement dynamique de l'appareil dépend de la constante d'amortissement et du rapport des périodes de l'onde séismique et de la période propre de l'appareil non amorti, $u = \frac{T_s}{T_p}$.

On sait d'autre part que

$$V = \text{grandissement dynamique} = V_0 \frac{1}{(1 + u^2) \sqrt{1 - \mu \left(\frac{2u}{1 + u^2} \right)^2}}.$$

Si l'on représente $(1 + u^2) \sqrt{1 - \mu \left(\frac{2u}{1 + u^2} \right)^2}$ par U , il vient :

$$V = V_0 \times \frac{1}{U}.$$

Dans le but de mettre en évidence les propriétés particulières de l'appareil, nous avons calculé pour des valeurs de μ indiquées ci-dessus, et pour d'autres, l'expression $\frac{1}{U}$ en fonction des périodes croissantes des ondes séismiques. On met ainsi en évidence la sensibilité de l'appareil lorsqu'il enregistre des mouvements de périodes différentes en traçant des courbes représentant des valeurs de $\frac{1}{U}$.

Les valeurs de μ pour lesquelles les courbes ont été tracées sont : 0, 0.5, 0.6, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9.

Toutes ces courbes partent évidemment de 1 quel que soit μ .

L'examen de ces courbes montre immédiatement dans quelles conditions doit fonctionner le pendule. Sa sensibilité dépend essentiellement de μ . Pour les forts amortisse-

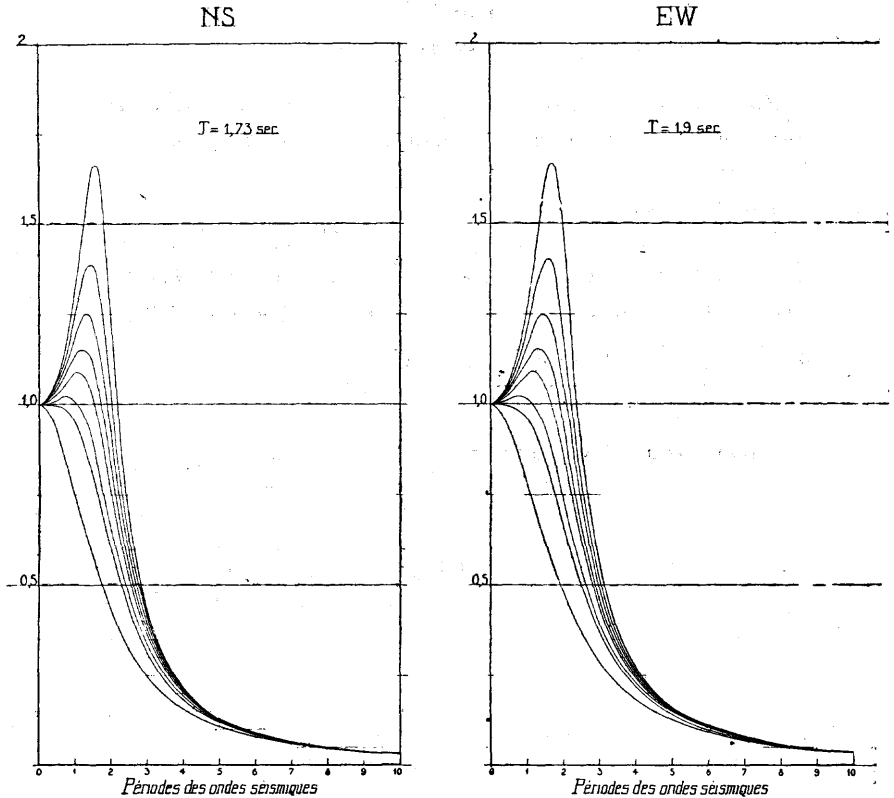


Fig. 4. — Courbes d'agrandissement *a* NS
b EW.

ments, c'est-à-dire μ étant compris entre 0 et 0.5, le facteur $\frac{1}{U}$ décroît constamment quand la période de l'onde sismique augmente ; il y a donc lieu d'éviter de se placer dans de telles conditions.

C'est pour cette raison que nous avons donné à μ des valeurs voisines de 0.75 et 0.85.

La sensibilité serait meilleure encore pour des valeurs de μ plus voisines de 1, mais il y aurait alors lieu de craindre que dans ces cas se rapprochant de la résonance, les oscillations des plumes fussent exagérées ; les plumes pourraient alors sortir de leur support et être projetées sur le sol.

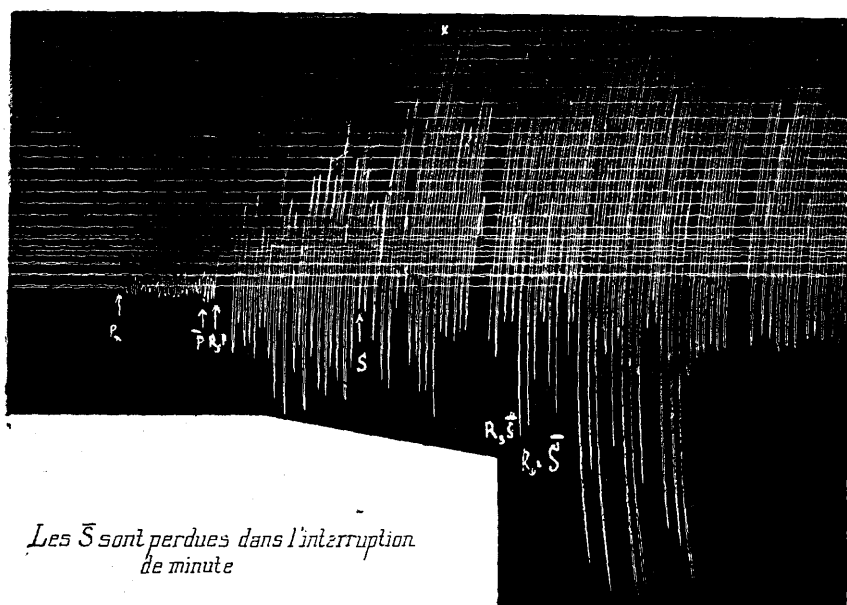


Fig 5 — Séismogramme de Laibach (composante EW).

Le 1^{er} janvier 1926, vers 18 h. 06, un séisme signalé à Laibach, Venise, Trieste, donnait à Strasbourg des oscillations dont l'amplitude atteignait 17 centimètres. Cette grande amplitude tenait à ce que l'appareil avait fonctionné dans les meilleures conditions de sensibilité ; il ne s'agissait pas d'un séisme particulièrement violent (fig. 5).

Les mêmes courbes nous révèlent aussi que la sensibilité décroît rapidement quand la période de l'onde séismique

atteint ou dépasse 2 secondes ; au-delà de 4 secondes elle est très fortement amoindrie. De là les conséquences suivantes que nous avons pu déjà constater à plusieurs reprises et qui n'ont pas lieu de surprendre si on se rappelle les conclusions de la théorie.

1° L'aspect des séismogrammes du pendule de 19 tonnes ne ressemble pas à l'aspect des inscriptions données par les autres appareils.

2° Il est peu approprié à l'inscription des séismes lointains.

3° Il est au contraire très propre à l'étude des séismes rapprochés.

4° Il est particulièrement sensible aux vibrations artificielles provenant de l'industrie locale.

Dans ce qui suit nous désignerons le pendule de 19 tonnes à grande masse par la lettre G.

1° *Dissemblance dans les séismogrammes.* — Les ondes provenant d'un séisme lointain ont des périodes variables. Si la majorité des périodes dépasse 4 secondes, la sensibilité étant alors très atténuée, les inscriptions sont faibles ; au-delà de 5 secondes, le grandissement devient sensiblement constant.

Tel n'est pas le cas du Wiechert et du Galitzine pour lesquels la plus grande sensibilité correspond à des périodes de 10 à 12 secondes, pour les appareils du Bureau Central qui grandissent au maximum les ondes de 8 à 10 secondes :

On voit donc que lors d'un séisme les inscriptions sont *nettement différentes* tout au moins en apparence, et l'interprétation de chacune d'elles nécessite une étude approfondie ou une longue habitude. Sans en être averti, on ne saurait rapporter au même phénomène les inscriptions du 19 août 1925 relatives au séisme du Kamtchatka. Alors que nous relevons sur le Galitzine des ondes de 65 millimètres d'amplitude, on ne retrouve guère sur le G que 3 millimètres d'amplitude correspondante (fig. 6).

Dans le séisme du 10 décembre 1925 (Amérique

Centrale), un groupe d'ondes atteint 80 millimètres d'amplitude pour 2 à 3 millimètres sur le G.

2° *Le pendule de 19 tonnes G est mal approprié aux séismes lointains* ⁽¹⁾. — On peut donc prévoir que lors des séismes éloignés, les ondes courtes étant plus ou moins absorbées et ne parvenant pas en général à la station, les premières inscriptions se rapportent à des ondes de périodes moyennes et elles sont fort mal inscrites par le G ou noyées dans le mouvement microséismique local.

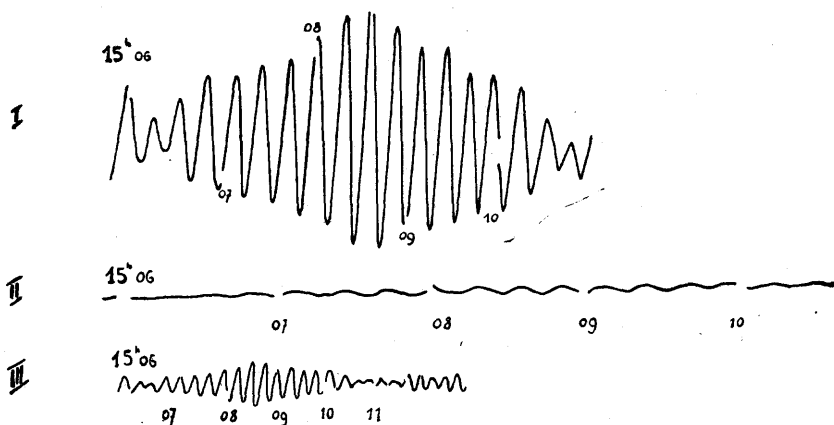


Fig. 6. — Comparaison des inscriptions Galitzine, G et Wiechert.

Le 26 janvier on enregistrait un séisme des îles Salomon. Les heures de début trouvées à Strasbourg sont :

Wiechert vertical, 0^h55^m46^s ; Galitzine vertical, 0^h55^m46^s5 ; 19 tonnes EW, 0^h55^m49^s.

⁽¹⁾ Les lecteurs seront sans doute frappés par la différence entre les conclusions que nous donnons ici et celles de M. de Quervain (voir p. 32). Il y a lieu de se rappeler que les périodes propres des deux appareils sont notablement différentes. L'examen des courbes de grandissement montre bien les divergences qui en résultent.

Il nous était impossible d'augmenter la période par suite de l'exiguïté du local : l'instrument n'en est que plus intéressant pour les phénomènes à courtes périodes qui ont spécialement attiré notre attention comme on le verra plus loin.

Le 16 mars 1926, un séisme d'Asie Mineure débutait sur les Wiechert à 17^h57^m5^s et à 17^h57^m19^s sur le G.

Ainsi le retard du gros pendule est important ; il est encore plus accentué le 12 avril 1926 pour un séisme des mêmes parages ; le début est totalement masqué.

Le 28 avril 1926 une première émergence apparaissait à 11^h27^m5^s sur le vertical Wiechert, à 11^h27^m6^s sur le vertical Galitzine (émergence douteuse), à 11^h28^m sur G.

Le 7 mai 1926, un séisme éloigné inscrit par les Wiechert, les Galitzine, le Milne, n'est nullement visible sur G.

Des ondes longues inscrites les 17, 20, 22, 23, 26 mai ne se retrouvent pas sur les inscriptions de G.

Sans exagérer le nombre d'exemples il est facile de voir que le pendule G n'est pas approprié aux inscriptions des séismes lointains, et si parfois les séismogrammes portent des émergences bien visibles on ne saurait les utiliser *en toute sécurité* pour déterminer la distance épicentrale.

Il faut signaler aussi que les ondes S étant d'une assez grande période apparaissent assez mal, en général, d'où une nouvelle cause d'erreur.

3° *Cas des séismes rapprochés.* — Si ces défauts du pendule à grande masse stationnaire et à courte période n'avaient pas été compensés par de réels avantages dans le cas des séismes rapprochés, nous n'aurions pas consenti aux gros sacrifices de temps et d'argent qu'il nous a fallu supporter pour augmenter le matériel de notre station séismologique de cet important instrument.

Nous avons dit que la plaine du Rhin située entre les failles des Vosges et de la Forêt-Noire, les Alpes, le Jura, etc., constituait des foyers de petits ébranlements encore mal connus, mais qui donnent certainement naissance à des ondes de très courte période. Si donc l'on se reporte aux courbes ci-dessus on voit que le G est particulièrement apte à l'inscription de tels phénomènes, alors que d'autres appareils les laissent complètement ignorés.

Voici quelques séismes récents enregistrés à Strasbourg seulement par le G, invisibles sur les autres appareils :

26 janvier	0 ^h 46 ^m 45 ^s	Winterthür (enregistré aussi par Zurich)
29 janvier	3 49	" "
8 février	8 09	" "
16 mars	0 00 12	à 80 km. Enregistré à Zurich
11 avril	7 34 36	à Oloron (Basses-Pyrénées)
15 avril	20 34 35	ressenti à Tarbes (Hautes Pyrénées)
18 avril	18 22	ressenti à Belgrade
23 avril	1 41 42	
23 avril	2 03	
2 mai	3 07	
5 mai	21 45 47	ressenti à Brigue et à Domodossola; enregistré à Zurich.
20 mai	4 11 12	
2 juin	22 47 58	
7 juin	7 00 32	

En dehors du fait que certains petits séismes rapprochés échappent complètement aux séismographes à grande période, on peut concevoir aussi que s'il y a inscription apparente de ces séismes sur les Wiechert, les Galitzine et autres, les toutes premières impulsions peuvent manquer entièrement, ces phases étant en effet trop peu amplifiées.

Les exemples suivants se rapportant à des séismes rapprochés inscrits par des appareils divers montreront encore l'avantage du pendule G.

Première émergence		
Pendule G		Autres appareils
1 ^{er} février 1926	1 ^h 28 ^m 18 ^s	1 ^h 28 ^m 36 ^s Wiechert vertical
8 mars	20 30 50	20 33 58 Wiechert vertical
18 mars	20 33 16	Phases indistinctes.
24 mars	16 41 10	A peine visible; ressenti à Belgrade.
25 mars	13 31 44	Les grandes ondes apparaissent seulement sur le Galitzine vers 14 heures.
28 mars	17 51 17	Rien d'assez net.
23 avril	0 28 28	0 28 30 Wiechert vertical
26 avril	5 22 09	5 23 00 Wiechert vertical
10 mai	8 30 26	8 30 32 Wiechert vertical
19 mai	10 13 29	10 16 00 Galitzine vertical Ressenti à Belgrade.

Il y a lieu d'insister aussi sur le fait que certaines déterminations de distances épacentrales faites au moyen de pendules à courtes périodes ne concordent guère avec les données obtenues par d'autres appareils.

Il faut donc noter que quelques séismes ne peuvent

être avantageusement étudiés qu'avec un ensemble de séismogrammes fournis par des appareils de périodes propres différentes.

Le 5 juin 1926 à 9^h22 un tremblement de terre était enregistré par le G ; les ondes à périodes relativement courtes se continuaient pendant trois minutes et disparaissaient ensuite. A ne considérer que cette inscription on pouvait croire à un séisme rapproché.

Mais de minutieuses recherches sur le vertical Wiechert nous ont permis de retrouver ce début, parce qu'on en connaissait l'existence. Sur le vertical Galitzine le même début était malheureusement masqué par la tige métallique de fixation de la feuille sur le cylindre ; il n'apparaissait ni sur les horizontaux Wiechert, ni sur les horizontaux Galitzine, ni sur le Milne-Shaw.

A 9^h32^m15^s, tous les appareils à grande période donnaient une phase nette. Si on n'avait disposé que des inscriptions de ces derniers appareils, cette phase eût pu être prise pour des P, d'où des erreurs d'interprétation.

En somme, ce séisme, dont on a situé l'épicentre à 9000 kilomètres n'a pu être étudié avec sûreté qu'avec le concours de tous les appareils.

4° *Agitation microséismique et microséismes locaux.* — L'agitation microséismique ordinaire observée dans toutes les stations a des périodes variant de 4 à 8 secondes environ à Strasbourg. Aussi, comme le prouvent les courbes d'amplification du pendule G auxquelles nous renvoyons toujours le lecteur, ce genre de mouvement ne peut perturber notablement les inscriptions de l'appareil. On peut le discerner, mais son amplitude n'égale pas même celle des inscriptions des Wiechert horizontaux, à plus forte raison celles des Galitzine.

Mais à côté de ce mouvement d'origine encore incertaine existe pour la station de Strasbourg placée dans le jardin de l'Université une cause particulière de trouble due aux petites vibrations locales d'origine industrielle.

Ce mouvement microséismique de très courte période et

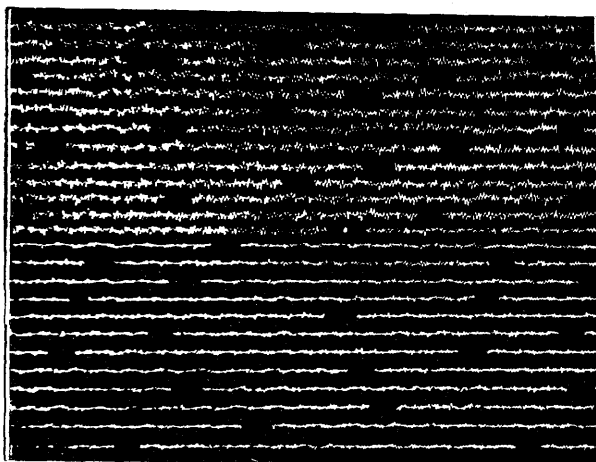


Fig. 7. — Battements.

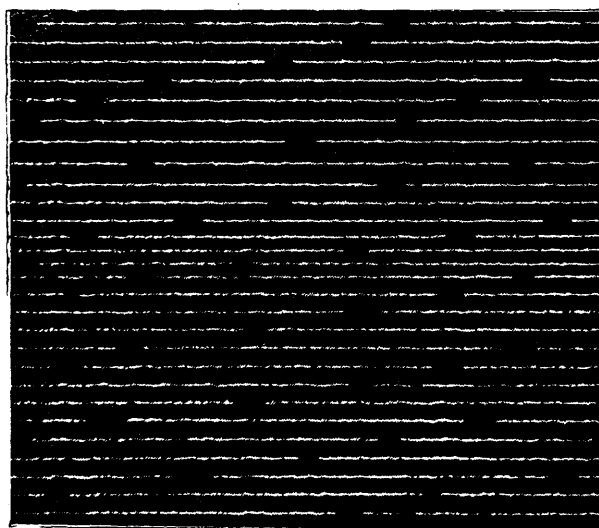


Fig 8 — Repos du dimanche.

dont l'amplitude est comprise entre 1^{mm}.5 et 2^{mm}. produit fréquemment des phénomènes de battements très réguliers et au nombre de 30 par minute, donnant aux séismogrammes un aspect spécial (fig. 7) qui nous frappa dès la mise en fonctionnement du pendule. Sur la composante EW au contraire le phénomène est bien moins visible, aussi le début des petits séismes y apparaît bien plus nettement.

Le dimanche, l'allure du séismogramme NS est toute différente ; les phénomènes de battements disparaissent à peu près et on n'aperçoit plus qu'un faible mouvement très régulier (fig. 8).

Ces phénomènes de battements apparaissent en général à 6 heures pour disparaître à 22 heures ; pendant la nuit le mouvement est plus irrégulier et bien moindre (fig. 9).

Il ne pouvait donc faire de doute que ce mouvement microséismique était d'origine industrielle, et il suffisait de procéder à une enquête pour trouver les centres de perturbation. Nous n'avons pu faire ce travail que fin janvier 1926 : nous nous sommes assurés d'abord que les machines fonctionnant dans les bâtiments les plus proches n'avaient pas d'effet très important.

a) A l'Usine Electrique, M. le Directeur de l'usine a bien voulu nous donner en détail l'horaire du fonctionnement des machines de l'usine, du samedi 23 janvier au lundi 25. Malgré la mise en marche ou l'arrêt à des heures connues de machines dont la puissance s'élève de 2800 kilowatts à 11.000 kilowatts, les diagrammes n'accusent nettement ni l'arrêt, ni la mise en marche des différentes turbines à grande vitesse. La même épreuve faite du samedi 30 janvier au lundi 1^{er} février est restée sans résultat. Pendant la journée du dimanche 31 janvier nous ne constatons qu'un faible mouvement sinusoïdal de courte période, sans interférences, dû à l'Usine Electrique, aucune autre industrie n'ayant travaillé ce jour-là.

b) Aux Forges de Strasbourg, il y a toujours change-

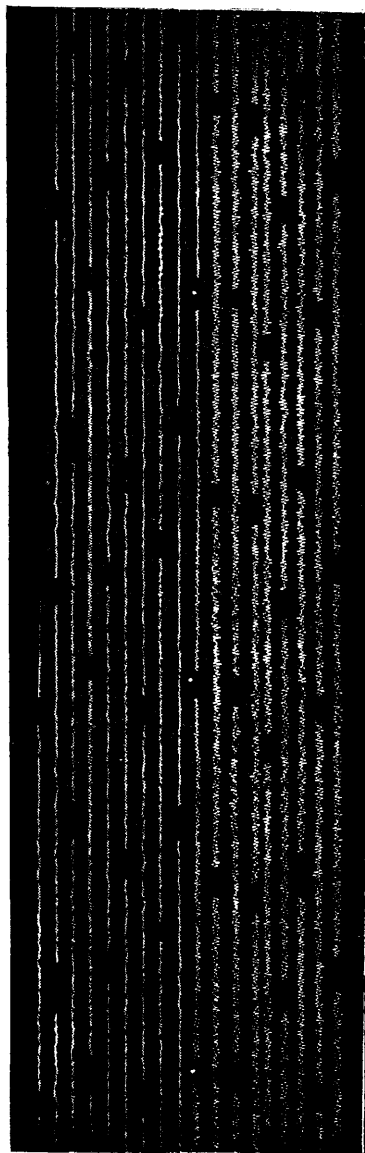


Fig. 9. — Reprise du travail à 6 heures.

ment d'équipe à 6 heures et à 22 heures, mais le travail reprend normalement la nuit. Donc le mouvement très irrégulier inscrit la nuit, en semaine, est attribuable, tout au moins en grande partie, aux Forges, et surtout au travail irrégulier de leurs laminoirs donnant lieu à d'importantes accélérations. Il est facile de vérifier que le dimanche matin, à l'heure où cesse le travail, les irrégularités diminuent aussi sur nos graphiques (fig. 10).

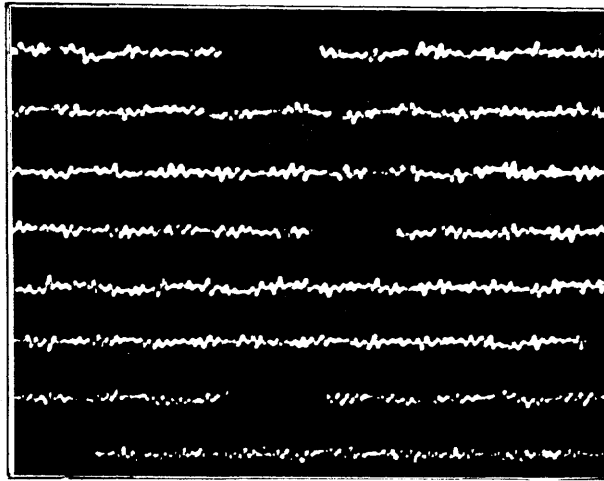


Fig. 10 — Agrandissement des vibrations fournies par les laminoirs.

Il restait à déterminer la cause de l'agrandissement principal qui cesse à 22 heures.

c) Aux Grands Moulins de Strasbourg fonctionne une puissante machine à vapeur de 2.200 CV ; cette machine est à cylindre et à pistons, volant et manivelle. Elle fonctionne de 6 heures du matin à 22 heures et ses caractéristiques sont en parfaite concordance avec les phénomènes inscrits. Il est donc probable que c'est à cette machine et aux Moulins qu'est due l'importante inscription qui cesse à 22 heures (fig. 11).

Nous sommes donc amenés à conclure que l'agitation de la journée est due dans l'ordre décroissant :

- 1^o aux Grands Moulins,
- 2^o aux Forges,
- 3^o à l'Usine Electrique.

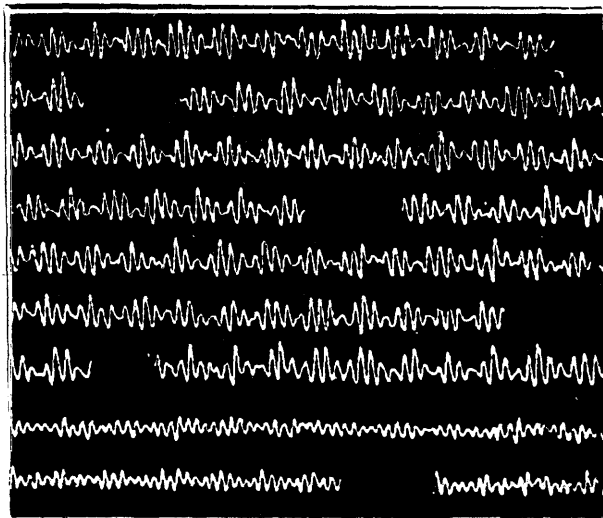


Fig. 11. — Agrandissement des battements dus aux grands Moulins

celle de la nuit, en semaine (au moins à l'époque de notre enquête) :

- 1^o aux Forges,
- 2^o à l'Usine Electrique.

Il est évident que toutes les autres grandes industries ont leur part dans les inscriptions et dans les belles interférences observées.

Si ces conclusions étaient exactes, on devait retrouver sur les diagrammes l'indication de la mise en marche des Grands Moulins le lundi matin, car pour reprendre le travail intégral le lundi à 6 heures, la machine de 2.200 CV doit être préparée à l'avance ; les chaufferies avec leurs divers moteurs entrent en marche quelques heures avant.

C'est ce que les inscriptions prouvent nettement, car on retrouve les essais de marche à partir de 4 heures du matin sur les feuilles de nuit du dimanche au lundi (fig. 9).

Il y a quelquefois des travaux exceptionnels le dimanche, que les séismogrammes ne manquent pas de constater.

Si le mouvement inscrit est notablement plus fort sur la composante NS que sur la composante EW, c'est que les mouvements du piston de la machine de 2200 CV se font dans la direction NS et qu'aux Forges de Strasbourg les chocs dus à l'introduction des lames se font ressentir particulièrement dans la direction NS par suite de l'orientation générale des laminoirs.

Ainsi des travaux importants peuvent se discerner sur les graphiques et il est vraiment intéressant de pouvoir analyser à 1 km. 600 de la station et davantage les causes de ces perturbations. Des installations plus voisines, moins puissantes (220 CV) et à l'outillage différent (moteurs électriques) ont une action à peine perceptible.

PHÉNOMÈNES PARTICULIERS

En dehors des microséismes industriels les séismogrammes portent, surtout pendant le jour et à des intervalles complètement irréguliers, des inscriptions particulières d'ondes à très courte période, mais d'amplitude atteignant 5 à 6 millimètres. Ces inscriptions peuvent même présenter des phases, comme on peut s'en apercevoir par les figures ci-dessous, et durent parfois plus d'une minute (fig. 12).

On pouvait penser, en raison des courtes périodes, que nous nous trouvions en présence d'explosions provoquées dans les carrières soit dans les Vosges, soit dans la plaine du Rhin, soit dans les travaux d'art. Au cours du mois d'août dernier de grosses explosions faites à des heures connues dans des carrières de Raon-l'Étape n'ont donné aucune inscription. Il en a été de même pour des explo-

sions effectuées spécialement dans ce but dans les carrières du voisinage de Schirmek au 17 décembre 1925.

Des chutes de poids lourds provoqués au voisinage de la station ne donnent aucune inscription pareille ; le passage de voitures rapides soit dans la rue Goethe, soit dans la rue de l'Université ou les rues qui leur sont parallèles restent à peu près sans effet.

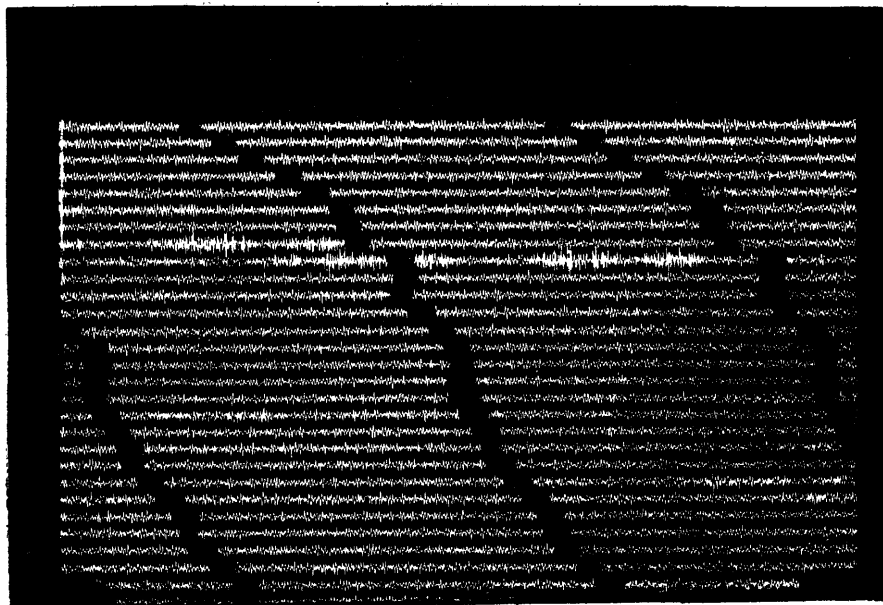


Fig 12 — Phénomènes particuliers.

Pour mieux nous rendre compte des perturbations occasionnées par les véhicules en marche sur les différents appareils séismographiques, nous avons demandé à l'autorité militaire de bien vouloir mettre à notre disposition un lourd camion automobile. Entré par l'extrémité des jardins de l'Université, le camion a avancé méthodiquement, après des arrêts et des mises en marche contrôlées, jusqu'à la station séismologique qu'il a longée, lentement

d'abord, pour s'arrêter en face. Puis il a démarré rapidement à 10^h30 pour regagner en vitesse le Grand Palais.

Or, on peut à peine distinguer au milieu de l'agitation générale l'arrivée de la voiture à la porte du jardin de la station et son passage sur le flanc de celle-ci. Mais sur les deux composantes le démarrage et le départ rapide sont nettement inscrits, ce que l'on peut observer aussi sur les Wiechert et le Galitzine. Toutefois les inscriptions obtenues n'ont aucun rapport avec celles du phénomène étudié, et nous ne saurions les attribuer, comme nous avons pu le croire, aux vibrations rapides de moteurs à explosion.

Les Forges de Strasbourg ont bien voulu nous signaler que dans les premiers jours de février, un puissant laminage (Blumming) pour plaques épaisses serait mis en action au cours de la journée ; le mouvement dû aux Forges a simplement été renforcé par instants.

Le 9 mai, des salves d'artillerie de 75 ont été tirées sur l'Esplanade de Strasbourg à 220 mètres environ au sud de la station ; les coups de canon apparaissent nettement sur la composante NS du pendule G, légèrement sur les appareils Wiechert et Milne ; les inscriptions sont bien à courtes périodes, mais elles sont loin d'avoir l'importance de celles que nous observons.

Nous n'avons donc pu trouver jusqu'ici aucune cause artificielle à ces inscriptions particulières : nous sommes amenés à nous demander si elles ne seraient pas provoquées, au moins certaines d'entre elles, par des phénomènes naturels rapprochés, par des vibrations de couches, par des ruptures de bancs analogues à celles qui ont lieu dans les mines (coups de toit). Bien que cette explication soit possible, ce sont seulement des recherches prolongées qui permettront d'élucider cet intéressant problème.

Reçu en juin 1926.

Description et théorie du Séismomètre à Torsion

Par J. A. ANDERSON et H. O. WOOD

(*Bulletin of the Seismological Society of America*, XV, 1-72, 1925)

Résumé et adapté par E. ROTHÉ

Secrétaire de la Section de Séismologie

On sait que l'étude des vibrations terrestres de courte période qui prédominent dans les séismes locaux exige l'emploi de séismographes très sensibles. L'expérience acquise avec les divers types de séismographes connus a montré que, dans la pratique, les instruments destinés à leur étude devaient avoir une période propre très courte. Tel a été le but visé dans l'établissement du séismomètre à torsion : c'est un pendule horizontal dans lequel la masse inerte est fixée excentriquement à un fil de suspension tendu qui maintient le système suspendu en équilibre par la réaction de torsion, et permet de faire varier la période propre d'oscillation. Ainsi se trouve éliminé le moment de la pesanteur qui agit dans les appareils habituels.

L'enregistrement mécanique avec un agrandissement suffisant exigerait une masse beaucoup plus grande que dans les appareils ordinaires et un système de leviers mul-

tiples ; il serait impossible d'éviter les frottements en divers points, et les changements de température amèneraient des perturbations variables dans les différentes parties de l'instrument. Ces difficultés sont évitées par l'emploi du système de faible masse avec enregistrement photographique. On sait que malgré les difficultés qu'il offre, l'enregistrement photographique est aujourd'hui adopté dans les meilleurs instruments séismographiques.

Comme ici on a adopté une grande vitesse de rotation du cylindre inscripteur — 1 millimètre par seconde, soit 6 centimètres par minute —, quelques artifices spéciaux s'imposaient dont je donnerai immédiatement la description, et qui pourraient s'étendre à d'autres types d'instruments.

Lorsque le système est soumis à une perturbation séismique, le point lumineux inscripteur se déplace dans l'intervalle très court d'une seconde et moins encore, de plusieurs millimètres ou même de quelques centimètres ; il passe ainsi sur le papier sensible à une vitesse beaucoup plus grande que sa vitesse normale. Il s'ensuit que si un point lumineux est suffisamment brillant pour enregistrer convenablement ces impulsions, il donnera une trop forte surexposition en temps ordinaire, en l'absence de mouvements séismiques. Mais des phénomènes intéressants sont inscrits pour ainsi dire à tout instant, en dehors des tremblements de terre proprement dits, et il serait fâcheux que ces phénomènes fussent obscurcis par une surexposition trop considérable. En outre — et ceci, bien que moins important, mérite cependant d'être pris en considération — il serait également fâcheux que l'aspect du séismogramme fût gâté par des lignes très fortement surexposées sur la plus grande partie de toutes les inscriptions. Afin d'éviter au moins en partie à cet inconvénient, on a placé sur le trajet du rayon lumineux un disque dans lequel sont pratiquées des fentes et qui est animé d'un mouvement de rotation ; ainsi on produit de fréquentes interruptions de la lumière — cinquante par seconde, par exemple —

de sorte que la ligne inscrite, au lieu d'être rigoureusement continue, se compose d'une série de points qui se recouvrent en partie. Dans les intervalles d'enregistrement sans perturbation marquée, ces points forment une ligne qui ne peut être distinguée d'une ligne rigoureusement continue, tandis que, lorsque le système suspendu du sismomètre est en oscillation, le trajet du point lumineux sera marqué par une série de points dont le degré d'impression sera convenable, et plus ou moins espacés suivant l'amplitude de l'oscillation. On a constaté que ce procédé amenait une amélioration considérable dans l'inscription des tremblements de terre locaux de courte période. Il ne semble pas nécessaire de l'employer pour les mouvements de période beaucoup plus longue qui prédominent dans les inscriptions de télé-séismes.

LA SUSPENSION A TORSION

Soit ZOZ' la verticale ; AOB représentera le fil de suspension tendu : on pourra utiliser soit un fil de tungstène d'un diamètre de $1/50$ de millimètre environ, soit un ruban plat lorsqu'on désirera obtenir une plus longue période d'oscillation avec une suspension de longueur et de résistance données. La suspension fait avec la verticale l'angle i dans le plan contenant AOB et ZOZ' . Un petit cylindre ou une ailette rectangulaire en cuivre, par exemple, est fixée excentriquement à la suspension, ainsi que le montrent la figure 1a ou 1b. Ce sera la masse inerte.

Dans la pratique, la masse inerte à ailette rectangulaire a été employée avec succès dans les modèles de période moyenne, destinés à enregistrer les séismes lointains. Mais dans les sismomètres à courte période propre, employés pour les séismes locaux, on utilise la masse d'inertie cylindrique.

La masse porte un petit miroir de masse effectivement négligeable. (Lorsque la masse du miroir n'est pas négli-

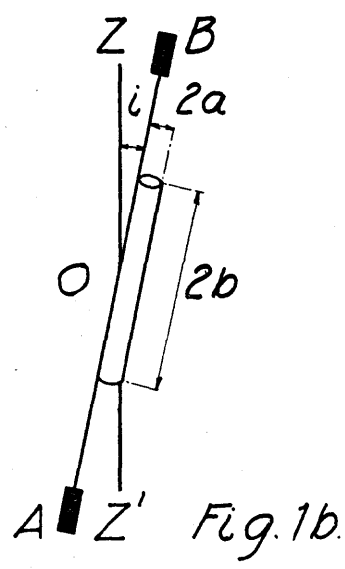
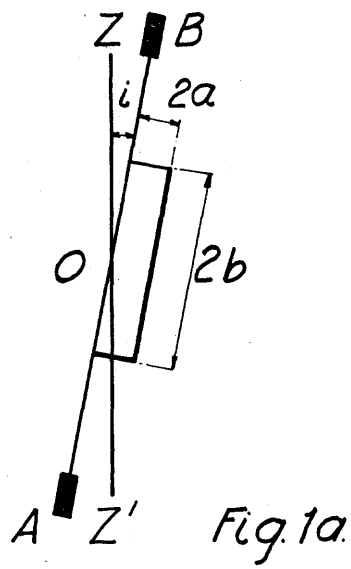


Fig 1.

geable, il doit en être tenu compte dans le calcul du moment d'inertie et de la période du système suspendu excentriquement). Le petit cylindre de cuivre de diamètre $2a$ et de longueur $2b$ est fixé sur le fil de suspension tangentiellement et parallèlement à son axe. Si la densité est ρ la masse du cylindre est

$$m = 2\pi a^2 b \rho$$

et son moment d'inertie, par rapport à AB, est

$$I = \frac{3}{2} m a^2.$$

La distance du centre d'oscillation à l'axe de rotation AB est

$$I = \frac{3}{2} a.$$

Lorsqu'une ailette est employée comme masse d'inertie elle est fixée à la suspension par un de ses bords (longs). Si ses dimensions sont $2a$ normalement à AB, et $2b$ parallèlement à AB, avec une épaisseur t et une densité ρ , la masse de l'ailette sera de

$$m = 4 a b t \rho$$

et son moment d'inertie par rapport à AB sera

$$I = 4 a b t \rho \times \frac{4}{3} a^2 = \frac{4}{3} m a^2.$$

La distance du centre d'oscillation à l'axe de rotation AB est

$$I = \frac{4}{3} a.$$

Le cylindre ou l'ailette étant à l'équilibre dans le plan vertical contenant ZOZ' et AOB, le mouvement provenant de la torsion est égal à zéro, il n'y a pas de torsion résiduelle. Si le cylindre ou l'ailette se trouve dévié d'un angle θ de sa position d'équilibre, il sera soumis à l'action de deux moments :

1) un moment $K'\theta$ dû à la torsion produite dans la suspension, et

2) un moment $mga \sin i \sin \theta$ dû à la pesanteur.

Par conséquent, si θ est suffisamment petit, le cylindre ou l'ailette oscillera autour de la position de repos avec une période

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\text{moment d'inertie de la masse par rapport à AB}}{\text{moment des forces de réaction pour une déviation d'un radian}}} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mga \sin i + K'}}$$

Pour des valeurs de i grandes ou considérables, le terme $mga \sin i$ prédomine de façon telle que la période est presque exclusivement déterminée par ce terme, K , (pour des suspensions de longueur appropriée et de très petit diamètre) étant dans ce cas presque négligeable.

Mais lorsque l'angle $i = 0$ ou a une valeur très faible, le terme $mga \sin i$ devient nul ou ne prend qu'une valeur insignifiante par rapport à K' , même si K' est lui-même petit ; dans ce cas le système d'inertie sera relativement et pratiquement indépendant de i , cet angle qui dans les instruments habituels est angle de stabilité et permet aussi le réglage de la période dans les séismomètres à pendule horizontal ordinaire. La réaction de torsion de la suspension rend ce système séismométrique stable, même lorsque $i = 0$ strictement, cas dans lequel le système forme un pendule strictement horizontal, avec

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K'}}$$

En faisant $i \neq 0$, tout en ne donnant à cet angle qu'une valeur extrêmement petite, la période de l'instrument est rendue plus courte

$$(\theta = 0) T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K' + mga \sin i}} < T_0$$

au contraire, en donnant à i une très petite valeur négative, c'est-à-dire en donnant à la suspension une légère inclinaison en arrière, la période peut être rendue un peu plus longue

$$(\theta = \pi) T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K' - mga \sin i}} > T_0$$

En le faisant, il faut avoir soin de maintenir K' grand par rapport à $mga \sin i$. Lorsque $K' = mga \sin i$, le système devient instable.

Il va de soi que la portion supérieure et la portion inférieure de la suspension tendue résistent à la déviation de la masse inerte, ou appliquent à celle-ci un couple de réaction de torsion, lorsqu'elle a tourné à partir de sa position d'équilibre. Si τ est la constante de torsion par unité de longueur (1 centimètre) de la suspension et q la longueur de chaque portion, le moment de réaction de torsion de chacune est $\tau/q \times \theta$, donc le moment total de réaction de torsion est $2 \tau/q \times \theta$. Si on néglige le frottement et l'amortissement qui seront discutés plus tard, le couple de réaction étant égal et opposé au couple nécessaire pour produire la torsion, on a, en désignant par θ le déplacement angulaire

$$K'\theta = 2\tau/q \times \theta.$$

Ce couple communique au système suspendu une accélération angulaire θ'' . Si I est le moment d'inertie du système oscillant

$$\begin{aligned} -K'\theta &= -\frac{2\tau}{q}\theta = I\theta'' \\ \theta'' &= -\frac{K'}{I}\theta = -2\frac{\tau}{q} \times \frac{1}{I}\theta. \end{aligned}$$

Ici, le coefficient de θ est une constante qui dépend de la suspension et du système oscillant, et est indépendant du mouvement. Il suit de là que le mouvement est conforme à la définition du mouvement harmonique angulaire, à savoir

$$x'' = -cx$$

et si T_0 est la période d'oscillation, nous avons les égalités

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\theta}{\theta''}} = 2\pi\sqrt{\frac{\theta}{\frac{2\tau\theta}{Iq}}} = 2\pi\sqrt{\frac{Iq}{2\tau}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K'}}.$$

En se basant sur les formules ci-dessus dans l'établissement du séismomètre, on peut obtenir à très peu près la période désirée.

De plus, il ya lieu d'observer que lorsque $i = 0$ il n'est pas nécessaire de supposer l'angle d'oscillation θ petit, comme cela a lieu dans les pendules séismographiques ordinaires. Dans le séismomètre à torsion, le couple de réaction est proportionnel au déplacement angulaire, même lorsque celui-ci est grand, à condition qu'il ne soit pas assez grand pour produire une déformation permanente de la suspension. Néanmoins, dans toute la pratique séismographique ordinaire, de petites valeurs de θ entreront seules en jeu.

C'est pourquoi, dans le cas où l'amortissement et le frottement peuvent être pratiquement négligés, lorsqu'un tel système oscillant est tordu d'un petit angle θ et ensuite abandonné à lui-même, il exécute pendant longtemps des oscillations harmoniques angulaires, le mouvement alternatif de détorsion et de torsion décroissant très lentement.

SUSPENSION ZOELLNER

La suspension à torsion est un cas spécial, et pratiquement un cas-limite, de la suspension Zoellner. Quoique le fil ou ruban soit très résistant et fortement tendu, il est forcément légèrement détendu par le couple de pesanteur que produit la masse d'inertie fixée excentriquement près du milieu de la suspension. Autrement dit, AOB n'est pas rigoureusement une ligne droite, quoiqu'elle s'en écarte fort peu. Dans la pratique, cette distension est si petite qu'elle présente à peine un intérêt théorique. Il n'en sera donc pas davantage question.

AMORTISSEMENT DE LA SUSPENSION ZOELLNER

Cependant cette suspension, de même que toutes celles du type Zoellner, est soumise à la vibration horizontale,

l'oscillation de rotation et de torsion mise à part. Dans la pratique, cet inconvénient est évité ou diminué par un procédé spécial « d'amortissement à huile » qui ne produit pas de modification perceptible sur l'effet de torsion.

FROTTEMENT

Il n'y a pas de frottement dans le fonctionnement de ce système séismométrique, à part le frottement élastique interne auquel donne naissance la torsion du fil de suspension de très petit diamètre aux très petits angles d'oscillation produits dans l'enregistrement séismographique actuel. Excepté dans des considérations purement théoriques, ce frottement est complètement négligeable ; et, en réalité, il est d'une grandeur négligeable si on le compare au frottement déjà très petit, il est vrai, qu'on trouve dans les séismomètres de construction antérieure qui utilisent l'amplification et l'enregistrement optiques.

AMORTISSEMENT

En se servant pour constituer la masse d'inertie de cuivre, ou de tout autre métal bon conducteur de l'électricité, et en le suspendant dans un champ magnétique suffisamment intense — qui peut être fourni par un aimant permanent — le système oscillant peut être convenablement amorti, précisément par la méthode la meilleure théoriquement, celle dans laquelle le moment d'amortissement est proportionnel à la vitesse du mouvement d'oscillation, de sorte qu'au début de la perturbation terrestre l'amortissement ne s'oppose nullement à la *réponse* du système. C'est cette méthode qui est utilisée.

A part cet amortissement magnétique appliqué à dessein, il n'y a pas de forces tendant à faire décroître l'oscillation si ce n'est le très petit frottement interne

mentionné plus haut (absolument négligeable au point de vue pratique), la résistance que l'air offre à l'oscillation de la petite masse inerte et du miroir aux petits angles d'oscillation (effet évidemment négligeable), et un effet (également négligeable en ce qui concerne le mouvement de rotation) produit par l'amortissement à l'huile appliqué, comme on l'a dit, à la suspension. Tous ces effets réunis ne constituent qu'une très petite somme à ajouter à l'amortissement magnétique.

CONSTRUCTION

La figure 2 représente un séismomètre à torsion (type pendule horizontal à courte période) établi pour les tremblements de terre locaux. Un fil de tungstène T, de 16 centimètres de long environ et de $\frac{1}{50}$ mm. de diamètre, est fortement tendu entre deux pinces de suspension U et L ; il porte excentriquement vers sa partie médiane un cylindre de cuivre C auquel est fixé un petit miroir plan *m*. (À droite de la figure se trouve un schéma agrandi du dispositif cylindre, miroir et fil de suspension.) T est fortement tendu par un poids cylindrique de bronze de 15 grammes environ que l'on aperçoit exactement au-dessous de la pince de suspension L. Le cylindre de cuivre C a une longueur approximative de 2 centimètres et demi et un diamètre de 2 millimètres ; son poids approximatif, miroir compris, est de 0,7 de gramme. Ainsi que le montre le schéma, le fil T est fixé à la surface du cylindre parallèlement à son axe. Lorsque le fil T est bien réglé verticalement, le système constitue un pendule rigoureusement horizontal avec réaction due entièrement à la torsion, ainsi qu'il a été expliqué plus haut. Lorsqu'il se produit un mouvement horizontal de la terre ayant une composante normale au plan d'équilibre, la rotation du système excentrique se fait autour du fil comme axe d'une manière analogue à celle des autres pendules horizontaux.

Mais, de plus, si l'accélération de la terre est suffisamment intense, une vibration horizontale de période relativement très courte, analogue à celle d'une corde à violon, prend naissance. C'est là un défaut de la suspension Zoellner. Cet effet peut être prévenu, ou diminué et amorti

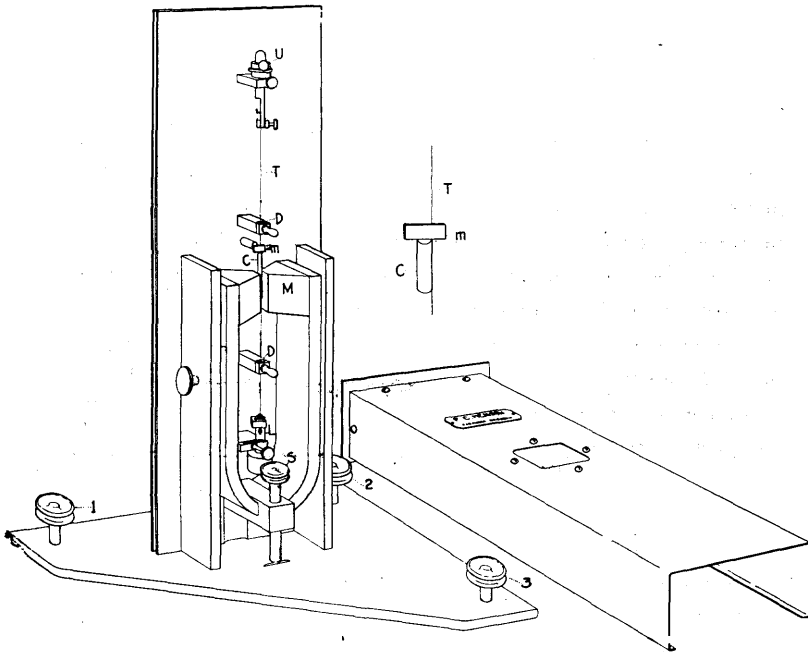


Fig 2 et 3.

très rapidement, si l'on fait passer le fil T à travers deux petites gouttes d'huile de ricin contenues dans les amortisseurs à huile DD, un au-dessus et un au-dessous de la masse d'inertie. Le fil T passe, sans rien toucher d'autre, à travers deux petites pellicules d'huile maintenues par la tension superficielle en D et D. La résistance de viscosité exercée par ces gouttes d'huile élimine presque entièrement l'effet vibration de corde à violon, mais, ainsi qu'il a été dit plus haut, ceci n'entraîne pas d'amortissement appréciable dans l'oscillation de rotation produite par un

mouvement terrestre horizontal normal au plan d'équilibre, ou dans la réaction de torsion.

Afin d'obtenir pour les vibrations de torsion un amortissement approprié, c'est-à-dire critique ou presque critique, en vue d'éliminer la persistance du mouvement propre du système suspendu, un aimant permanent M est placé de telle manière que le cylindre de cuivre C soit suspendu dans l'entrefer entre ses pôles, et de façon que les petites oscillations de C autour de sa position d'équilibre aient lieu normalement au champ magnétique. L'aimant peut être installé verticalement au moyen de la vis S. Lorsque M est dans sa position la plus basse, le cylindre C est entièrement hors du champ. Dans cette position, l'amortissement est presque nul, et alors la période propre T_0 , sans amortissement, peut être aisément déterminée. Lorsque M est amené au point le plus haut, le cylindre tout entier plonge dans le champ et le système est légèrement sur-amorti. Ainsi, en déplaçant simplement M dans le sens vertical, on peut réaliser toutes les conditions, depuis un amortissement presque égal à zéro jusqu'à l'apériodicité.

RÉGLAGE

Le réglage de l'appareil se fait de la manière suivante : la torsion du fil T doit d'abord être rendue nulle ; après avoir amené le fil dans la verticale, on le tourne sans le tordre de façon qu'une ligne passant par le fil et le centre de la masse Cm soit parallèle au champ magnétique dans l'entrefer, ou, ce qui revient au même avec une approximation suffisante, de façon que la normale au miroir soit perpendiculaire au champ. Pour y arriver, U étant fixé dans son système de serrage, l'écrou de L est desserré, et l'instrument est mis de niveau jusqu'à ce que la petite partie cylindrique de L soit suspendue librement à travers la pince ouverte. Le fil T se détordra alors, lentement, par suite de la grande inertie de L, et on arrivera

finalement à l'équilibre dans une position définie. Supposons que dans cette position l'angle formé par la normale du miroir m et le champ magnétique dans l'entrefer ne soit pas un angle droit. On pourra le rectifier en desserrant l'écrou de pince U et en faisant tourner le système entier de l'angle nécessaire, et en ayant soin de prévenir toute torsion ou de l'éliminer. U et L seront alors fixés. Il faudra alors procéder à un nouveau réglage pour ramener T dans la verticale, car l'opération du fixage le laissera presque toujours plus ou moins incliné. On laisse le cylindre C à la gauche de T ainsi qu'on le voit dans la figure et le schéma. On dévisse légèrement la vis de nivellement marquée 1, abaissant ainsi cette partie de la base ; l'instrument est incliné sur la gauche d'un angle assez considérable par rapport à la ligne définie par les vis 2 et 3. En raison de la grandeur de l'angle i ainsi introduit, la période telle qu'elle est donnée par l'égalité

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{(K' + mga \sin i)}} < T_0$$

sera assez courte. Si alors la ligne T se trouve dans le plan vertical normal à la ligne 2-3, le système Cm ne tournera pas lorsque la base sera élevée au moyen de la vis 1; contrairement à ce qui arrive en réalité. Si la déviation se produit dans le sens des aiguilles d'une montre, la base doit être abaissée au moyen de la vis 3 ou élevée au moyen de la vis 2 ; ou, si elle est en sens inverse des aiguilles d'une montre, la base sera élevée au moyen de la vis 3 ou abaissée au moyen de la vis 2; ceci jusqu'à ce que le réglage ainsi indiqué soit achevé. Alors la base est inclinée au moyen de la vis 1 jusqu'à ce que la période atteigne la valeur donnée par l'égalité

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K'}}$$

ou jusqu'à ce que la période désirée soit conforme aux égalités

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{(K' + mga \sin i)}} < T_0. \quad (i = i, \quad \theta = 0),$$

ou

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(K' - mga \sin i)}} < T_0, \quad (i = i, \quad \theta = \pi).$$

Finalement, l'aimant M est élevé ou abaissé jusqu'à ce que l'amortissement désiré soit obtenu.

Il est désirable de maintenir la cage du séismomètre en place pendant qu'on procède au nivellement, afin d'éviter que les courants d'air amènent des déplacements du système suspendu.

REMARQUES

Le séismomètre proprement dit n'est guère plus grand qu'un galvanomètre ordinaire, ayant un système mobile de masse 0,7 de gramme à peu près ; et, à part l'appareil enregistreur, il peut être déplacé et réglé à peu près avec la même facilité que cet instrument. Il est facile à construire, puisque la seule difficulté pratique est de rendre le système mobile aussi exempt que possible de matières ferromagnétiques, — les conditions nécessaires étant à peu près les mêmes, quoique un peu moins rigoureuses, que celles qu'exige un galvanomètre de haute sensibilité.

COMPOSANTE VERTICALE

Pour l'enregistrement de la composante verticale du mouvement terrestre on peut employer un système similaire avec le fil T dans la position horizontale, mais ce système n'a pas été jugé satisfaisant pour des périodes propres supérieures à 0,5 de seconde. Pour des périodes plus longues, un autre principe est à l'étude.

*
* *

Le mémoire de MM. Anderson et Wood contient ensuite l'exposé de la théorie de leur séismomètre. Ils

montrent tout d'abord que l'équation générale de son mouvement se ramène à l'équation classique générale s'appliquant à tous les genres d'instrument : pendule renversé, pendule horizontal, etc., théorie particulièrement développée dans les mémoires de Wiechert et de Galitzine. On peut toutefois signaler la forme différente sous laquelle ils croient préférable de mettre le premier membre de l'équation :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2h \frac{2\pi}{T_0} \frac{d\theta}{dt} + \frac{4\pi^2}{T_0^2} \theta = 0$$

dans laquelle h est le coefficient d'amortissement.

En effet, en partant de la forme

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2k' \frac{d\theta}{dt} + K'\theta = 0$$

où I est le moment d'inertie autour de l'axe, K' le moment de torsion autour de l'axe exprimé en dynes-centimètres par radian, $2k'$ le moment d'amortissement en dynes-centimètres pour la vitesse angulaire-unité (1 radian par seconde), on pose $2k'/I = 2k$ et $K'/I = K$, d'où

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2k \frac{d\theta}{dt} + K\theta = 0.$$

D'autre part, la période propre du mouvement est

$$T_0 = 2\pi/\sqrt{K}$$

dans le cas de l'amortissement critique, $k^2 = K$, et l'on a $k = 2\pi/T_0$, mais d'une façon générale $k = h2\pi/T_0$, d'où

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2h \frac{2\pi}{T_0} \frac{d\theta}{dt} + \frac{4\pi^2}{T_0^2} \theta = 0.$$

Par cette transformation, les paramètres k et K ont été remplacés par les paramètres h et T_0 .

Les auteurs proposent d'utiliser en séismologie les mots de « Transient Effect » et de « Purity » du séismogramme :

Si T_0 est très petit, par exemple de l'ordre d'une seconde, les mouvements du système qui ne changent

pas de sens plus de deux fois par seconde doivent être en rapport simple avec l'accélération cause des mouvements. L'appareil satisfait à la condition de fidélité. Des mouvements plus rapides peuvent aussi représenter plus ou moins fidèlement la cause dont ils proviennent, mais on ne saurait l'affirmer, puisqu'il est certain que dans de tels mouvements le premier terme de l'équation a toujours une influence. Ce terme aura donc un effet *de passage*, que les auteurs appellent « Transient ».

Si T_0 est grand, par exemple 10 secondes ou davantage, il s'ensuit donc que *seule* la partie du mouvement enregistré qui n'accuse pas de détails plus fins que cinq secondes ou à peu près peut être considérée comme une représentation fidèle. Il y a de grandes chances pour que, avec un pareil système, tous les détails plus fins que cinq secondes soient d'une interprétation extrêmement difficile et parfois impossible, quoiqu'ils ne soient pas nécessairement sans signification. Et le mouvement séismique étant une succession irrégulière et oscillatoire de composantes qui arrivent à de courts intervalles, correspondant chacune à un « transient » propre, l'interprétation des « réponses » données par l'instrument sera d'autant plus difficile que T_0 sera plus long.

Il est par conséquent évident que la « pureté » du séismogramme — terme que les auteurs voudraient voir adopter dans la technique — est, en général, de moins en moins grande à mesure que T_0 est de plus en plus grand, excepté peut-être lorsque l'accélération-cause est d'un caractère très simple, ou lorsqu'elle est formée de composantes de longues périodes séparées par de longs intervalles, tous deux par rapport à T_0 .

Les auteurs introduisent aussi le mot « efficiency » qui représente le rapport entre l'inscription linéaire (response of the seismometer) A à la « cause », la composante linéaire de l'accélération normale au plan de suspension de l'équipage.

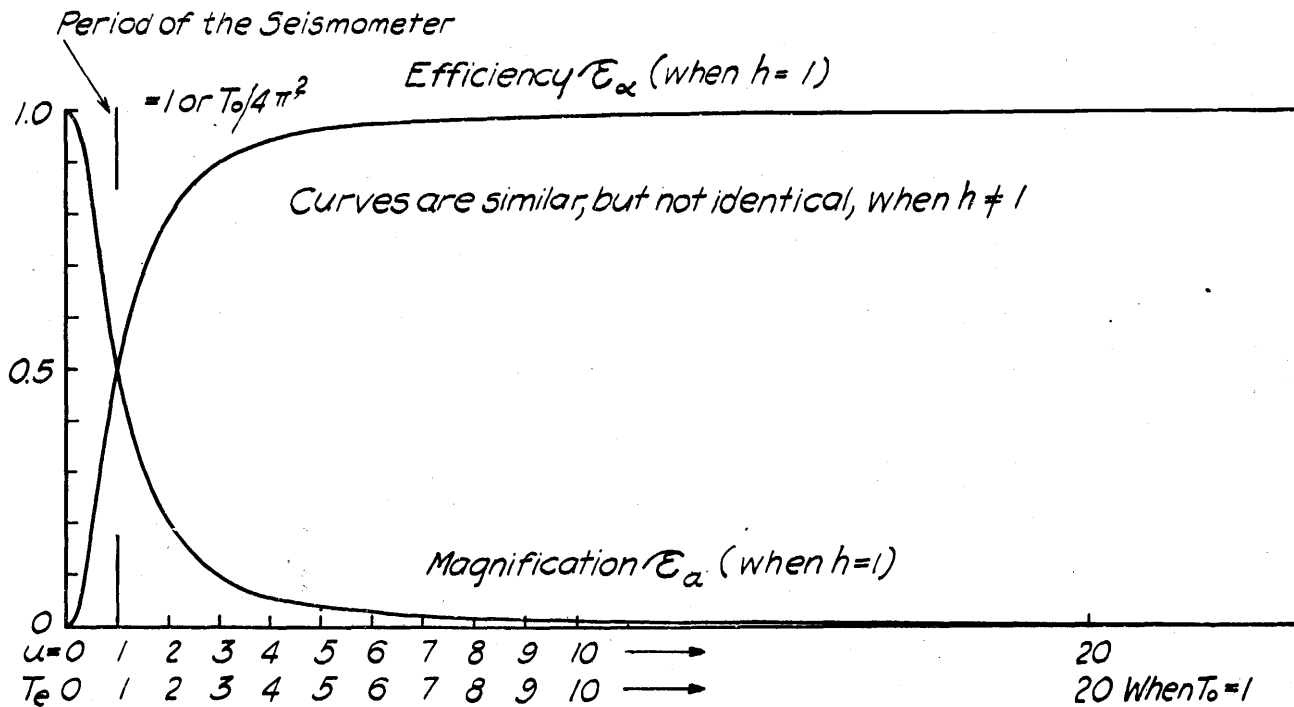
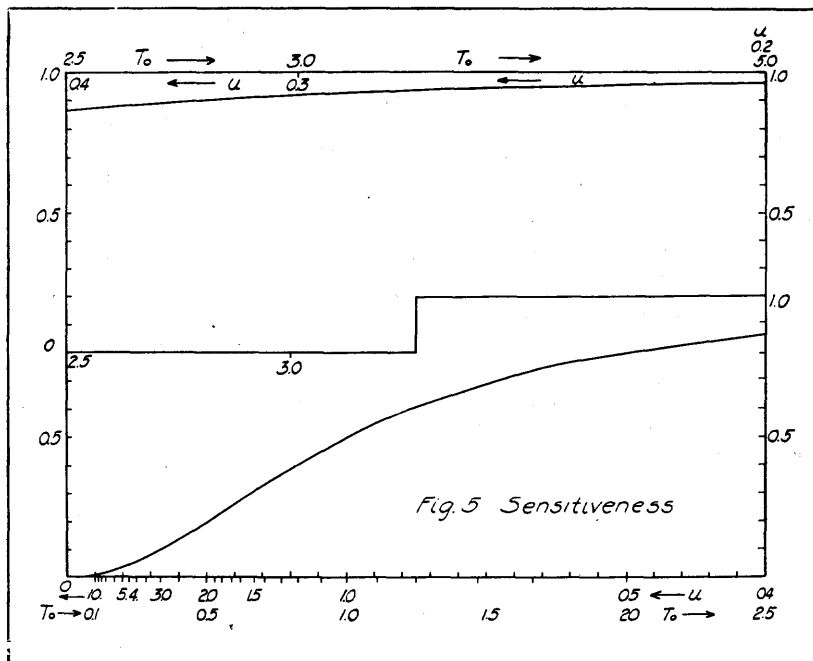


Fig. 4 (a) (b)

Le terme « efficiency » ou $\frac{A}{a}$ du séismomètre augmente en même temps que la période T_0 du mouvement de la terre augmente, et réciproquement.

L'« amplification » (magnification) $\frac{A}{a}$, rapport de l'ins-



cription linéaire de l'appareil à l'amplitude maxima de la terre, diminue quand T_0 augmente et réciproquement.

Ils envisagent également le rapport $\frac{A}{v}$, ou rapport de l'inscription du séismographe à la vitesse de vibration, rapport variable quand T_0 varie toutes choses égales d'ailleurs. Ce rapport porte le nom d'« efficiency » du séismomètre par rapport à la vitesse de vibration.

La sensibilité (sensitiveness) du séismomètre varie directement avec T_0 . Dans un appendice qui contient

la théorie très détaillée, auquel les lecteurs voudront bien se reporter, figure une discussion complète des trois rapports : efficiency, magnification et sensitiveness.

On trouvera ci-joint, dans les figures 4 et 5, la reproduction des courbes contenues dans le mémoire.

*
* *

L'instrument étant fondé sur un nouveau principe de construction, bien que la théorie soit basée sur les équations classiques fondamentales, il serait particulièrement intéressant de procéder à une comparaison directe des résultats qu'il fournit dans les différentes conditions avec ceux d'appareils au fonctionnement aujourd'hui bien connu par suite d'une longue expérience. Comme il est facile de faire varier dans de larges limites la période propre, on pourrait procéder à la comparaison avec tous les types d'instruments existants dont les périodes s'étendent sur une assez vaste échelle. Ces comparaisons pourraient être faites sur la plate-forme d'essais à l'aide de vibrations artificielles, plus sûrement et plus rapidement peut-être que par les séismes naturels, parce que les conditions qui peuvent être variées très rapidement sont rigoureusement les mêmes pour les instruments comparés.

Reçu en juillet 1926.

Appareil de synthèse de mouvements périodiques ⁽¹⁾

Par EDMOND ROTHÉ

Directeur de l'Institut de Physique du Globe

et ALPHONSE REMY

Licencié ès-Sciences, Ingénieur à Strasbourg

GÉNÉRALITÉS. — Le réglage et les essais des séismographes exigent l'usage de plateformes d'essais animées de petits mouvements imitant les tremblements de terre. Des plateformes de ce genre ont été établies au laboratoire d'Omori au Japon ; il en existe également une à Strasbourg, qui fut construite sur les indications de M. Mainka ⁽²⁾. Les mouvements lui étaient communiqués par un dispositif simple formé par un excentrique entraîné par un petit moteur ; ces mouvements étaient des oscillations périodiques se succédant avec une certaine amplitude d'une manière régulière.

Il nous a semblé utile de construire un appareil permettant la synthèse de plusieurs mouvements de périodes

⁽¹⁾ Les clichés 1 à 6 ont été communiqués aimablement par le *Journal de Physique* ; les autres ont été offerts au Bulletin par la *Revue Scientifique*.

⁽²⁾ C. MAINKA. — *Eine neue seismische Untersuchungsplatte*. Publications du bureau central de l'Association internationale de Sismologie, série A, Mémoires, Strassburg, 1909.

et d'amplitudes variables réalisant ainsi des mouvements très analogues à ceux des séismes véritables, depuis les ondes les plus courtes, de période 1 seconde environ, jusqu'aux longues ondes de période 15 secondes.

PRINCIPE. — Le problème que nous nous posions consistait donc à réaliser pour chaque mouvement composant des *périodes variables d'une façon continue* et des *amplitudes croissantes*. Il fallait de plus pouvoir modifier à son gré l'amplitude de chaque mouvement composant, sans que sa périodicité en fût affectée. Cette première condition a été réalisée par l'emploi d'un moteur soit synchrone soit asynchrone fonctionnant à faible charge sur courant triphasé, de façon que sa vitesse propre reste toujours très voisine du synchronisme, quelle que soit la variation de puissance prise par l'ensemble des organes en mouvement. Quant à la variation des amplitudes, celle-ci est facilement réalisable par le déplacement d'excentriques.

Le moteur entraîne un système de poulies dont chacune actionne séparément un excentrique producteur d'un des mouvements partiels. Pour que la période de ces mouvements soit variable d'une manière continue, l'entraînement se fait par des paires de poulies coniques à axes parallèles et à bases opposées, le long desquelles on peut déplacer insensiblement la courroie d'entraînement.

L'appareil que nous avons réalisé a été établi pour quatre systèmes de poulies parallèles, quatre excentriques, soit quatre mouvements composants. Il est d'ailleurs loisible d'en augmenter ou d'en diminuer le nombre à volonté.

Chacun des systèmes producteurs de mouvement est constitué par un cylindre métallique à axe vertical, sur lequel est calé un pignon denté entraîné par une vis tangente solidaire de la poulie conique (Fig. 1). Sur ce premier cylindre de centre C, on fixe un tambour creux T

dont le centre Ω sera calé à une distance α du centre C . Sur la périphérie de T s'appuie l'extrémité D d'un levier AD de longueur constante, mobile autour de l'axe A . Le levier est d'ailleurs prolongé par le bras $AB = \frac{1}{5} AD$

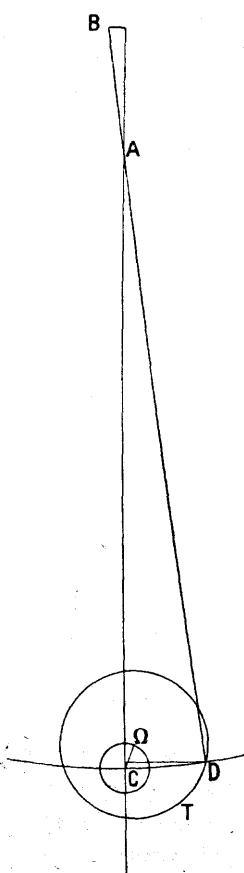


Fig. 1.

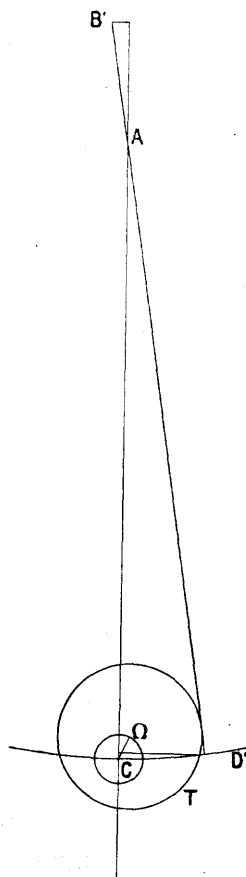


Fig. 2.

si bien que les mouvements de D sont reproduits par B , mais amoindris dans le rapport $\frac{1}{5}$. D'autre part $AC = AD$.

L'étude du mouvement du point D se réduit à une

question élémentaire de cinématique, qui peut être résolue soit par le calcul, soit par une méthode graphique.

Le lieu géométrique du point D est le cercle tracé de A comme centre avec AD comme rayon. A chaque époque t , D se trouve, en outre, sur le cercle mobile dont le centre Ω est animé d'un mouvement circulaire uniforme de vitesse ω . Il est facile de construire ces divers cercles et d'en marquer les intersections avec le lieu du point D. On a ainsi les positions successives aux différentes époques. Posons $AD = b$ et $\Omega C = a$, $\Omega D = 3a$, nous serons amenés à chercher l'intersection des cercles :

$x^2 + y^2 - 2by = 0$ et $x^2 + y^2 - 2ax \cos \omega t - 2ay \sin \omega t - 8a^2 = 0$ pour les valeurs successives de t .

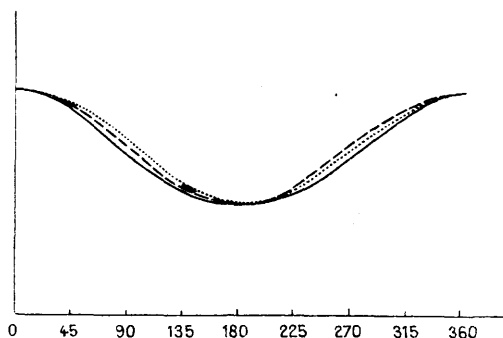


Fig. 3.

Nous avons obtenu par la méthode graphique la courbe en trait plein de la figure 3, qui représente les variations de l'abscisse du point D ; le mouvement de B est réduit dans le rapport $1/5$.

Une variante de ce dispositif consiste à appuyer sur le pourtour du tambour T, non pas un contact à l'extrémité d'un levier de longueur constante AD, mais un doigt tangent, ce qui revient à dire en langage géométrique qu'on mènera de A les différentes tangentes au cercle de centre Ω (fig. 2). La courbe en pointillé de la figure 3 représente avec une amplification 5 le mouvement du

point B'. Sur la même figure 3 on a dessiné également en traits interrompus la sinusoïde d'amplitude a .

Les figures sont relatives aux valeurs $b = 25$ centimètres et $a = 1$ centimètre. Elles rendent compte des différences entre la sinusoïde et les courbes périodiques réalisées. Le second procédé (doigt tangent) donne une courbe beaucoup plus symétrique que le premier, ainsi qu'en pratique on peut le constater par l'examen de la figure 10 (voir plus loin).

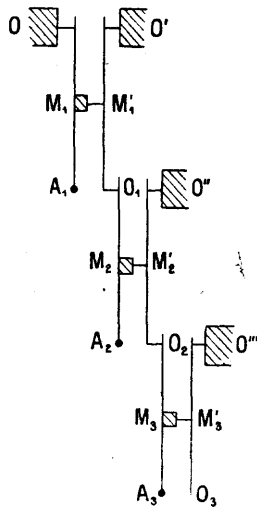


Fig. 4.

La combinaison des mouvements se fait par le combinateur, dont nous allons exposer le principe (fig. 4) :

Différents leviers OA_1 , $O'O_1$, $O''O_2$, $O'''O_3$, peuvent osciller autour d'axes situés dans le plan de la figure et solidaires du support ; des leviers intermédiaires O_1A_2 , O_2A_3 , sont au contraire mobiles autour d'axes entraînés par les premiers. Les tiges de poussée des excentriques E_1 , E_2 , E_3 , agissant aux points B_1 , B_2 , B_3 , exercent leur action en A_1 , A_2 , A_3 , dans le plan de la figure, perpendiculairement aux leviers.

On comprend immédiatement le principe de la combinaison : une impulsion en A_1 est réduite de moitié en M_1 , qui entraîne M'_1 , si bien que O_1 reproduit le mouvement de M_1 amplifié dans le rapport 2, soit le mouvement de A_1 ; car par construction $OM_1 = M_1A_1 = \dots = 2$ centimètres.

En A_2 agit la deuxième tige de poussée recueillant le mouvement de l'excentrique E_2 qui se reproduit en O_2 , combiné au mouvement de O_1 .

En A_3 agit la troisième tige de poussée recueillant le mouvement de l'excentrique E_3 , et qui se reproduit en O_3 , combiné à la somme des mouvements de E_1 et de E_2 .

Le levier appuyé en O_3 pourra donc communiquer à tel dispositif qu'on voudra la résultante des mouvements composants.

Des aiguilles solidaires des tiges de poussée inscrivent les mouvements de ces trois tiges ; une aiguille solidaire de la dernière tige O_3 inscrit le mouvement résultant, sur un même cylindre enduit de noir de fumée.

En outre, la tige de poussée composante agit sur un système de leviers diminuant le mouvement dans le rapport $1/6$, si bien que le mouvement initial est réduit dans le rapport $1/30$. Dans les graphiques de la figure 3, nous avons envisagé l'amplitude maxima de 1 centimètre ; l'amplitude maxima communiquée à la plateforme sera donc de $1/3$ de millimètre. On voit qu'il sera très aisé de communiquer à la plateforme des mouvements de quelques microns, en réduisant à volonté l'amplitude des mouvements des excentriques.

DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'APPAREIL — L'appareil installé à l'Institut de Physique du Globe à Strasbourg a été exécuté, sur nos plans, par M. Maetz, constructeur de mécanique de précision à Strasbourg.

Il est constitué (fig. 5) par une base solide en fonte, formant socle commun à tous les organes. Ceux-ci comprennent, dans l'ordre de transmission des mouvements :

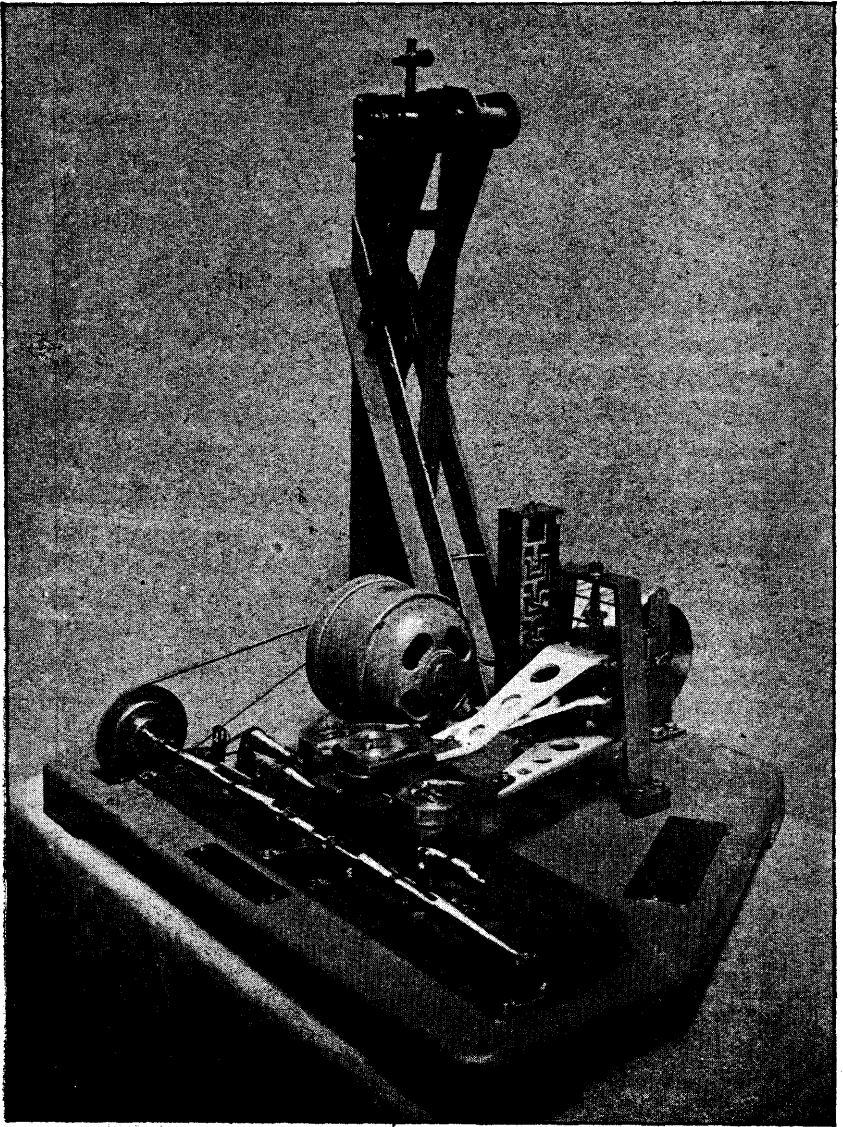


Fig. 5.

Le moteur ;
Les producteurs de mouvements périodiques ;
Le combineur et son enregistreur ;
Le transmetteur-réducteur.



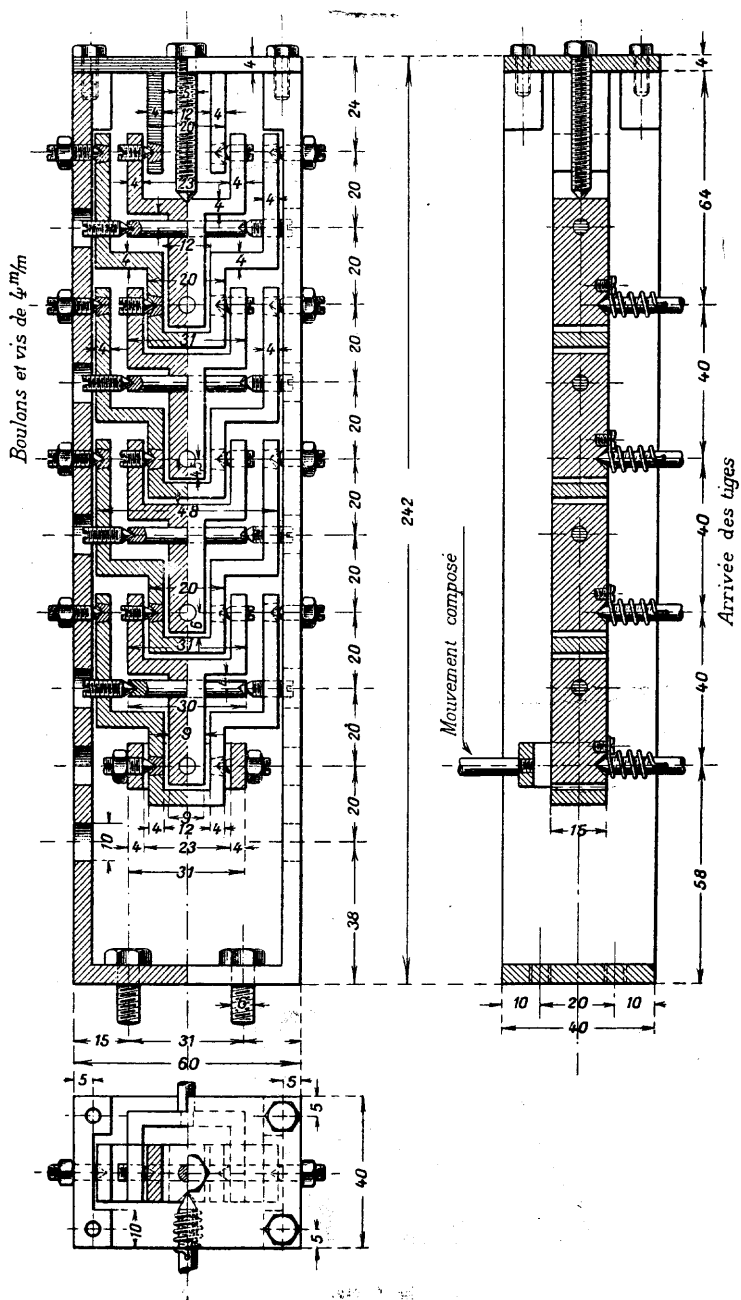
Fig. 5 bis

Le moteur travaillant sur courant alternatif triphasé à fréquence constante est soigneusement équilibré, de façon à réduire au minimum ses propres vibrations. La direction de ces vibrations, ainsi que celles éventuelles des autres organes rotatifs de l'appareil, sont du reste dirigées perpendiculairement aux mouvements périodiques reçus par le combineur. Elles sont donc sans influence sur ces derniers.

Chaque producteur de mouvements périodiques reçoit son mouvement rotatif par l'intermédiaire d'une transmission principale commandant un jeu de poulies coniques. La courroie reliant ces dernières est guidée par un galet-tendeur à joues, formant fourches, et assurant constamment une tension suffisante de la courroie, malgré son allongement éventuel, grâce à deux ressorts de rappel du galet ⁽¹⁾. L'axe de déplacement de ce galet est déterminé par la ligne droite joignant les deux sommets fictifs des poulies cônes. Le déplacement se fait par vis à un filet, munie d'une tête à molettes manœuvrable à la main. Le tambour excentrique est muni d'une graduation permettant de lui donner, sans tâtonnement, l'amplitude d'excentricité désirée. Les leviers qui viennent s'appuyer contre chaque tambour peuvent être munis à volonté à leur extrémité soit d'un doigt de contact à bras de levier constant, soit d'un doigt tangent. Ils comportent une lame flexible en acier dont le point de contact est opposé à celui du doigt et qui freine constamment le tambour, de façon à éviter que ce dernier, dans une certaine partie de sa rotation, puisse présenter un effort résistant négatif. Le couple résistant du tambour est donc toujours positif et le jeu possible de la vis tangente qui lui donne son mouvement ne peut, en aucun moment, modifier la vitesse propre du tambour.

L'axe supportant les leviers comporte des coussinets à rattrapage de jeu. L'extrémité des petits bras des leviers ne présente qu'une course maximum de 2 millimètres de part et d'autre de sa position médiane, ce qui permet d'assimiler, avec une erreur négligeable, sa course à une droite. L'ensemble de chaque levier est soigneusement équilibré statiquement par un petit contrepoids réglable. Pour diminuer son importance, on a fait le grand bras de levier en aluminium perforé.

(¹) Dans un modèle primitif (fig. 5 bis) la transmission se faisait par courroies croisées.



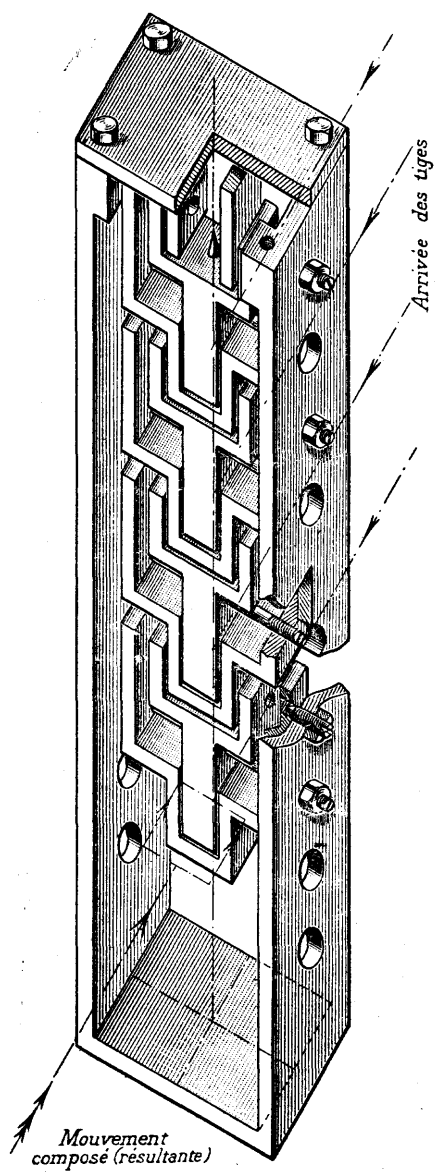


Fig. 6 bis.

La transmission des mouvements de la tête des petits leviers au combinateur se fait par des tiges rigides à fixation sur pointes, avec ressorts d'adhérence des pointes dans leur logement à cuvette, ce qui supprime tout jeu axial.

Le combinateur de mouvements périodiques, dont la coupe et la vue en perspective sont données par les figures 6 et 6 bis, est la partie essentielle de l'appareil. Sa conception, résultant d'une étude approfondie, permet, sous un volume réduit, de réaliser rigoureusement, dans le temps, la résultante géométrique de plusieurs mouvements périodiques, quel qu'en soit le nombre. Sa construction a fait l'objet de soins tout particuliers, tant dans l'obtention de bras de leviers rigoureusement identiques que dans l'absence de tout jeu. A cet effet, les pièces formant levier sont à emboîtement les unes dans les autres, et sont rigoureusement interchangeables. Elles ont été exécutées en sectionnant une seule et même pièce de gabarit constant. Le perçage a été également exécuté sur gabarit cimenté. Chaque pièce se meut entre deux pointes en acier cimenté et trempé, dont l'écartement peut être réglé à volonté. Tous les axes sont sur pointes entre cuvettes à rattrapage de jeu.

L'enregistreur est du modèle Richard à grand tambour de 125 millimètres de diamètre et 125 millimètres de longueur, faisant par mouvement d'horlogerie un tour complet en 13 minutes. Les aiguilles d'enregistrement peuvent être soulevées par un support à coulisse placé sur le côté du tambour.

Une tige rigide, dont l'extrémité pointue porte également sur cuvette, relie le dernier levier du combinateur, donnant la résultante des mouvements, au transmetteur-réducteur, qui est un simple bras de levier, réduisant encore 6 fois l'amplitude. Ce transmetteur n'a rien de particulier, sinon une extrême robustesse du cadre qui le porte, et une construction en fers profilés montés en assemblage, de façon à supprimer au maximum la flexibilité de ses organes. Les coussinets sont également à rattrapage de jeu. La partie supérieure du transmetteur

est reliée directement à la table oscillante de la plateforme d'essais.

Par une légère modification dans la conception constructive de l'appareil, il est possible de lui faire inscrire des courbes rigoureusement sinusoïdales. Les plans de cette variante sont établis, mais nous n'avons pas encore procédé à sa construction, la différence entre les courbes qu'il fournit et celles données par l'appareil précédent étant insignifiante en pratique, surtout lorsque la fréquence est élevée.

EXEMPLES D'INSCRIPTIONS RELEVÉES SUR L'APPAREIL.

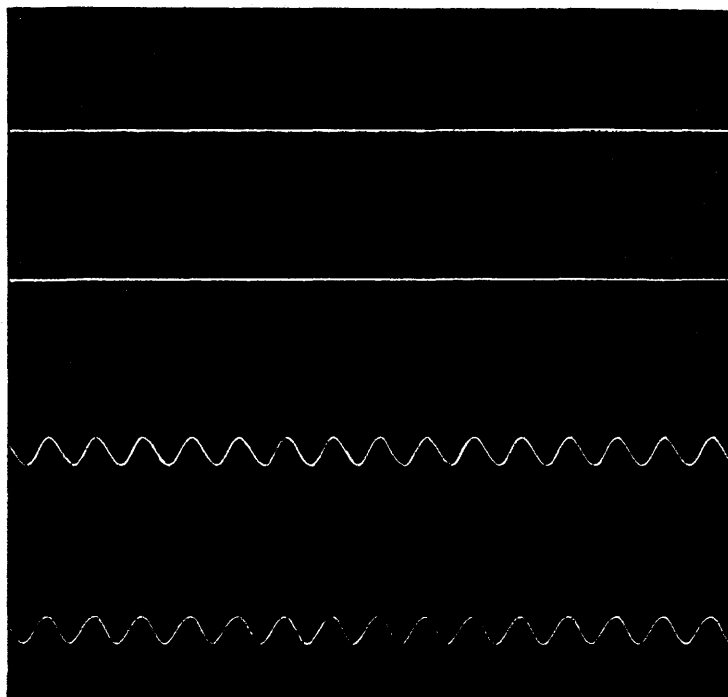


Fig. 7.

— Nous donnons ci-après la reproduction en grandeur de différentes courbes obtenues sur l'enregistreur de cet

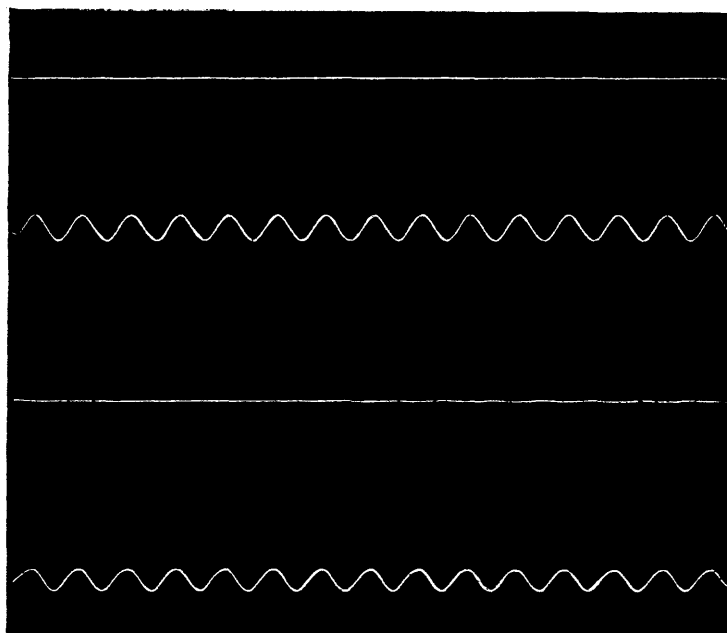


Fig 8.

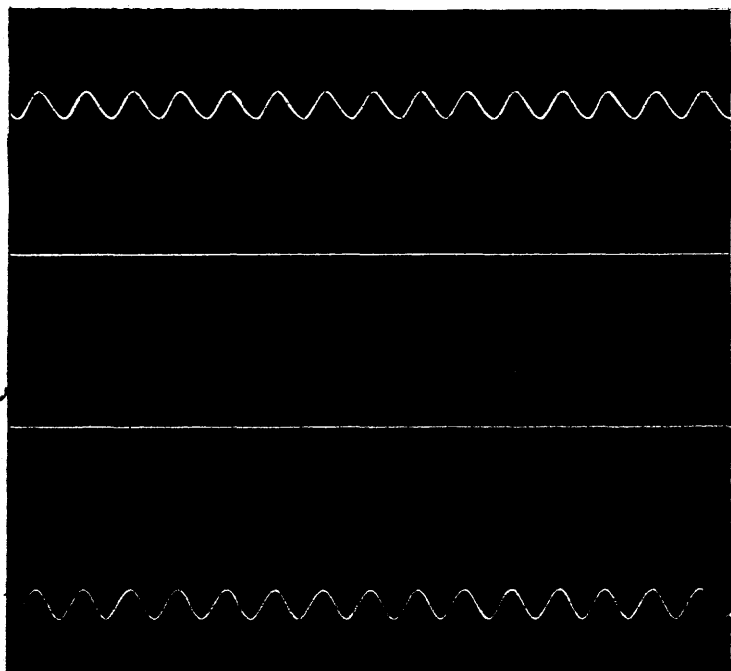


Fig. 9.

appareil. La courbe résultante se trouve toujours à la partie inférieure de chaque cliché.

Les clichés figures 7, 8, 9, représentent les essais de

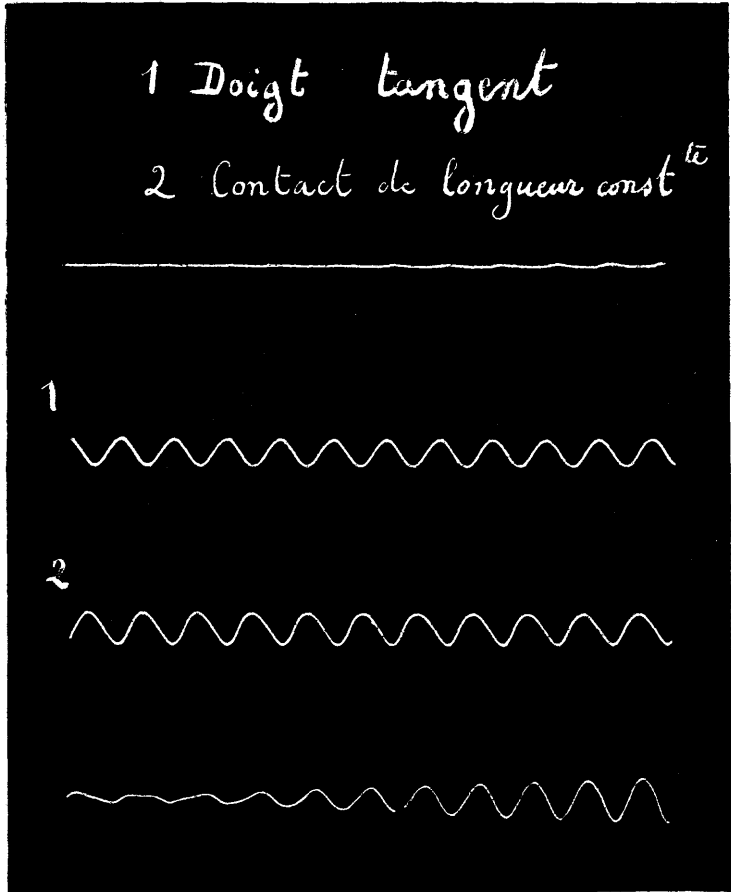


Fig. 10

vérification de l'appareil. Si, en effet, tous les producteurs
moins un sont placés sur une excentricité nulle, la résultante doit reproduire fidèlement le mouvement périodique

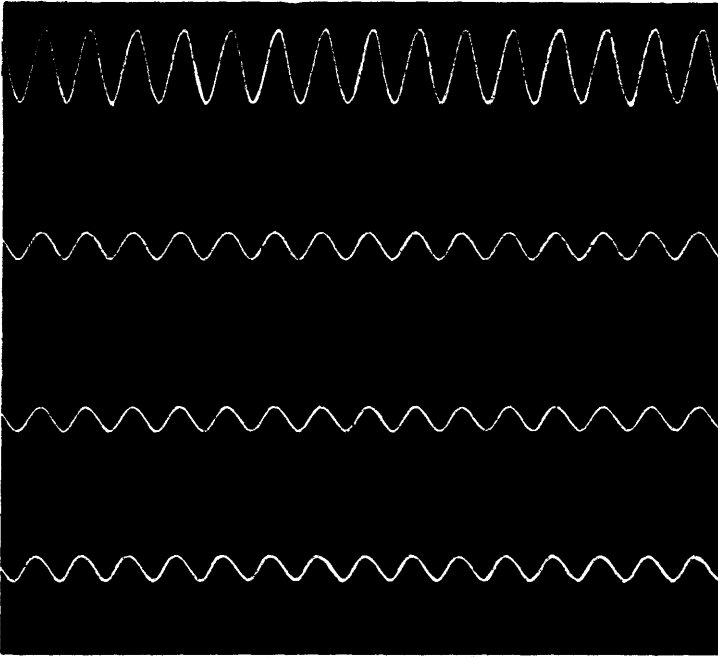


Fig. 11.

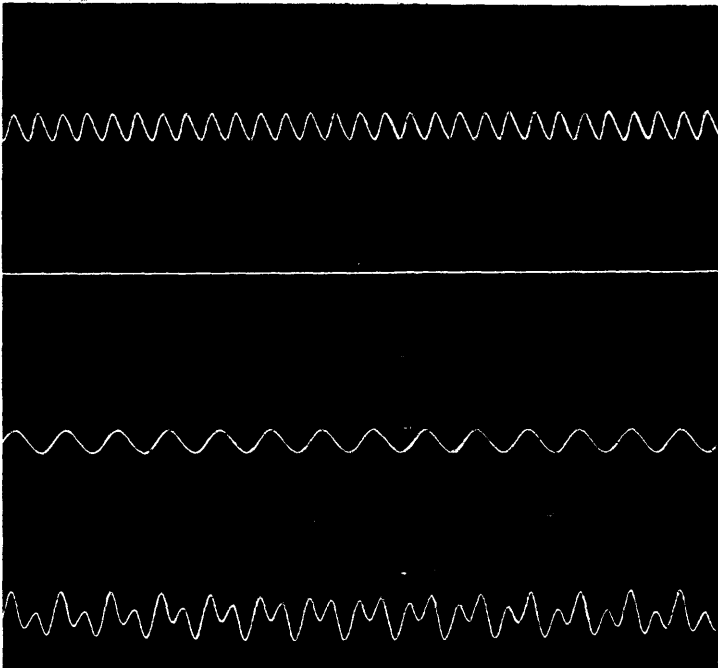


Fig. 12.

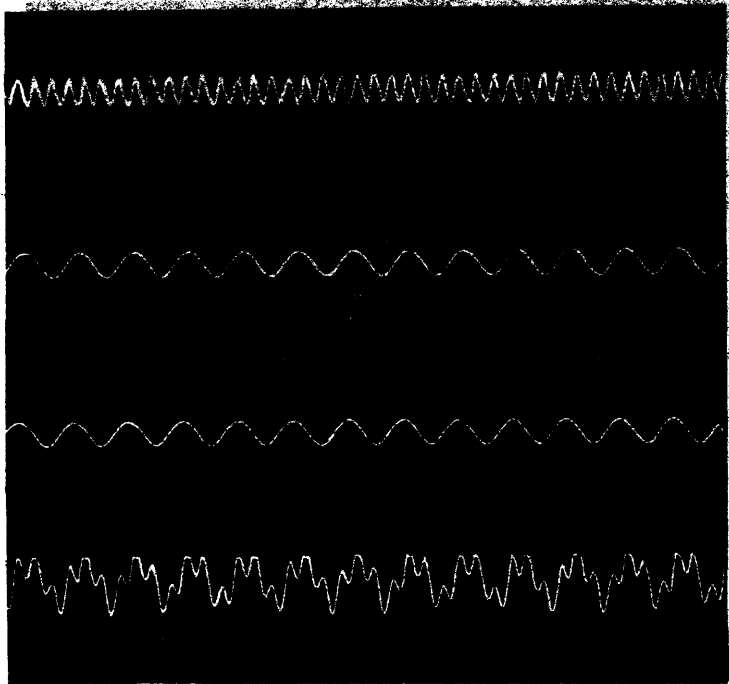


Fig. 13.

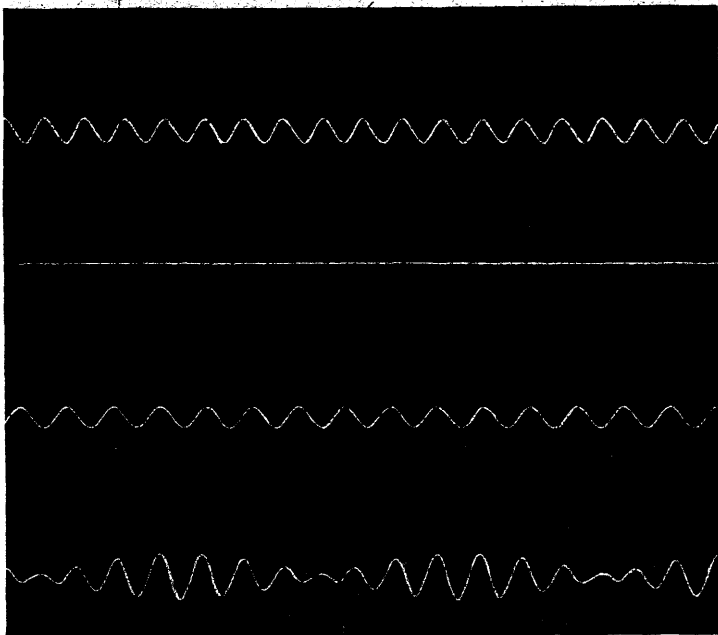


Fig. 14.

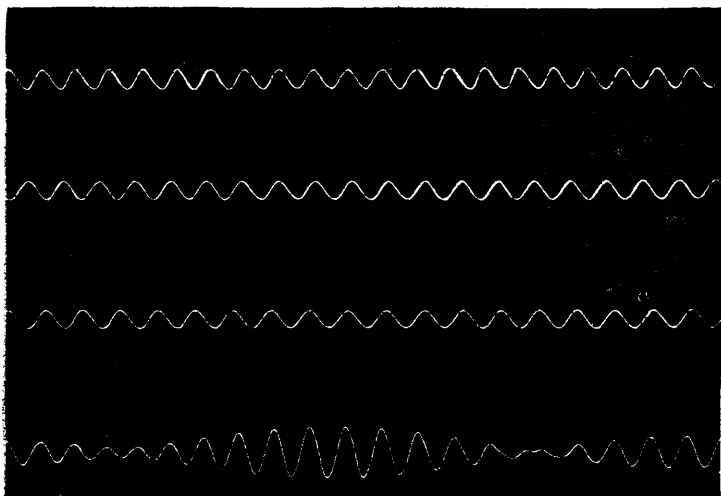


Fig. 15.

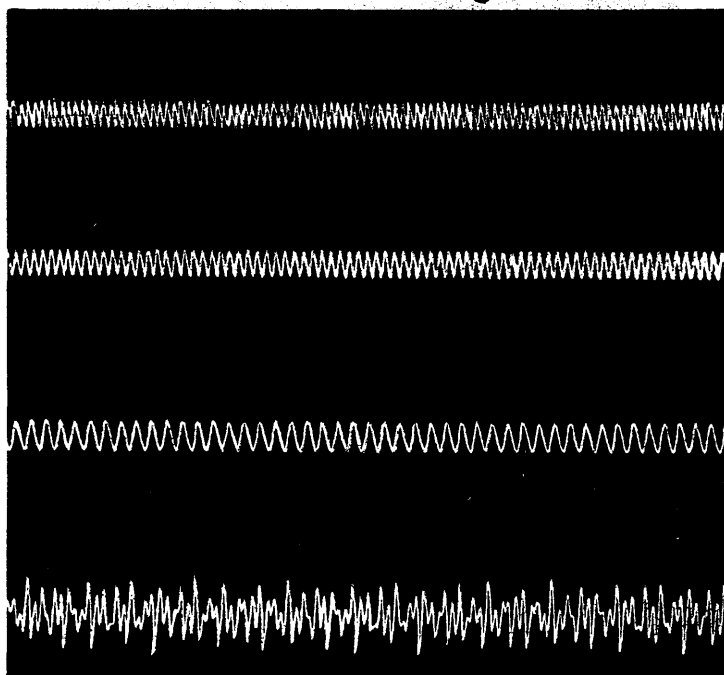


Fig. 16.

simple du producteur en excentricité, et les autres enregistrements doivent correspondre à une droite.

La figure 10 a été réalisée à faible périodicité et avec amplitude maximum sur deux excentriques, le troisième étant au repos, de façon à pouvoir se rendre compte expérimentalement de la faible différence de forme de courbure obtenue avec un doigt tangent et avec un doigt de contact à bras de levier constant.

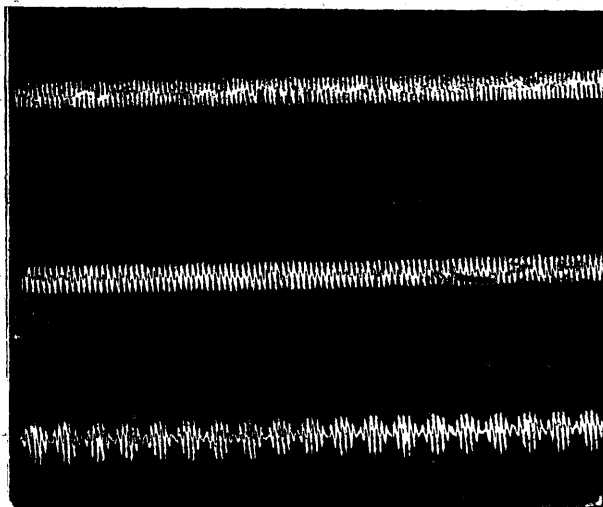


Fig. 17.

La figure 11 a été réalisée avec les 3 excentriques à périodes voisines et à amplitude maximum concordant dans le temps, pour vérifier l'exactitude de la résultante qui doit présenter une amplitude triple.

Les clichés figures 12 à 17 représentent des essais effectués à 2 ou 3 excentriques à périodicités très différentes et à amplitudes également différentes. On obtient ainsi, pour les courbes résultantes, des cycles à longues périodes qui se reproduisent fidèlement à intervalles égaux. La valeur de ces périodes de cycles peut être variée à l'infini,

si on modifie la périodicité de chaque excentrique, ce qui peut être obtenu en cours de marche de l'appareil.

RÉSULTATS. — L'appareil réalise bien le but que nous nous étions proposé; la combinaison de deux ou trois mouvements périodiques simples permet de communiquer à la plateforme d'essais des mouvements rappelant à s'y méprendre ceux de la terre dans les stations d'observa-

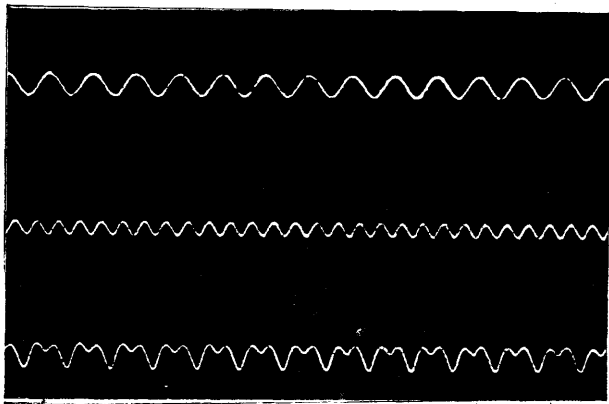


Fig. 18.

tion lors de certains séismes. Une communication faite au Congrès Pan-Pacifique a montré comment à l'appui de ces résultats il a été possible d'édifier une explication de l'existence de certains maximums. On a pu reproduire presque fidèlement certains trains d'ondes inscrits à Strasbourg lors de tremblements de terre ayant leur épicentre dans le Pacifique ou l'Atlantique qui ont été spécialement envisagés au cours de ce travail.

L'appareil est aussi très approprié à la reproduction des vibrations artificielles du sol produites par les machines industrielles ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ L. MINTROP. — *Ueber die Ausbreitung der von den Massendrucken einer Grogasmaschine erzeugten Bodenschwingungen*, Göttingen, 1911.

Ces vibrations dépendent des caractéristiques de la machine ; dans les moteurs à vapeur ou à explosion avec piston, tiges de poussée, bielle, volant, les forces d'inertie sont particulièrement importantes. Il est facile de les calculer et d'obtenir la forme mathématique du mouvement du sol résultant. On trouve une expression telle que

$$y = a \sin \varphi + b \sin (2\varphi + \delta)$$

L'appareil de synthèse permet de réaliser (fig. 18) la courbe correspondante pour les diverses valeurs de a b φ δ , et de comparer les résultats obtenus à ceux des séismographes industriels encore trop peu connus et trop peu utilisés. Cet exemple suffit à faire comprendre l'intérêt de telles études au point de vue de la physique appliquée.

Reçu en juin 1926.

Les Séismographes de la Station Séismologique de Cartuja (Granada)

Par le Père EMM. M^a S. NAVARRO-NEUMANN, S. J.

Les séismographes dont se sert exclusivement, depuis 1909, la station séismologique sous la direction de la Compagnie de Jésus, ont tous été construits dans ses ateliers, par suite de l'absence de fonds permettant de s'adresser à des constructeurs en renom. Après avoir établi plusieurs instruments, copies d'appareils existants, avec l'aide de forgerons, sans doute dévoués et habiles, mais non mécaniciens de précision, après de nombreuses modifications pour remédier aux défauts constatés, nous pûmes, grâce à des subsides dûs à la générosité du gouvernement espagnol, procéder à la construction de séismographes bien plus compliqués et précis que nos premiers appareils à inscription mécanique.

Nous ne décrirons dans ce qui suit que brièvement les séismographes de notre station, mais nous indiquerons les publications où ils ont été décrits avec plus de détails, nous ajouterons quelques photographies et même des reproductions de graphiques relatifs aux instruments d'un caractère original.

1^o PENDULE VERTICAL CARTUJA (1). — Il date de juillet 1909, a pour masse un chaudron rempli de ferraille

et de gravier du poids total de 280 kgs. Le fond porte une croix en barres de fer forgé au centre de laquelle se trouve fixé un tuyau également en fer terminé par une monture à la Cardan, formée de ressorts plats d'acier qui travaillent à la traction. Deux d'entre eux sont fixés à une poutrelle en T solidement cimentée dans un mur.

Vers le bas du même centre sort une solide aiguille en acier bien polie, cylindrique et qui sert à la transmission des mouvements de la masse au système multiplicateur-inscripteur. Celui-ci se compose de deux leviers du premier genre, l'un seulement multiplicateur, l'autre multiplicateur-inscripteur, qui se comportent un peu à la façon des leviers des barographes Richard. Ils portent tous deux des ressorts d'échappement de réveille-matin et le mouvement de l'un se transmet à l'autre par l'intermédiaire d'une aiguille à coudre dont les deux bouts ont été aiguisés à la meule et ont pris la forme de cônes de 45 degrés. Ces cônes appuient la pointe au fond de petites cavités à peu près paraboliques qui sont fixées l'une au bras long du levier seulement multiplicateur, l'autre au bras court du multiplicateur-inscripteur. De petits poids en laiton permettent d'obtenir l'équilibre entre les deux bras de chaque levier, qui sont très légers et dont l'inertie est minime, car les bras longs sont formés respectivement d'une mince latte de roseau espagnol et d'un fêtu de paille; de même l'aiguille inscriptrice est un tube très mince en verre filé, à bouts fermés, fixé avec de la gomme laque sur un axe également en verre et dont la partie la plus courte est à peu près équilibrée avec de la cire, de façon que la pression soit au plus d'un demi-milligramme.

Un électro-aimant de sonnette électrique est fixé sur la plateforme qui porte les axes des leviers. A chaque fermeture du courant par le chronographe de faibles secousses se produisent et sont traduites sur les graphiques par de petits points.

Le grossissement peut être porté à 600, mais déjà au

grossissement 300 on obtient un fonctionnement meilleur et soigné.

Ce pendule est très peu sensible aux microséismes si gênants dans les graphiques des séismographes de périodes voisines de 5 à 8 secondes. Sa sensibilité pour les ondes rapides aux environs de la période 2 secondes est remarquable.

C'est au R. P. Pierre-Marie Descotes, S. J., aujourd'hui chef du service horaire et séismologique de Bolivie, que revient la plus large part de la construction de la partie multiplicatrice-inscriptrice de ce séismographe.

2^o PENDULE BIFILAIRE CARTUJA (2). — Le premier de ces séismographes date de 1908 et fut inspiré surtout par l'instrument d'Ewing et aussi par celui de Mainka. Mais dans la suite de si nombreuses modifications y ont été apportées qu'aujourd'hui il constitue vraiment au sens propre du mot un séismographe espagnol.

Son point d'appui est une lamelle d'acier comme dans les Ewing ou les Mainka, mais c'est le seul dispositif copié sur ces appareils, car notre instrument présente beaucoup de détails originaux : au lieu de travailler à la traction comme le précédent il travaille à la compression ; sa monture au lieu de l'immobiliser dans une seule position lui permet d'avancer ou de reculer, de dévier à droite ou à gauche par l'intermédiaire de grosses vis et d'écrous. On a donc réalisé un mécanisme de centrage, et en même temps un procédé pour modifier la période pendulaire dans de très larges limites (entre 6 et 25 secondes dans le plus perfectionné, 10 secondes étant d'ailleurs la période la plus favorable). Ce montage constitue la vraie caractéristique d'un bifilaire Cartuja. La masse se compose de disques de fonte, convenablement unis par des barres cylindriques en fer et des écrous. Elle porte deux tenons où aboutissent les deux bras de la première suspension en fer forgé. Celle-ci, à son tour, est suspendue à une vis à écrous de section carrée, qui l'empêche de

tourner quand on l'utilise pour maintenir la masse à sa position d'équilibre au moment où on change la période pendulaire. La vis carrée est supportée par un fil d'acier (ou mieux par une lame de scie) à son tour solidement fixé, par son extrémité supérieure, à une poutrelle en fer encastrée dans un mur ou un pilier rigide.

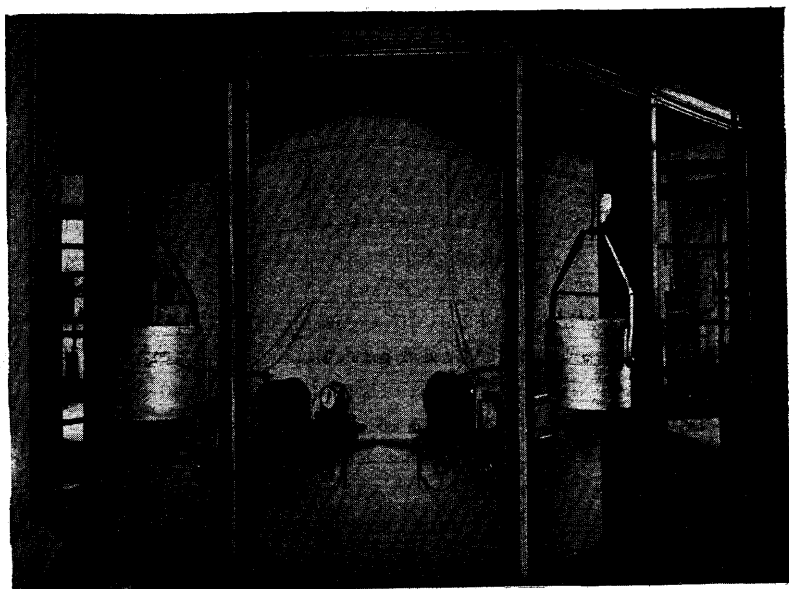


Fig 1. — Bifilaires Cartuja.

Nous avons essayé plusieurs procédés pour réaliser la connexion entre la masse et le levier multiplicateur-inscripteur. Nous avons eu le plus de satisfaction avec les petits ressorts de réveille-matin et l'aiguille à coudre dont nous avons parlé plus haut, et aussi avec le procédé décrit brièvement ci-dessous.

Un tube d'acier léger, mais très rigide, est fixé en avant de la masse et un peu plus haut que le centre de gravité de celle-ci. Il se termine par une pièce plate en laiton qui porte de petites cavités à peu près paraboliques et de

petits trous. Le bras court du levier multiplicateur-inscripteur est monté parallèlement à cette pièce grâce à son support dont la pièce terminale est fixée au mur ; il porte un dispositif semblable. Une aiguille en acier dont les deux extrémités sont aiguisées en cônes transmet le mouvement, et la liaison est parfaite par un brin de caoutchouc (qu'il est bon de renouveler tous les trois ou quatre mois) très légèrement tendu à l'aide de deux petits clous en aluminium, qui en fixent les extrémités aux deux pièces de laiton précédemment décrites.

L'amortisseur est formé par une lame métallique en U renversé fixée solidement au tube d'acier de la masse, et qui pénètre plus ou moins dans un récipient contenant de la glycérine mélangée d'une petite quantité d'eau, et recouverte d'une mince couche de vaseline liquide pour éviter l'hydratation ultérieure.

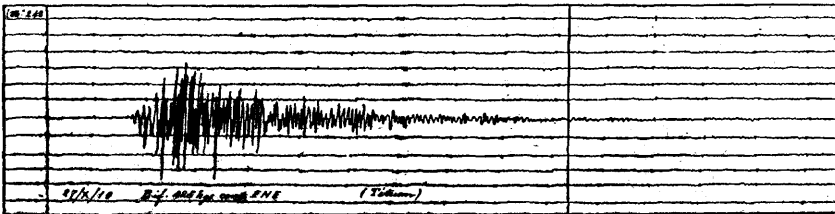


Fig. 2. — $\Delta = 250$ km.

Le meilleur instrument de ce type que nous ayons construit avait la masse de 425 kilogrammes ; un grossissement de 85 à 105 avec une période de 10 secondes et un rapport d'amortissement $\gamma : 1$ compris entre 4 et 5.

Si les leviers et les lames sont convenablement dimensionnés et équilibrés, cet appareil est comparable à la plupart des Wiechert de 1000 à 1200 kgs, celui de Hambourg excepté. (Fig. 2. Séisme du 27 décembre 1910).

3° BERCHMANS (WIECHERT RENVERSÉ, NOTABLEMENT MODIFIÉ) (3). — Sa masse est un récipient cubique en tôle, d'un

mètre de côté, rempli avec des pierres, du gravier et de la ferraille, dont le poids, monture comprise, atteint 3 tonnes environ. Elle se trouve en équilibre instable sur une monture à la Cardan qui s'appuie sur des ressorts plats, très distants les uns des autres afin d'atténuer le défaut d'indépendance entre les deux composantes et les nutations

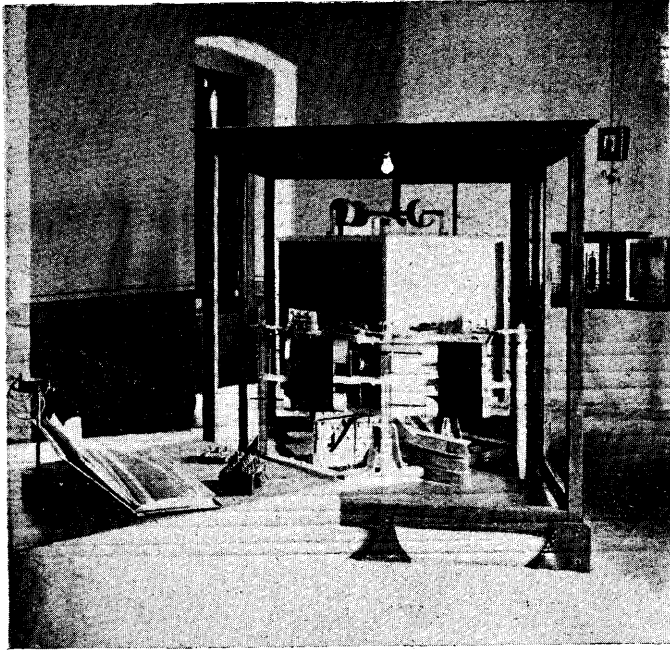


Fig. 3. — Berchmans.

de la masse. A l'intérieur la masse porte deux barres cylindriques croisées dont les extrémités en sortent. Deux longues vis également croisées et placées à la partie supérieure sur le couvercle portent 4 masses cylindriques en plomb de 14 kilogrammes chacune, dont le rôle est de parfaire l'équilibre de cette masse de contenu si hétérogène.

Des deux extrémités des barres qui traversent la masse

sortent deux tiges d'acier suffisamment flexibles, correspondant chacune à une composante. L'autre extrémité aboutit à l'amortisseur correspondant et aux ressorts astatiseurs fixés à une balustrade en fer forgé, portée par des colonnes en fer solidement fixées dans un pilier de ciment auquel la masse s'appuie. Ces ressorts astatiseurs sont directement en relation avec le levier multiplicateur qui lui-même est relié à l'inscripteur, le bras

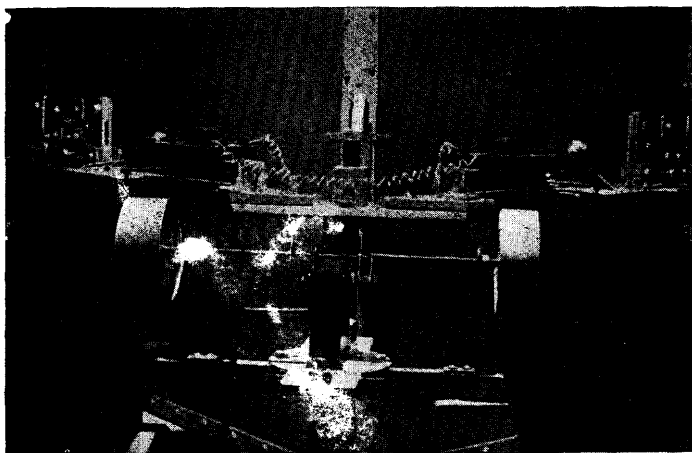


Fig. 4 - d.

court de ce dernier forme un angle de 135° avec le long, ce qui permet d'inscrire facilement les graphiques des deux composantes sur les bandes entraînées par le même mouvement d'horlogerie. (Construction J. et A. Bosch, Strasbourg).

Les connexions et autres détails du système amplificateur-inscripteur et du chronographe sont les mêmes que dans les autres séismographes. La période est d'environ 5,5 secondes et le grossissement initial 600. Le rapport d'amortissement ordinaire est de 4 à 5.

Cet instrument a fourni des graphiques intéressants ; il est surtout bien approprié aux séismes faibles d'épi-

centre voisin. Dans les mégaséismes il remplit bien son rôle pour les ondes qui ne sont pas trop rapides.

On connaît l'influence néfaste dans les tracés des déviations de la verticale dues aux changements de température du local, qui produisent des rapprochements ou des séparations, des chevauchements des graphiques. Avec une période de 20 secondes et un agrandissement de 1000 (⁴) la longueur équivalente de l'indicateur est de 100 kilomètres ; donc à chaque seconde d'arc correspondent environ 500 millimètres et, pour des lignes équidistantes de 5 millimètres, une déviation de la verticale de 0,01" suffirait pour doubler cette séparation ou faire empiéter une ligne du tracé sur l'autre ; même en l'absence de toute variation de température la seule attraction lunaire de l'ordre de 0,017" pourrait produire des effets néfastes. Des variations bien faibles dans la température ambiante se traduisent par des déviations de l'ordre du millimètre, avec des pendules de longueurs bien plus petites. C'est pourquoi nous avons employé dans le Berchmans des bandes en courroie sans fin malgré leurs graves défauts, parce qu'elles permettent d'orienter les cylindres tenseurs de façon à accentuer plus ou moins la séparation des lignes du tracé. Le matin, quand on change les bandes, on les oriente en prévision d'une élévation plus ou moins grande de température qui fera pencher la masse d'un côté ; le soir on les oriente en sens contraire, dans l'hypothèse presque certaine d'un abaissement de température.

4^o JAVIER (PENDULE HORIZONTAL A ENREGISTREMENT MAGNÉTOPHOTOGRAPHIQUE) (⁵). — C'est un instrument genre Galitzine avec monture Hengler. Nous avons adopté une masse assez notable afin de mieux dominer le frottement des liaisons et l'inertie du miroir. La forme de la masse des instruments habituels ne nous satisfaisant pas, nous avons choisi la forme en « haltère » des appareils Milne et Milne-Shaw, réalisant un moment bien supérieur.

Pour remédier dans la mesure du possible au manque de sensibilité du galvanomètre et de puissance des aimants permanents en fer à cheval, les bobines induites furent placées à une distance considérable de la masse, afin d'augmenter l'intensité du courant pour la même amplitude

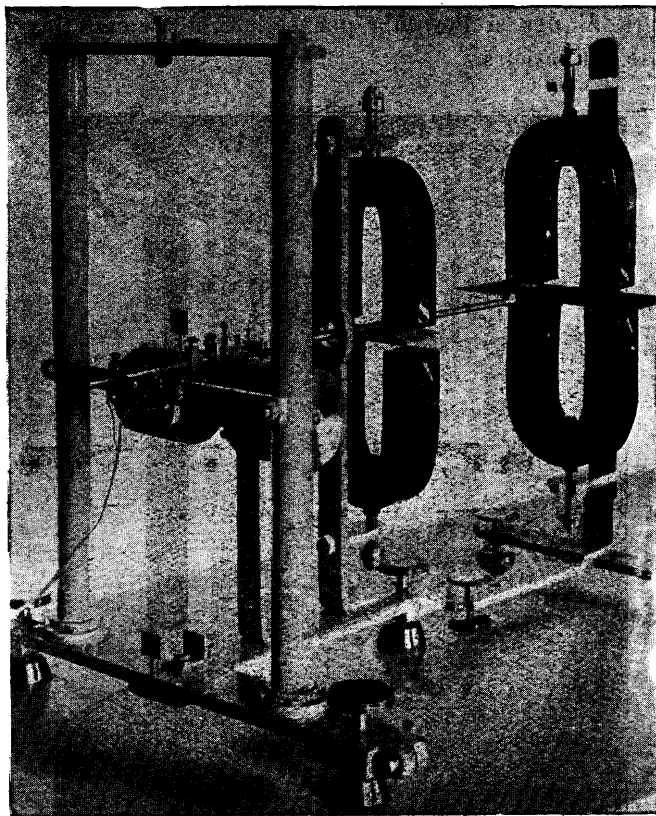


Fig. 5. — Javier

de l'agitation séismique. Les aimants inducteurs et amortisseurs sont d'ailleurs montés sur des supports séparés comme l'a recommandé M. Somville (fig. 5).

Les résultats obtenus ont prouvé que nos craintes étaient excessives, car l'acier espagnol pour ressorts de

suspension de voitures de la Basconia (Bilbao) s'est montré excellent ; le galvanomètre lui-même muni d'un ruban d'argent doré très mince et d'un petit miroir a atteint une sensibilité suffisante, environ 350 millimètres par microampère. Aussi le Javier a-t-il un très fort grandissement, trop fort peut-être, car il fait perdre beaucoup de graphiques si l'on n'a pas séparé nettement les aimants inducteurs.

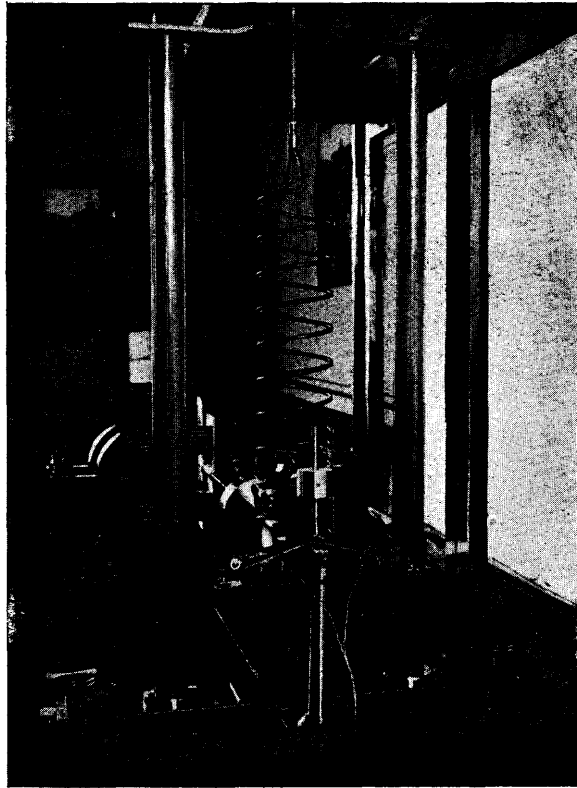


Fig. 6. — Composante verticale Belarmino.

5° COMPOSANTE VERTICALE BELARMINO ⁽⁶⁾. — C'est un instrument du type Galitzine qui fut terminé tout juste

Additif au Fascicule 2

Par suite d'un accident dont nous nous excusons, une partie de l'introduction de l'article qu'avait bien voulu nous donner M.E.A. Hodgson, séismologiste au Dominion Observatory d'Ottawa, sur l'organisation du service séismologique au Canada, a sauté à l'impression. Quoique nos lecteurs aient certainement compris sans peine cet article, parfaitement clair malgré l'absence de la première page, nous tenons à reproduire celle-ci dans son intégralité.

INTRODUCTION

The submitted system for recording seismologic data was developed at the Dominion Observatory, Ottawa, having the following objects in view.

1. All data for an earthquake are entered completely for Ottawa and summarized for the other stations, on one card. A complete index is maintained on that card of all the data on hand. Those most likely to be of use are entered in full.
2. Avoidance of transcription of data with one or two minor exceptions.
3. General characteristics of all the earthquakes for a year are available at a glance, without extra work.
4. A card system — permitting a division of the work.
5. No « dead » data. All entries are brought to the attention of the seismologists.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) *El nuevo péndulo vertical de la Estación Sismológica de Cartuja (Granada)*, Boletín de la R. Soc. Esp. de H. Nal., Obre 1909, 387-394.
— *Le nouveau pendule vertical de la St. Sismol. de Cartuja (Grenade)*, Bull. de la Soc. Belge d'Astr. 9-10 (1909), 387-405, avec 3 figures.
- 2) *Le nouveau pendule horizontal de Cartuja (Grenade)*, Boll. della Soc. Sismol. Ital., XIII, 1909.
- 3) *Nuevo sismógrafo*, Ibérica No. 416 (25 Feb. 1922), 114 y 115, con 2 fig.
- 4) *Note sur la Station Sismologique de Cartuja (Granada)*, Comptes rend. des S. de... l'Ass. Inter. de Sismologie, La Haye, 1907, 154.
- 5) *El sismógrafo Javier de la Estación Sismológica de Cartuja*, Ibérica, No. 533 (21 Junio 1924), pág. 5, fig. 5.
- 6) *La componente vertical Belarmino*, Ibérica No. 572 (4 Abril 1925), p. 8, fig. 5.

Reçu en septembre 1926.

l'ordre de 370 ; il atteint le grandissement 700 pour la période 9. Habituellement le coefficient μ d'amortissement est + 0, 15 pour le pendule et le galvanomètre. Il est très approprié à l'étude des tremblements de terre éloignés et, complété par le Javier qui, lui, est excessivement sensible aux agitations artificielles, il enregistre aussi des tremblements assez voisins (fig. 6).

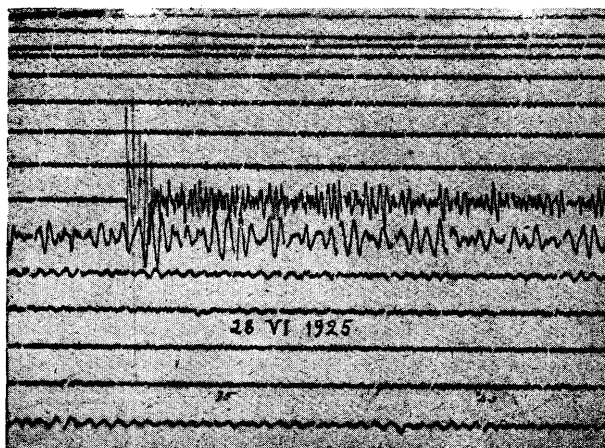


Fig. 9. — Id. P du tremblement de terre de Montana (E. U.).
 $\Delta = 8380$.

Pour des raisons d'économie la progression du papier sensible est réduite à 1 centimètre à la minute et la séparation des lignes est de 5 millimètres. Nous songeons à compléter le plus tôt possible notre groupe magnétophotographique par l'addition d'une autre composante horizontale et à nous procurer des mouvements d'horlogerie supérieurs aux «braves» réveille-matin qui pour leur prix de revient nous ont jusqu'ici rendu les meilleurs services mais dont nous reconnaissons volontiers les défauts (fig. 7).

*
*
*

pour la visite que firent à Grenade plusieurs membres du Congrès International de Géodésie et de Géophysique de Madrid le 12 octobre 1924. Le galvanomètre et

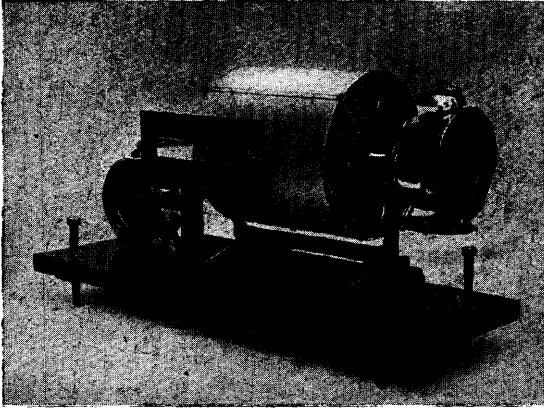


Fig. 7. — Récepteur de la composante verticale Belarmino.

le système récepteur sont plus récents. La masse est de 3,5 kgs, et tout le reste de l'équipage mobile de l'instru-

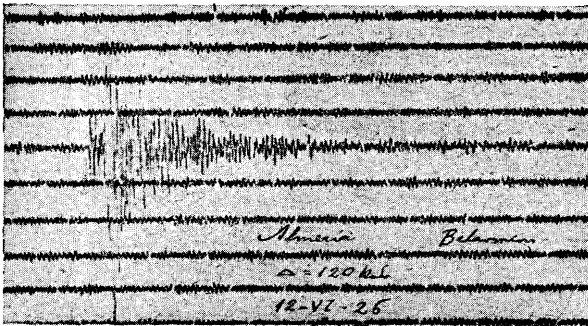


Fig. 8. — Graphique du Belarmino.

ment pèse 1,5 kg. C'est l'instrument que nous considérons comme le plus utile actuellement à la station. Sa période est de 12 secondes, son grandissement est de

6. Routine work kept always up to date, including the location of epicentres. Everything known of any earthquake and all work done on the records are to be brought up to date each day.

7. The programme for the routine is reduced to writing, ensuring continuity and uniformity. It is arranged that all the work is checked in a definite way. All computations are preserved.

8. Standard office equipment is used throughout. The « step-punching and step-filing » was originated for this work but requires no elaborate equipment.

9. The system is flexible. The form on the cards may be re-designed each year as the need arises.

The seismologic records at Ottawa are obtained from five seismographs. A pair of Bosch. 200 gram., horizontal pendulums, with photographic registration (I and II), a pair of standard Milne-Shaw horizontal seismographs (23 and 17) and a Wiechert vertical seismograph with mechanical registration are the instruments used to obtain them. The seismologic records are supplemented by those obtained from auxiliary instruments. Bulletins received from other stations are also digested into the recorded data.

Chronique de la Section de Séismologie de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale

*depuis la publication du Fascicule n° 2 de Travaux Scientifiques
(Septembre 1926)*

1. Comités nationaux

AUSTRALIE

Secrétaire : Dr E. F. J. LOVE, The University, Melbourne.

EGYPTE

M. B.-H. WADE, délégué à la section, a quitté l'Egypte pour Genève.

Une commission nationale a été formée, qui s'occupera de toutes les affaires relatives à l'Union, et dont la composition est la suivante :

Président : Dr H. E. HURST, Physical Department, Le Caire.

Vice-Président : Dr JOHN BALE, Survey of Egypt, Giza.

Secrétaire : M. F.S. RICHARDS, Survey of Egypt, Giza.

Une lettre de M. Richards, secrétaire de la Commission, nous prie d'envoyer toutes les communications à l'adresse de M. l'Arpenteur Général de l'Egypte (Survey of Egypt), Giza.

ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Secrétaire : Dr J.A. FLEMING, Department of Terrestrial Magnetism,
36th Street and Broad Branch Road, Washington, D.C..

FINLANDE

Secrétaire : M. le Prof. Dr G. KOMPPA, Académie des Sciences, Helsingfors.

JAPON

M. le Dr A. Tanakadate ayant été nommé vice-président du Comité National des Recherches, M. le Dr Nakamura a été élu président de la Section de Géophysique.

Le bureau du Comité National de Géodésie et Géophysique se trouve à présent constitué comme suit :

Président : M. le Dr K. NAKAMURA.

Vice-président : M. le Professeur A. IMAMURA.

Secrétaire : M. le Professeur S. KIKUSAWA, Department of Education, Tokyo.

Le Comité de Séismologie comprend les membres suivants :

M. le Professeur S. FUJIWARA ; M. le Professeur A. IMAMURA ; M. le Dr H. KIMURA ; M. le Professeur S. KOZU ; M. le Professeur M. MATSUYAMA ; M. le Professeur H. NAGOAKA ; M. le Dr K. NAKAMURA ; M. le Prof. S. NAKAMURA ; M. le Dr W. OISHI ; M. le Dr T. OKADA ; M. le Major-Général H. OMURA ; M. le Dr S. ONO ; M. le Professeur R. OTANI ; M. le Professeur T. SHIDA ; M. le Professeur A. TANAKADATE ; M. le Contre-Amiral H. UEMURA ; M. le Professeur N. YAMASAKI.

MAROC

M. le Dr LIOUVILLE, Institut Scientifique Chérifien, Rabat.

MEXIQUE

M. P.C. SANCHEZ, Direccion de Estudios Geograficos y Climatologicos, Tacubaya, D.F.

NORVÈGE

Président : M. le Professeur F. SCHROETER.

Secrétaire : M. le Dr K.S. KLINGENBERG, Norske Gradmaalings Kommission, Norges Geografiske Opmaalings, Oslo.

Une lettre de M. Hesselberg nous apprend que des démarches ont été entreprises afin de faire adhérer à l'Union

les sections de géophysique, qui n'en font pas encore partie. La géodésie a déjà adhéré.

PAYS-BAS

Président : M. le D^r J.J.A. MULLER.

Secrétaire : M. le D^r HEUVELINK, Kanaalweg 5, Delft.

PÉROU

M. le L^t Colonel José A. VALLEJO, Directeur du Service géographique de l'Armée, Ecole Militaire, Chorrillos.

POLOGNE

Le Comité National de Géodésie et Géophysique n'est pas complètement constitué, la section de séismologie n'étant pas encore organisée. Il comprend les membres suivants :

M. le Professeur BANACHIEWICZ, Cracovie.

M. le Professeur DZIEWULSKI, Wilno.

M. le Professeur GORCZYNSKI, Varsovie.

M. le Professeur KAMIENSKI, Varsovie.

M. le Sénateur KALINOWSKI, Varsovie.

Secrétaire : M. le Professeur WROBLEWSKI, Secrétaire Général de l'Académie Polonaise des Sciences, Cracovie.

M. le Professeur Wroblewski nous a priés d'adresser à l'Académie Polonaise des Sciences toutes les publications destinées à la Pologne.

ROYAUME DES SERBES, CROATES ET SLOVÈNES

Le Comité National de Géodésie et Géophysique comprend les membres suivants :

M. le Général S. BOSKOVIC, Président.

M. M. MARAKOVIC, docteur ès-sciences, Directeur de l'Institut Météorologique de Sarajevo, Vice-Président.

M. le Professeur J. MIHAJLOVIC, Directeur de l'Institut Séismologique de Beograd, Secrétaire.

M. le Professeur P. VUJEVIC, docteur ès-sciences, Directeur de l'Observatoire Météorologique de Beograd.

M. le Professeur S. SKREB, docteur ès-sciences, Directeur de l'Institut Géophysique de Zagreb.

Section de Géodésie : Institut Géographique Militaire du Ministère de la Guerre et de la Marine, Beograd (général S. BOSKOVIC).

Section de Séismologie : Institut Séismologique de l'Université de Beograd (Professeur J. MIHAILOVIC).

Section de Météorologie : Observatoire Météorologique de Beograd (Dr P. VUJEVIC).

Section d'Océanographie : Institut Géographique de l'Université de Ljubljana (anciennement Laibach), provisoirement vacante.

Section de Vulcanologie : Institut Géologique de l'Université de Beograd (Professeur J. ZUJOVIC).

Section de Magnétisme et d'Electricité Terrestres : Institut Géophysique de Zagreb (Dr S. SKREB).

2. Communications diverses

CANADA

La « Seismological Society of America » a décidé de créer une section spéciale qui comprendra la partie orientale des Etats-Unis d'Amérique et du Canada. Nous reproduisons ci-dessous la circulaire qui nous a été adressée par M. E. A. Hodgson, président de la section de séismologie du Comité National du Canada, et vice-président temporaire de la section nouvellement créée.

Cette section publie un bulletin bibliographique trimestriel.

EASTERN SECTION

SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA

Dr JAMES B. MACELWANE, Saint-Louis University,
Saint-Louis, Mo., Temporary Chairman.

ERNEST A. HODGSON, Dominion Observatory,
Ottawa, Canada, Temporary Vice-Chairman.

Comdr. N.H. HECK, U.S. Coast and Geodetic Survey,
Washington, Temporary Secretary-Treasurer.

*
* *

Ottawa, Canada
April 19, 1926.

To Those Interested
in Seismological Research
or in its Practical Results.

At a meeting held in Saint-Louis on January 2, 1926, steps were taken to form an Eastern Section of the Seismological Society of America. The efforts of this Society on the Pacific coast have been highly successful in fostering research in pure and applied seismology and have brought together a great deal of information for the benefit of these branches of engineering and business most concerned.

It is felt that a service of the same nature can be rendered in the eastern part of the United States and Canada by the new section of the Society, whose activities will be confined to the problems of this area.

The following items are noted for the information of those persons and companies who may be interested in taking out membership in the Eastern Section :

(a) Membership is, for the present, to be of two classes. full and associate.

(b) The fees are to be : for full members, the usual three dollar (\$ 3) membership in the parent, Society, together with an additionnal one dollar (\$ 1) for the support of the Eastern Section ; for associate members, the latter (\$ 1) dues only.

(c) Full membership secures the benefits of the parent Society. A quarterly publication, The Bulletin of the Seismological Society of America, is distributed to full members. This journal contains articles on pure and applied seismology and is recognized as the leading publication of its kind in this country. The Bulletin is *not* sent to associate members.

(d) The reports of the work done by the Eastern Section will be sent to both classes of members. These re-

ports will include notices of meetings, abstracts of papers presented at the meetings, and a quarterly bibliographical list of papers published, dealing with seismology as a science, pure and applied. For your information a copy of the first issue of this bulletin is herewith inclosed.

Further information regarding this organization may be obtained by communicating with any of the officers listed above.

Sincerely yours,

Ernest A. HODGSON.

Temporary Vice-Chairman.

Dominion Observatory. Ottawa, Canada

CHILI

M. C. Bobillier, directeur du Service Séismologique du Chili, nous a priés de lui envoyer directement toutes nos publications à l'adresse ci-dessous, :

Servicio Sismológico de Chile.

SANTIAGO

Escuela de Ingenieria

Casilla 2777.

ESPAGNE

Nous avons eu la douleur d'apprendre la mort de M. Luis Cubillo y Muro, Directeur de l'Institut Géographique d'Espagne, Président des Comités Nationaux Espagnols de Géodésie-Géophysique et d'Astronomie.

Tous nos collègues se souviennent de l'extrême affabilité avec laquelle il avait reçu à Madrid les congressistes, et conservent un souvenir inoubliable autant de sa valeur scientifique et des services rendus à l'Union que du charme de sa personne.

ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE

La Station Séismologique de Berkeley (Station de l'Université de Californie), dirigée précédemment par le R. P.

Macelwane, S. J., l'est maintenant par le Dr Perry Byerly Jr., auparavant instructeur en physique à l'Université de Nevada et ancien élève du R. P. Macelwane.

Le R. P. Macelwane a été nommé professeur de géophysique à l'Université de Saint-Louis, et directeur de la station séismologique de cette Université.

Le R. P. Macelwane nous annonce que les diverses stations séismologiques faisant partie des institutions des RR. PP. Jésuites aux Etats-Unis se sont réunies pour former la « Jesuit Seismological Association », dans le but d'établir une station centrale et de faire coopérer leurs efforts. Nous reproduisons ci-dessous sa lettre.

CENTRAL STATION
of the
JESUIT SEISMOLOGICAL ASSOCIATION

221, North Grand Boulevard.
Saint-Louis, Missouri.

Oct. 28, 1925.

Dear Sir,

You will be interested to know that the directors of the various seismological stations in the Jesuit Institutions of this country have united to form a « Jesuit Seismological Association » for the purpose of establishing a Central Station and for cooperative effort.

The single stations will continue their work as heretofore. But after each earthquake they will send the essential data to the Central Station where all will be tabulated, such other data as may come to hand will be added and a preliminary report sent out at once.

The final reports of each station can then be much better prepared and will be published by them in due course in the usual channels.

There are at present, besides the Central Station, ten seismographic stations in operation, one at each of the following institutions :

Canisius College, Buffalo, New-York.
John Carroll University, Cleveland, Ohio.
Regis College, Denver, Colorado.
Fordham University, Fordham, New-York.
Georgetown University, Washington, D. C.
Spring Hill College, Mobile, Alabama.
Loyola University, New Orleans, Louisiana.
University of Santa Clara, Santa Clara, Calif.
Gonzaga University, Spokane, Washington.
Saint-Louis University, Saint-Louis, Missouri.

It is expected that several other stations will be added in the near future.

In case copies of your publications are not being sent direct to all of those stations at present, may we ask that you send a sufficient number of copies (eleven) to our Central Station ? The Central Station will then distribute them to the individual stations on the list.

The undersigned has been elected Secretary of the « Jesuit Seismological Association » and Director of its Central Station. He previously had been appointed Professor of Geophysics and Director of a Department of Geophysics in the Saint-Louis University. This new department has taken over the Meteorological and Seismological Observatories. The latter is to be expanded into a first class station immediately. Several graduate students are already registered in the department and courses are being given this semester. Besides the study of distant earthquakes the department has planned a comprehensive survey of the slight local shocks occurring in the area about the Ozark Mountains.

As soon as the two organizations are perfected, it is planned to send out the two Bulletins together to all those stations of the world who send their Bulletins or make their reports otherwise accessible.

Yours respectfully,

James B. MACELWANE S. J.

Nous publions dès maintenant ci-dessous les proposition de M. J.-B. Macelwane, directeur de la Station Séismologique de l'Université de Saint-Louis, qui pourraient éventuellement être l'objet d'une discussion à la prochaine conférence de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale.

Le Secrétaire.

PROPOSED ADDITIONS TO THE INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL NOTATION

I. Reflections at the surface of the earth without change of type.

- a) For ordinary reports keep PR_1 , PR_2 , ... SR_1 , SR_2 , ... etc.
- b) For special studies use either the above or repeat the type letter once for each leg of the path, as is done in many publications at present, thus . PP , PPP ,... SS , SSS , etc.

II. Reflections at the surface of the earth with change of type :

To the single present symbol « PS » add the following . SP , SPS , PSP , PPS , SPP , SSP , PSS , $SPSP$, $PSPS$, $PSSP$, $SPPS$, etc., in whatever combinations may be required to denote the « path history » so to speak of groups which may be identified as such on the seismograms.

III. Reflection and refraction on interior surfaces :

- a) To distinguish refraction from reflection draw a bar over the two type letters in the case of refraction.
- b) To distinguish interior surfaces from the outer surface use a subscript between the two type letters in the case of interior surfaces.
- c) There are at present only two discontinuities

which come into consideration (1) The lower boundary of the surface shell of the continents which Gutenberg suggests we might well call « suprema » (Sial, Sima) and use the subscript «s», and (2) the outer boundary of the core or nucleus or heart of the earth which we may call «cor» and use the symbol «c» as subscript. Then we would have such groups as $\bar{S}_s \bar{P}_s \bar{S}_s$, in the upper layer, also $P_s P$. In the core e. g. $\bar{S}_c \bar{P}_c \bar{S}_c$, $\bar{P}_c \bar{P}_c \bar{S}_c$, $\bar{S}_c \bar{P}_c \bar{P}_c \bar{S}_c$. On the same basis we ought logically to call the direct longitudinal and transverse waves through the core $\bar{P}_c \bar{P}_c \bar{P}_c$, $\bar{S}_c \bar{S}_c \bar{S}_c$. But these waves have already been called P' and S' , and it is better to keep these shorter and perfectly clear names.

IV. Call eM or iM the beginning of the group of shorter and more regular waves in « principal part » which usually carry the maximum amplitudes (undæ maximæ) and follow eL or iL (undæ lungæ) by an interval which is a function of the distance from the epicenter. The single maxima would be called M_1 , M_2 , etc., as before, but only when they occur within this group. Otherwise they would be designated L_1 , L_2 , etc., according to the group in which they occur.

V. We frequently need to distinguish between those waves in each of the last two groups of surface waves which have a vertical component and those which have not, those waves which approximate to the true Rayleigh type and those which are strictly transverse like those of the Love and Uller type. These last might be called « Undæ quartæ » so that we would use the symbol Q to designate a wave in the surface groups which has no vertical component. Similarly we might use the symbol R to designate a wave of the Rayleigh type. Thus we would

have Q_{1E} , Q_{1N} , but never Q_{1Z} . On the other hand, we would always have R_{1Z} if we have R_1 at all.

VI. We need to distinguish successive waves in the « returns » or the surface waves which have gone around the earth. It has been suggested that we use the ordinary method of subscript numbers. This is excellent but in this case we shall have to write e.g. Roman numerals to designate the order of return. Instead of W_2 and W_3 , we would write W_{II} and W_{III} and W_{IV} . Thus we would have $W_{II\ 1N}$. Another way would be to write W_{2N1} . Which is the better ?

VII. For waves which remain entirely in the upper shell of granitic rocks without touching the discontinuity at about sixty kilometers depth, we ought to adopt A. Mohorovicic's symbol $\bar{P}$ and $\bar{S}$.

VIII. For special studies at least, we shall probably need also the symbols introduced by the Mohorovicic's to distinguish the « undæ primæ normales » P_n and « undæ secundæ normales » S_n from individual P 's (P_1 , P_2 , etc.) and individual S 's (S_1 , S_2 , etc.), whose meaning is not yet known but for which travel time curves have been determined.

All the symbols here suggested, if the writer is not mistaken, have been used in some publication or in correspondence and are merely collected for the purpose of agreement on a proposal for universal adoption as a necessary addition to our international notation.

ADDITIONS PROPOSÉES A LA NOTATION SÉISMOLOGIQUE INTERNATIONALE

I. Réflexions à la surface de la terre sans changement de type :

- a) Pour les bulletins ordinaires maintenir PR_1 , PR_2 , ... SR_1 , SR_2 , etc.
- b) Pour les études spéciales ou employer ce qui précède, ou répéter la lettre désignant le type d'onde une fois pour chaque fraction du trajet, ainsi qu'il est fait dès à présent dans de nombreuses publications, soit : PP , PPP , ... SS , SSS , etc.

II. Réflexions à la surface de la terre avec changement de type :

A l'actuel symbole unique « PS » ajouter les suivants : SP , SPS , PSP , PPS , SPP , SSP , PSS , $SPSP$, $PSPS$, $PSSP$, $SPPS$, etc., en formant toutes les combinaisons qui peuvent être nécessaires pour montrer « l'histoire du trajet », si l'on peut ainsi dire, des groupes qui peuvent être identifiés comme tels sur les séismogrammes.

III. Réflexion et réfraction sur les surfaces intérieures :

- a) Pour distinguer la réfraction de la réflexion, mettre, dans le cas de réfraction, une barre au-dessus des deux lettres.
- b) Pour distinguer les surfaces intérieures de la surface extérieure, intercaler, dans le cas de surfaces intérieures, un caractère en indice entre les deux lettres.
- c) Il n'y a actuellement que deux discontinuités qui entrent en considération : 1) pour la limite inférieure de l'écorce supérieure des continents — écorce que Gutenberg propose d'appeler « Suprema » ($\underline{Sial}$, $\underline{Sima}$) — on emploierait l'indice « s » ; 2) pour la limite extérieure du cœur ou noyau de la terre — que nous pourrions appeler « cor » —, on emploierait le symbole « c » comme indice. Nous aurions alors dans la couche supérieure, des groupes tels que $\bar{S}_s\bar{P}_s\bar{S}$, ou P_sP ; dans le noyau, $\bar{S}_c\bar{P}_c\bar{S}$, $\bar{P}_c\bar{P}_c\bar{S}$, $\bar{S}_c\bar{P}_c\bar{P}_c\bar{S}$, par exemple.

Pour rester dans ces conventions, nous devrions désigner par $\overline{P_c P_c P}$, $\overline{S_c S_c S}$, les ondes directes longitudinales et transversales pénétrant dans le noyau. Mais on a déjà donné à ces ondes les symboles P' et S' , plus courts et parfaitement clairs, qu'il vaut mieux conserver ⁽¹⁾.

IV. Désigner par eM ou iM le commencement du groupe d'ondes plus courtes et plus régulières ou « partie principale » qui comprend habituellement les plus grandes amplitudes (*undæ maximæ*) et suit eL ou iL (*undæ lungæ*) à un intervalle qui est fonction de la distance de l'épicentre. Les différents maximums seraient appelés comme auparavant M_1 , M_2 , etc., lorsqu'ils se présentent dans ce groupe ; dans les autres cas ils seraient désignés par L_1 , L_2 , etc., suivant le groupe dans lequel ils se trouvent.

V. Il serait souvent utile de distinguer, parmi les ondes superficielles, celles qui ont une composante verticale et celles qui n'en ont pas, — autrement dit, les ondes qui se rapprochent du type de Rayleigh et celles qui sont rigoureusement transversales, comme celles du type de Love et de Uller. Ces dernières pourraient être appelées « *undæ quartæ* », de sorte que nous emploierions le symbole Q pour désigner une onde des groupes superficiels qui n'a pas de composante verticale. De même, nous pourrions employer le symbole R pour désigner une onde du type Rayleigh. Nous aurions ainsi Q_{1E} , Q_{1N} , mais nous ne pourrions jamais avoir Q_{1Z} . D'un autre côté, nous aurions R_{1Z} toutes les fois que nous aurions R_1 .

VI. Nous avons à distinguer des ondes successives dans les « retours » ou ondes superficielles qui ont fait le tour

⁽¹⁾ Il y a là une confusion avec les notations déjà en usage d'après les idées de Mohorovicic. Il y aurait lieu de discuter ces divers points.

de la terre. Il a été proposé d'employer la méthode ordinaire des nombres mis en indice. Ceci est excellent, mais dans ce cas nous devons employer, par exemple, des chiffres romains pour désigner l'ordre de retour. Au lieu de W_2 et W_3 , nous écririons W_{II} , W_{III} , et W_{IV} . Nous aurions ainsi W_{1N} . On pourrait aussi écrire W_{2NI} . Laquelle des deux manières est la meilleure ?

VII. Pour les ondes qui restent entièrement dans l'écorce supérieure de roches granitiques sans atteindre la discontinuité à soixante kilomètres de profondeur à peu près, nous devrions adopter les symboles de A. Mohorovicic, à savoir $\bar{P}$ et $\bar{S}$.

VIII. Nous aurons probablement besoin aussi, pour les études spéciales tout au moins, des symboles introduits par A. Mohorovicic pour distinguer les « undæ primæ normales » P_n et les « undæ secundæ normales » S_n des différentes phases P (P_1 , P_2 , etc.) et S (S_1 , S_2 , etc.), dont la signification n'est pas encore connue mais pour lesquelles des courbes de durées de propagation ont été tracées.

Tous les symboles proposés ici ont déjà été employés, si l'auteur ne se trompe, soit dans des publications soit dans la correspondance. On les a rassemblés dans l'unique but d'amener une entente générale sur ce sujet, afin que puissent être adoptées d'un commun accord les additions nécessaires à notre notation internationale.

FRANCE

Sont actuellement en fonctionnement les stations de :
Phu-liên près Haï-phong, Tonkin.

Latitude $20^{\circ}48'22''$ N; longitude $106^{\circ}37'31''$ E.

Sous-sol : quartzites.

La station est dirigée par M. le lieutenant de vaisseau BRUZON.

Dakar, Sénégal.

Latitude $14^{\circ}39'48''$ N ; longitude $17^{\circ}26'08''$ W.

Altitude 30 mètres.

Sous-sol : grès ferrugineux.

La station est dirigée par M. H. HUBERT, administrateur en chef des colonies, assisté de M. L. WELTER, licencié ès-sciences, ancien préparateur au laboratoire de géophysique de l'École des Hautes-Etudes (Institut de Physique du Globe de Strasbourg).

La Martinique, Antilles.

Latitude $14^{\circ}36'07''$ N. ; longitude $61^{\circ}04'30''$ W.

Altitude 6 mètres.

La station est dirigée par M. SIMON, professeur au lycée.

Une station est en cours d'installation à Madagascar.

*
* *

L'Observatoire de Ksara (Grand-Liban), dirigé précédemment par le R. P. BERLOTY, S. J., l'est maintenant par le R. P. Ch. COMBIER, Chevalier de la Légion d'Honneur.

Le R. P. BERLOTY reste attaché à l'Observatoire.

*
* *

Nous avons le regret d'annoncer à nos collègues la perte douloureuse que nous venons de faire dans la personne de M. le Professeur Gentil, membre de l'Institut, professeur à la Sorbonne ; et de M. W. Kilian, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Une notice nécrologique sera publiée dans le rapport de la section à la prochaine conférence.

GRANDE-BRETAGNE

Nous avons le regret d'annoncer à nos collègues la mort du R. P. A. L. Cortie, S. J., Directeur de l'Observatoire de Stonyhurst. L'Observatoire est dirigé actuellement par le R. P. E. D. O'Connor.

SUÈDE

M. Filip Akerblom, Directeur de l'Institut Météorologique de l'Université d'Upsala, nous a envoyé la liste, que nous reproduisons ci-dessous, des institutions auxquelles sont distribués les huit exemplaires des publications du Bureau Central que reçoit la Suède.

Comité National de Géodésie et de Géophysique,
Stokholm.

Sveriges Geologiska Undersökning, Stokholm.

Bibliothèque de l'Académie des Sciences, Stokholm.

Observatoire Météorologique d'Upsala.

Bibliothèque de l'Université d'Upsala.

Station Séismologique d'Abisko.

Bibliothèque de l'Université Lund.

Observatoire Astronomique à Lund.

H. GUTTENSTEIN, secrétaire.

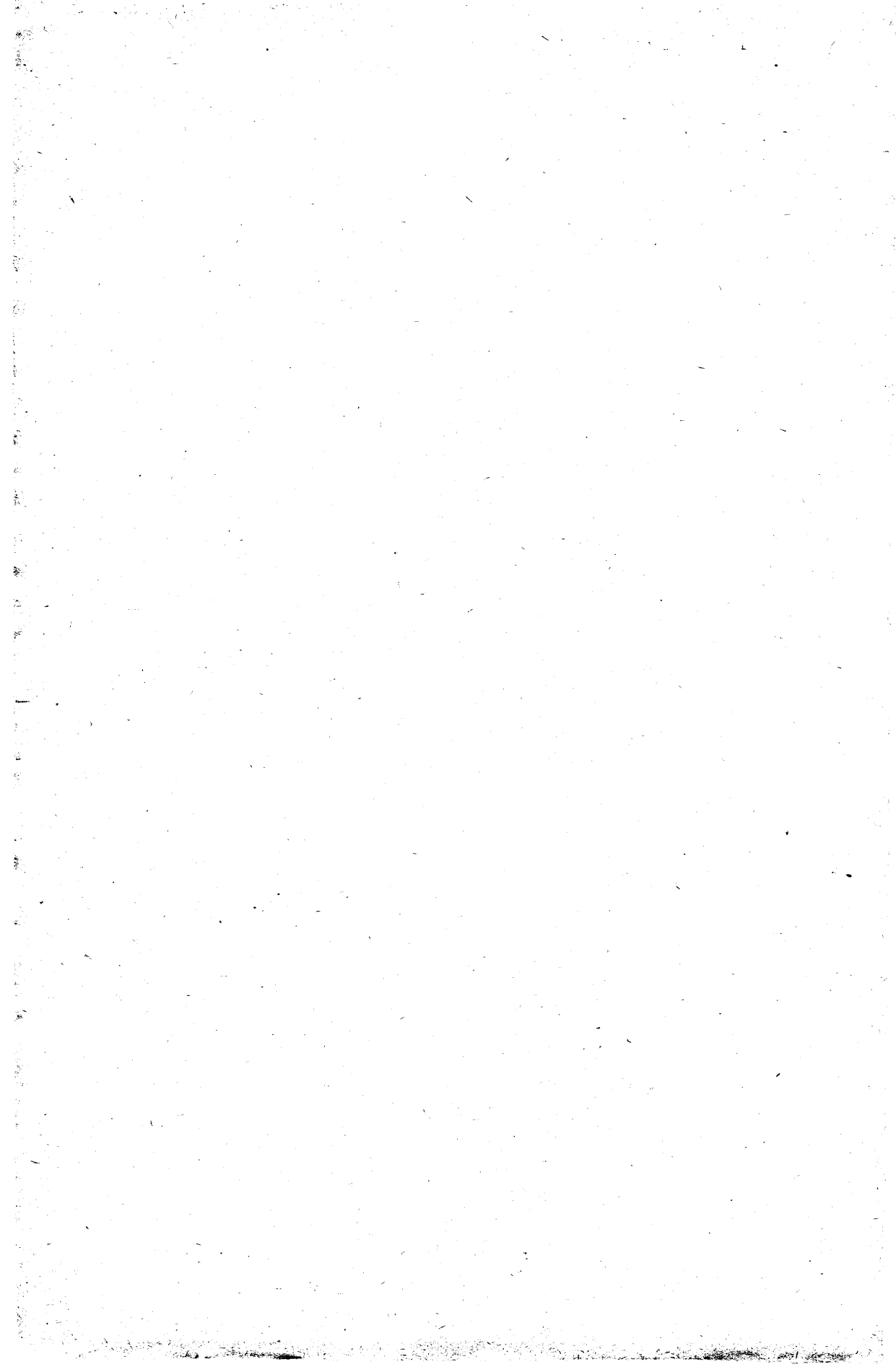
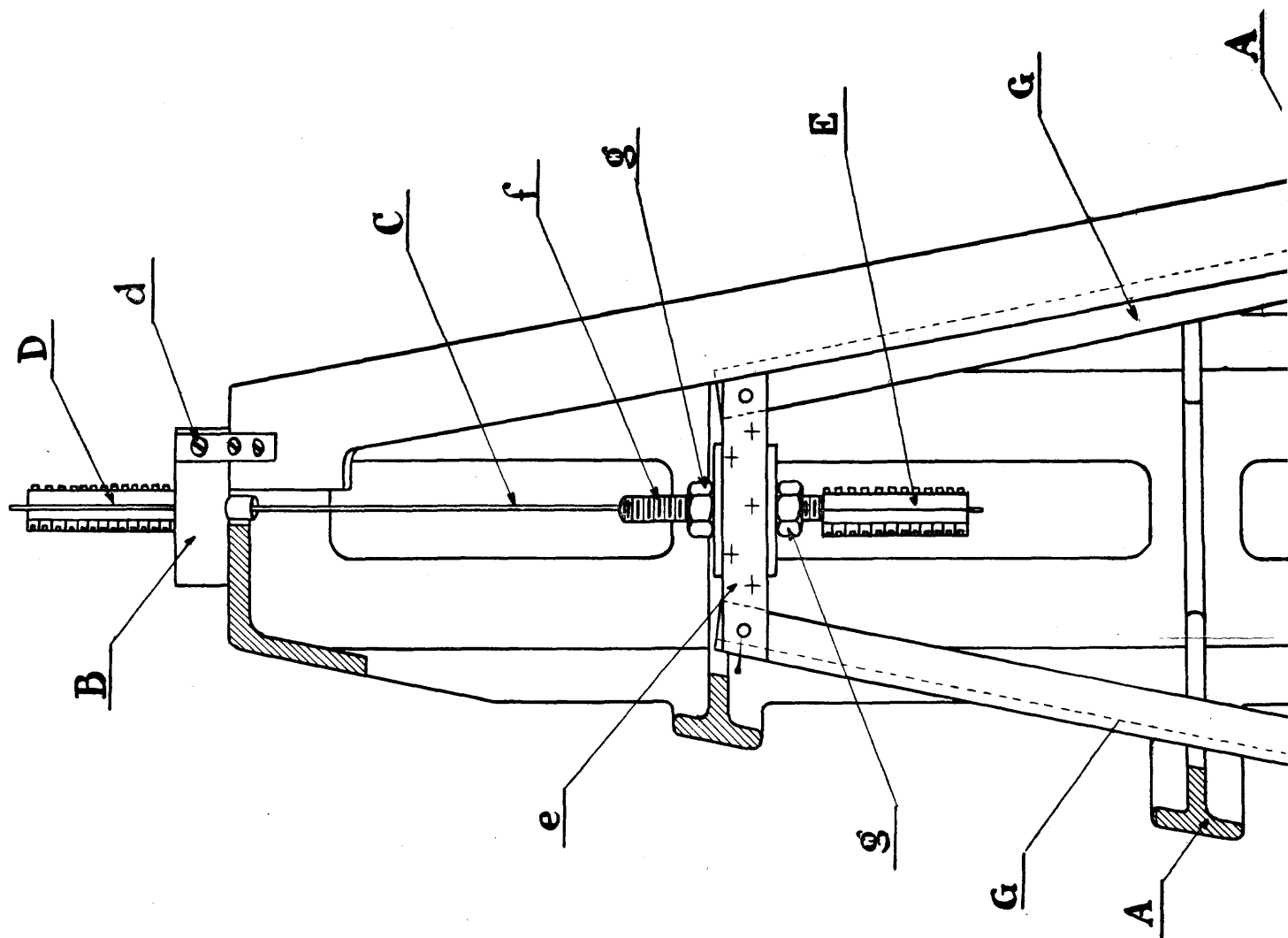


TABLE DES MATIÈRES

1 The Milne-Shaw Seismograph, par J.J. SHAW.....	3
2. Séismographe Mainka (Type du Bureau Central Séismologique Français), par E. ROTHÉ et H. LABROUSTE.....	19
3 Description du séismographe universel de 21 tonnes, système de Quervain-Piccard, par A. de QUERVAIN.....	32
4. Le grand séismographe de Strasbourg de 19 tonnes (Description et étude critique de l'instruments), par E. ROTHÉ et J. LACOSTE.....	44
5. Description et théorie du séismomètre à torsion, par J. A. ANDERSON et H.O. WOOD.....	79
6. Appareil de synthèse de mouvements périodiques, par E. ROTHÉ et A. RÉMY.....	98
7. Les séismographes de la Station Séismologique de Cartuja (Granada), par le Père Emm. M ^a S. NAVARO-NEUMANN, S.J.	119
8. Additif au fascicule 2.....	132
9. Chronique de la Section.....	133

ACHEVÉ D'IMPRIMER
PAR LES
PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE
49, B^d ST-MICHEL, PARIS
EN FÉVRIER 1927.

Vue de face



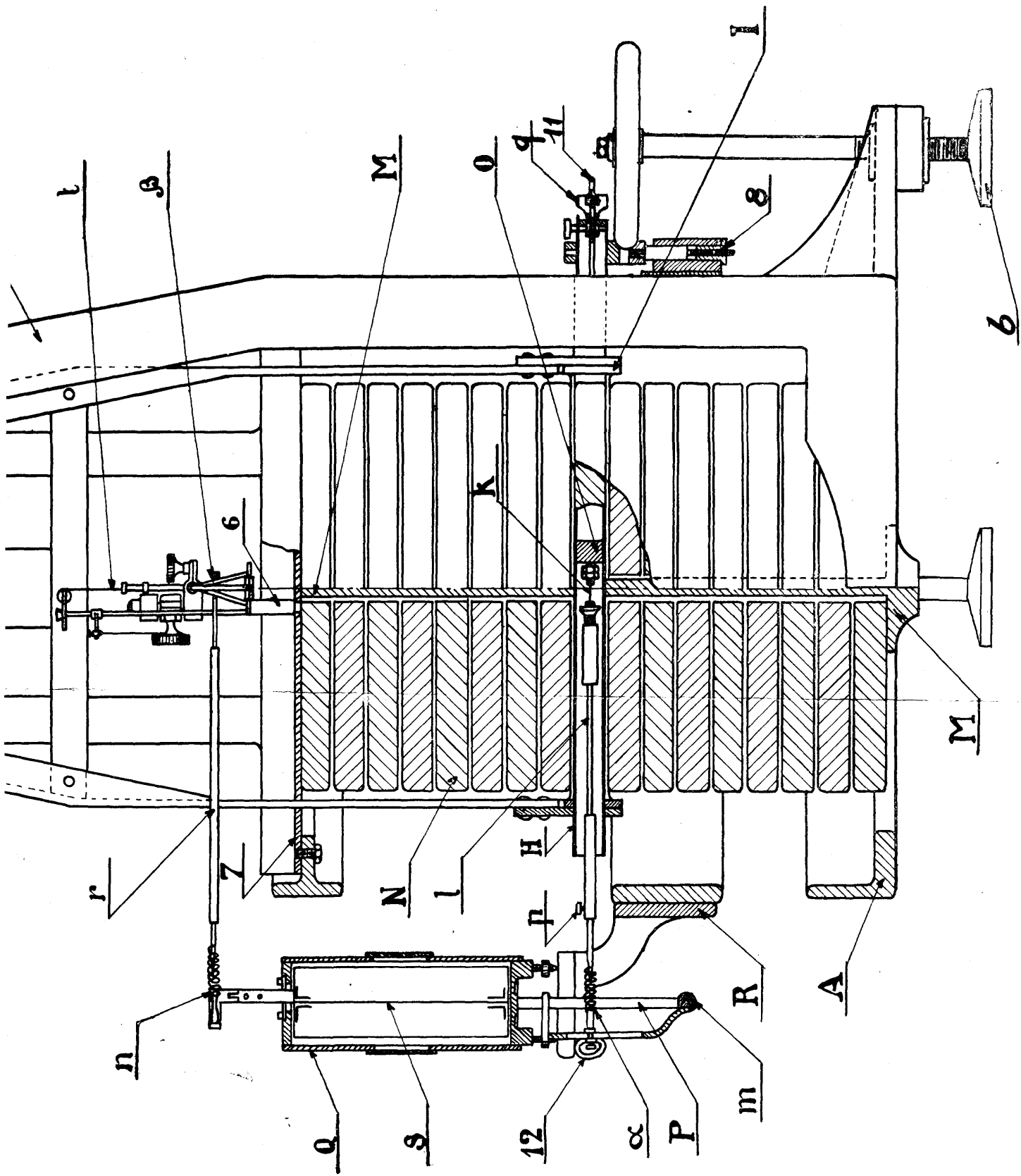
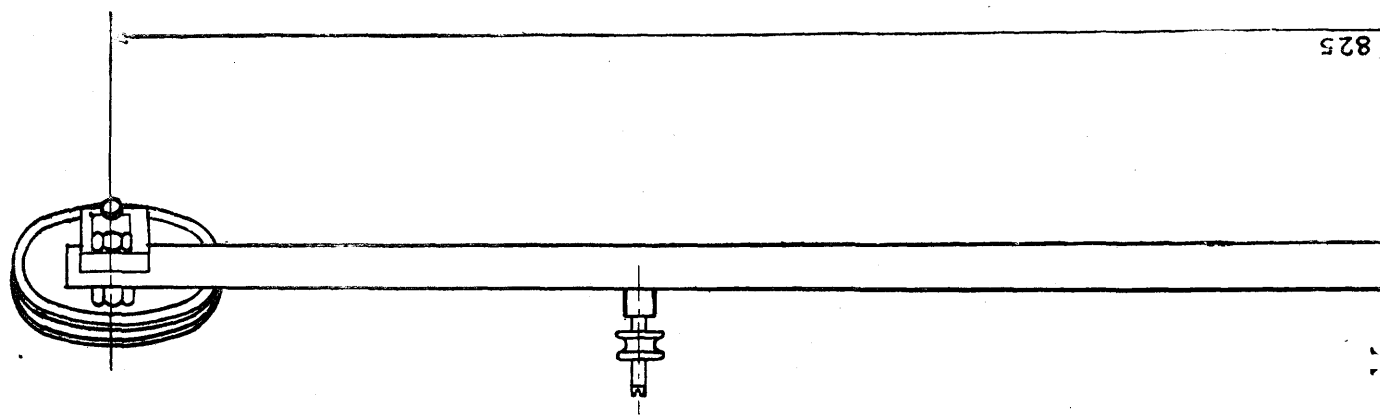
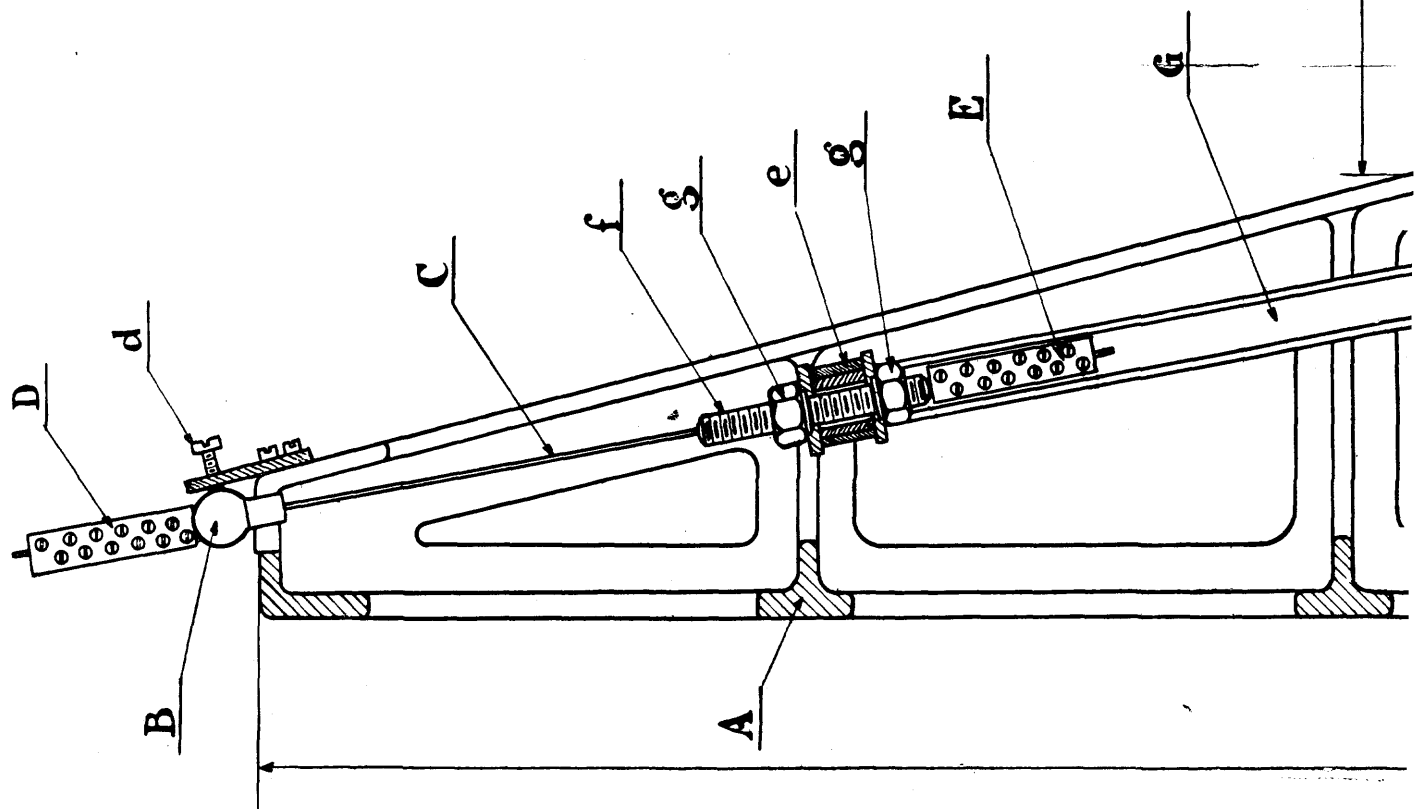


Planche I

Vue de côté



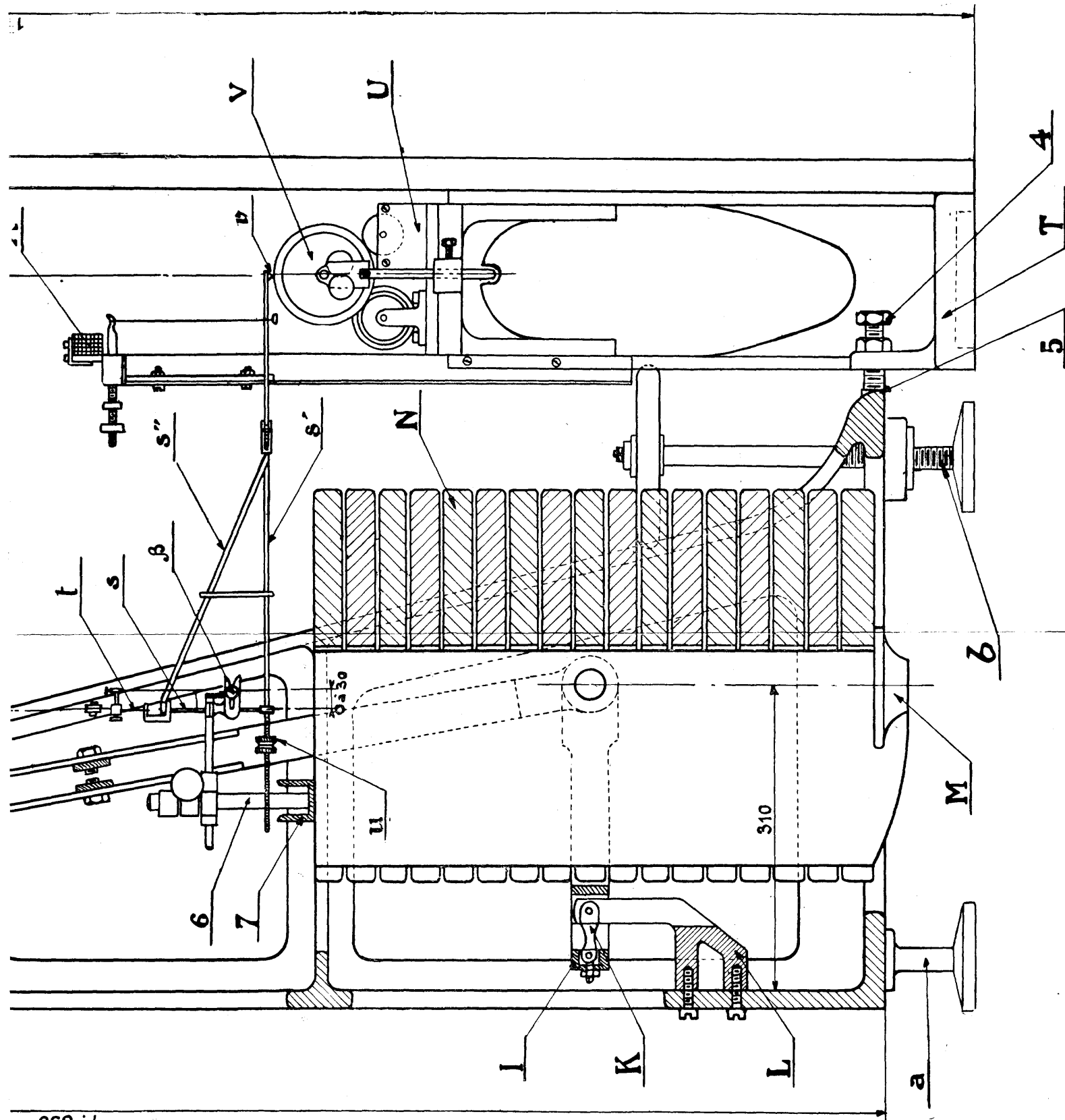
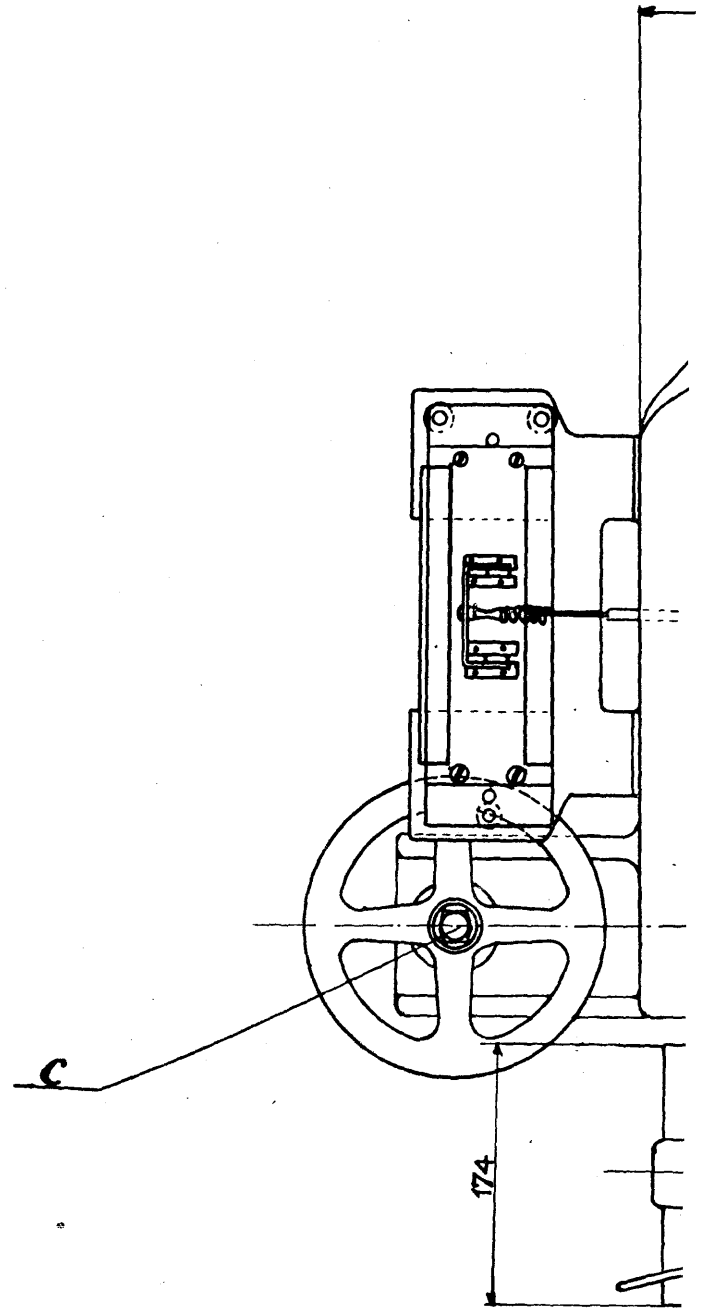


Planche II



Vue en plan

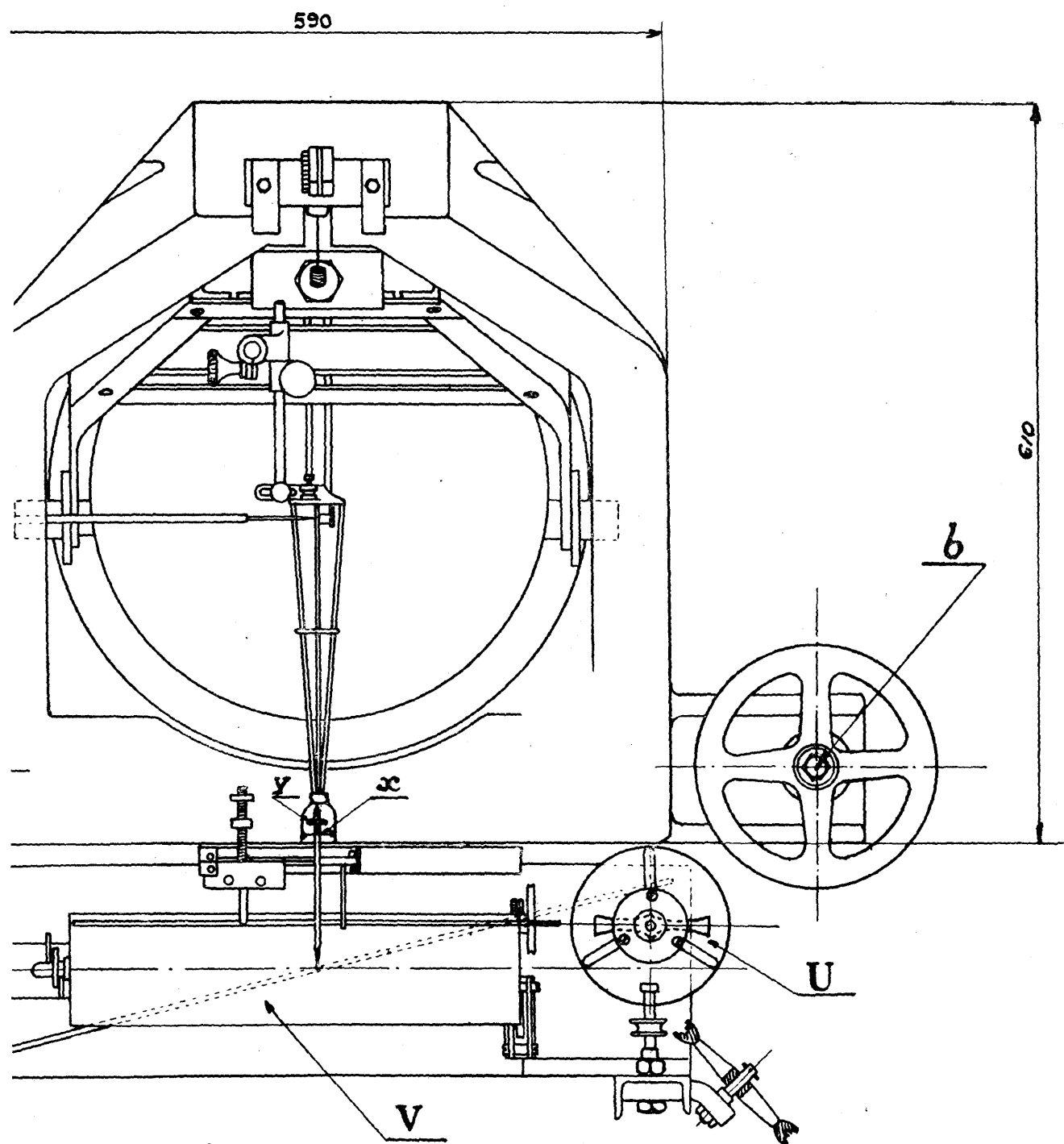
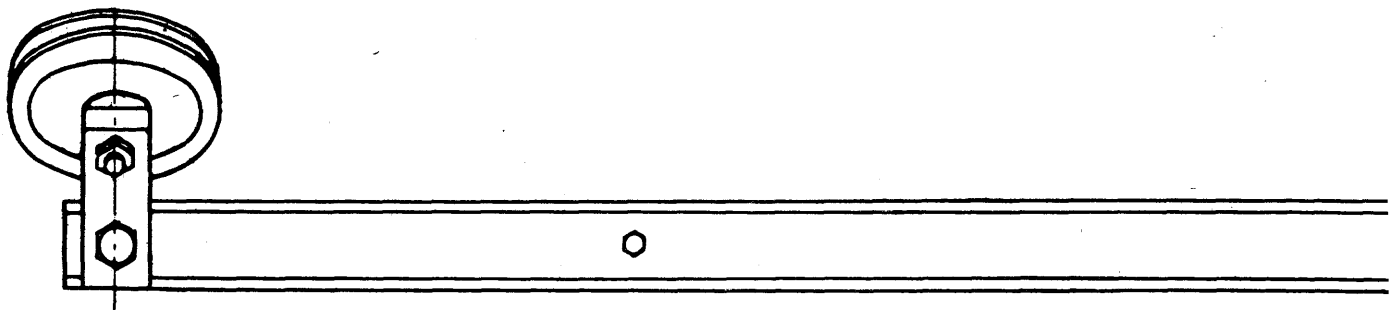


Planche III

26

Dispositif enregistreur



X

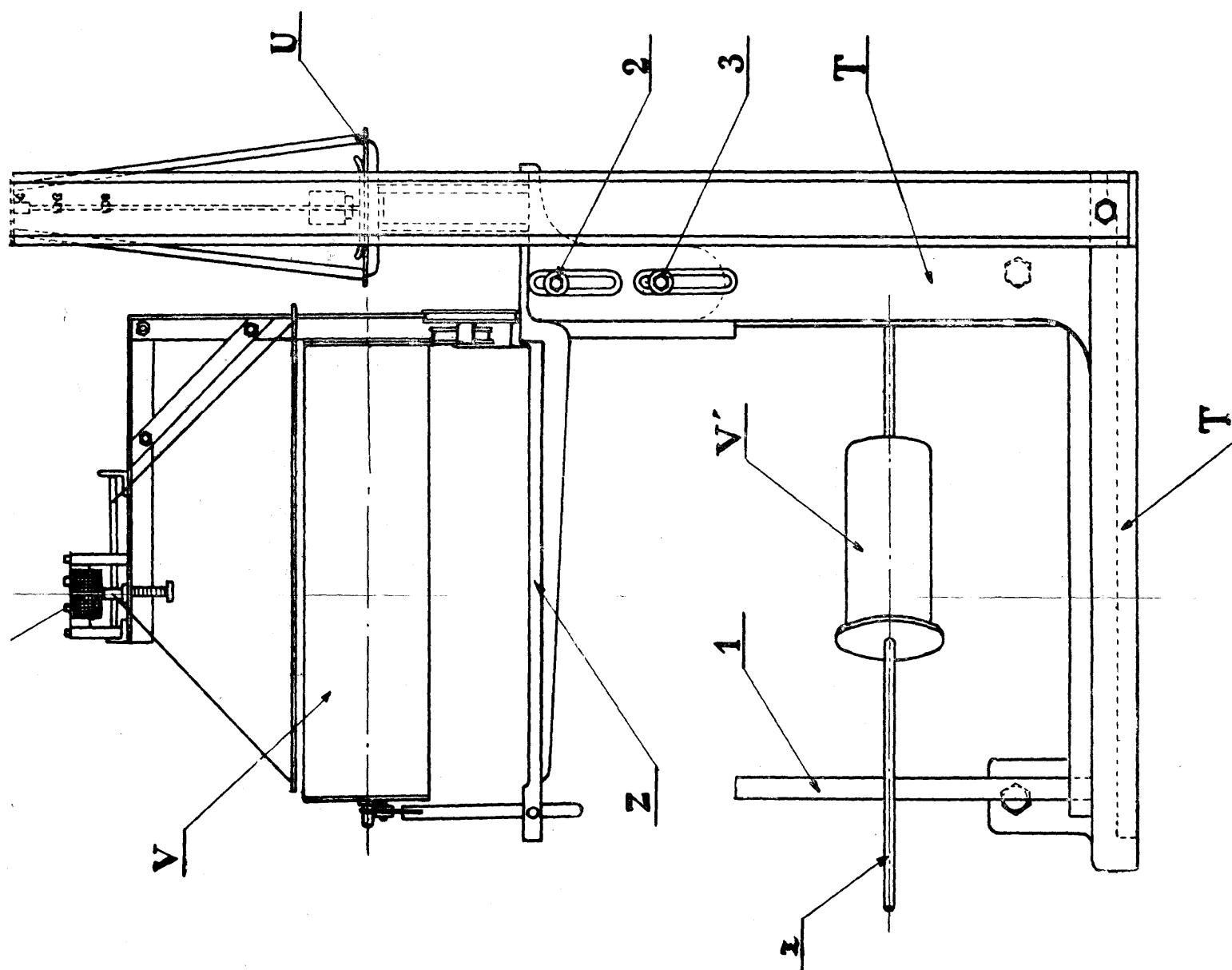


Planche IV