

Octobre 1926

Diplôme d'études supérieures de
Géophysicien.

Expériences sur les vibrations
produites à l'intérieur des édifices
par le passage des véhicules et le
mouvement des machines

J. Fayeux

Le développement qu'a pris l'usage des véhicules lourds et rapides et des machines puissantes a fait apparaître un certain nombre de problèmes du fait de l'importance qu'ont prises les vibrations du sol. L'effort de propulsion que les roues du tramway ou de l'automobile exercent sur la route, la réaction que subit le support de la machine par suite du travail qu'elle fournit, provoquent en certains points du sol des vibrations qui s'y propagent, ainsi qu'à l'intérieur des édifices qui y sont construits. La maçonnerie subit de ce fait des efforts qui tendent à la disloquer, et à compromettre par suite la stabilité du bâtiment.

Il y a donc intérêt à faire sur les vibrations à l'intérieur des édifices des expériences permettant de les étudier et de se rendre compte des dommages qu'ils peuvent causer au bâtiment.

Le principe de ces expériences est d'enregistrer aux divers endroits du bâtiment, à l'aide de séismographes appropriés à cet usage, c'est-à-dire sensibles aux courtes périodes et assez facilement transportables, les composantes horizontales et verticale du mouvement, et de déterminer, d'après

les graphiques obtenus, les divers éléments de chaque composante. Les éléments qui sont surtout à considérer sont l'amplitude maximum et l'accélération maximum.

Pour déterminer l'amplitude maximum, on cherche sur le graphique la vibration qui a la plus grande amplitude; on mesure cette amplitude et on la divise par le grandissement de l'appareil, qui a été déterminé préalablement.

L'accélération maximum se détermine de la façon suivante: On admet que le mouvement est sinusoïdal, son équation est alors, en appelant T la période, a l'amplitude

$$y = a \sin 2\pi \frac{t}{T};$$

l'accélération sera la dérivée seconde

$$y'' = -\frac{4\pi^2 a}{T^2} \sin 2\pi \frac{t}{T};$$

l'accélération maximum sera donc en valeur absolue

$$y = \frac{4\pi^2 a_m}{T^2}$$

a_m étant l'amplitude maximum

Les périodes des différentes oscillations n'étant jamais toutes pareilles, on calcule deux valeurs de y , l'une en prenant pour T la période de l'oscillation qui a la plus grande amplitude, l'autre en prenant la période moyenne du voisinage de cet oscillation. On voit ensuite, en comparant les résultats des différentes expériences entre elles, laquelle de ces deux valeurs est

la plus vraisemblable.

Pour pouvoir déterminer la période, il faut savoir à quel espace de temps correspond une certaine longueur de la bande de papier sur laquelle s'inscrit le mouvement. Pour cela, on a un dispositif qui inscrit des marques à intervalles réguliers et connus, 1 seconde par exemple. Donc, pour mesurer la période d'une oscillation, on mesure la longueur L que représente cette période sur le papier, l'intervalle L_0 des deux marques entre lesquelles elle est comprise, et la période cherchée est alors $\frac{L}{L_0}$. Pour déterminer la période moyenne pour une certaine région du graphique, on compte le nombre d'oscillations n contenues dans cette région, on consulte l'espace de temps t qu'elle représente, et la période moyenne cherchée est $\frac{t}{n}$.

L'étude des vibrations à l'intérieur d'un édifice se divise en deux parties

1) Etude du mouvement du sol à l'endroit où se trouve le bâtiment.

2) Etude des vibrations que produit ce mouvement à l'intérieur du bâtiment.

L'étude du mouvement du sol à l'endroit où se trouve le bâtiment a surtout pour but de déterminer la nuisance. Cette grandeur est la probabilité avec laquelle la réserve de stabilité du bâtiment sera épuisée; Elle a pour expression le produit de l'amplitude maximum, exprimée en centièmes de millimètres, par l'axe

lération maximum, mesurée en centimètres par seconde.

L'étude des vibrations que produit le mouvement du sol aux divers endroits du bâtiment montre comment varient les divers éléments du mouvement quand on se s'y déplace, et peut ainsi renseigner sur les endroits où peuvent le plus facilement se produire des dégradations.

I.

Dispositif expérimental

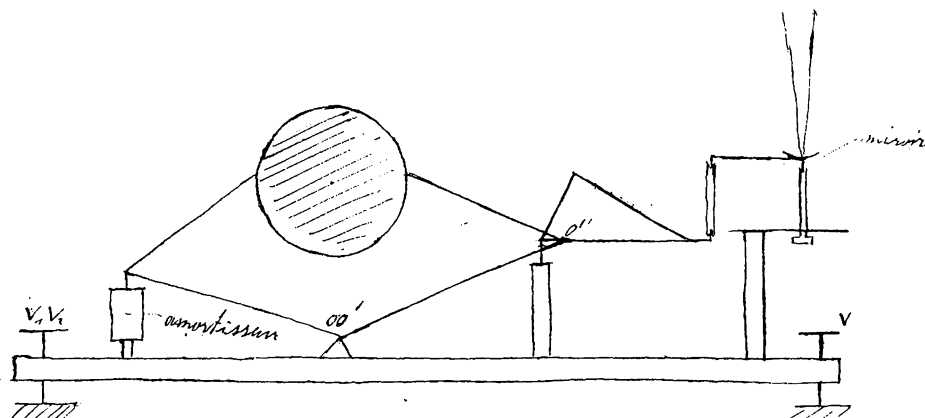
Description des appareils.

Les appareils qui ont servi aux expériences qui font le sujet de ce travail étaient du modèle de ceux construits par Minthrop pour étudier les vibrations du sol produites par un moteur à gaz.

Appareil horizontal.

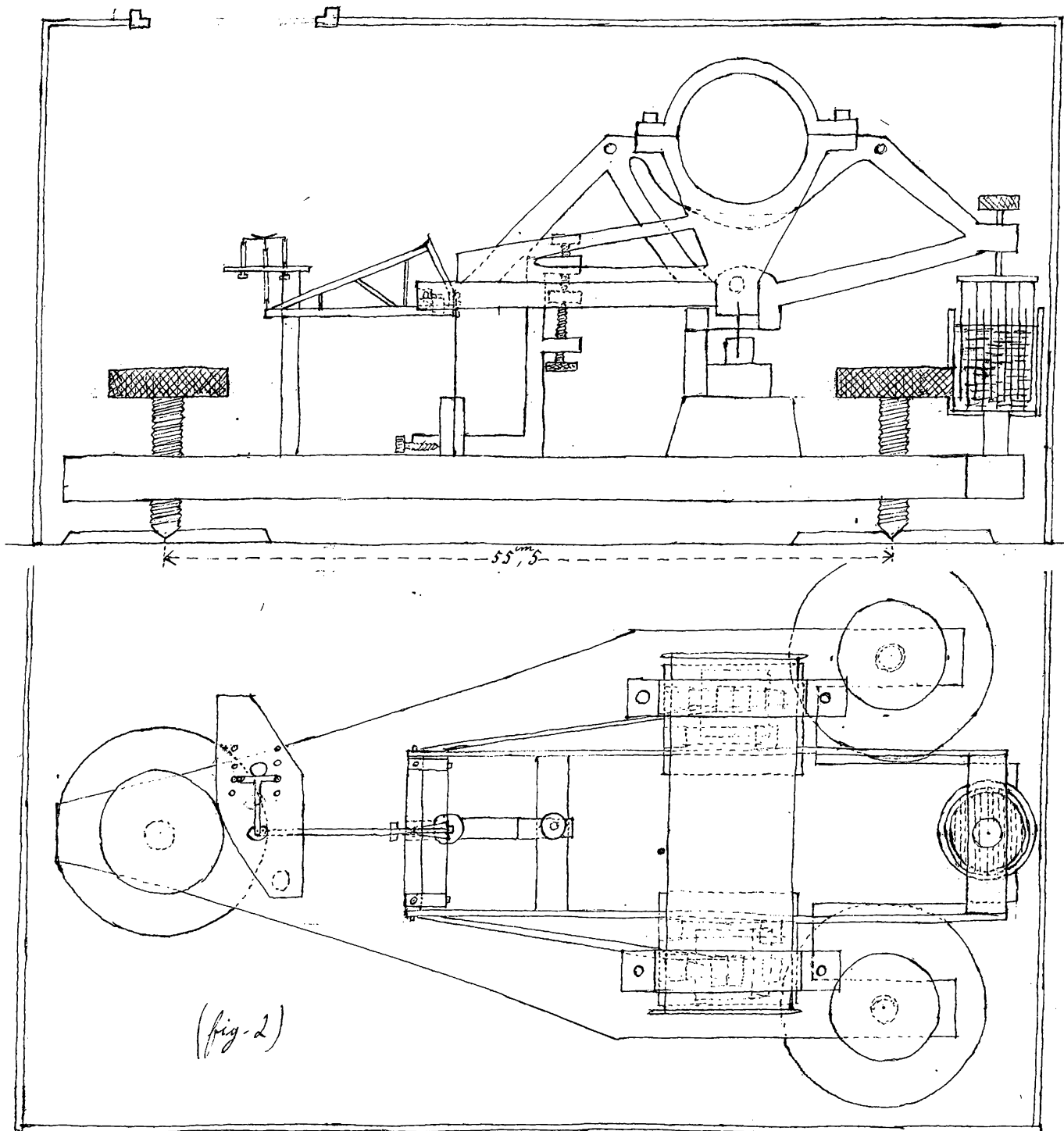
L'appareil horizontal se compose d'un cylindre de plomb reposant sur un berceau, le berceau est fixé sur un socle par deux points ^{0,0'} qui forment un axe de rotation parallèle à l'axe du cylindre et dans le même plan vertical que le centre de gravité de l'ensemble cylindre - berceau. Il est fixé, d'autre part, par le point 0" à un levier amplificateur dont le point d'appui est fixé au socle par l'intermédiaire d'une lame élastique. Les points 0,0', 0" sont réalisés par des lames élastiques formant des suspensions à la cardan. L'autre extrémité du levier porte

(fig. 1)



une pointe verticale sur laquelle repose l'un des bouts d'une petite tige terminée aux deux bouts par une crapaudine. Un équipage portant un miroir sphérique concave éclairé par une petite lampe repose par une pointe sur l'autre bout de la petite tige et par deux autres pointes sur des crapaudines portées par deux colonnettes fixées sur un plateau solide au sol. On peut donner à ces colonnettes des hauteurs variables, et on peut aussi les placer à plus ou moins grande distance de l'extrémité du levier, en employant des équipages différents correspondant à ces positions, ceci permet de réaliser quatre grossissements différents. L'amortissement est réalisé par frottement de lames dans de l'huile. La figure 2 ci-dessous montre l'aspect de l'appareil vu de côté et d'en haut.

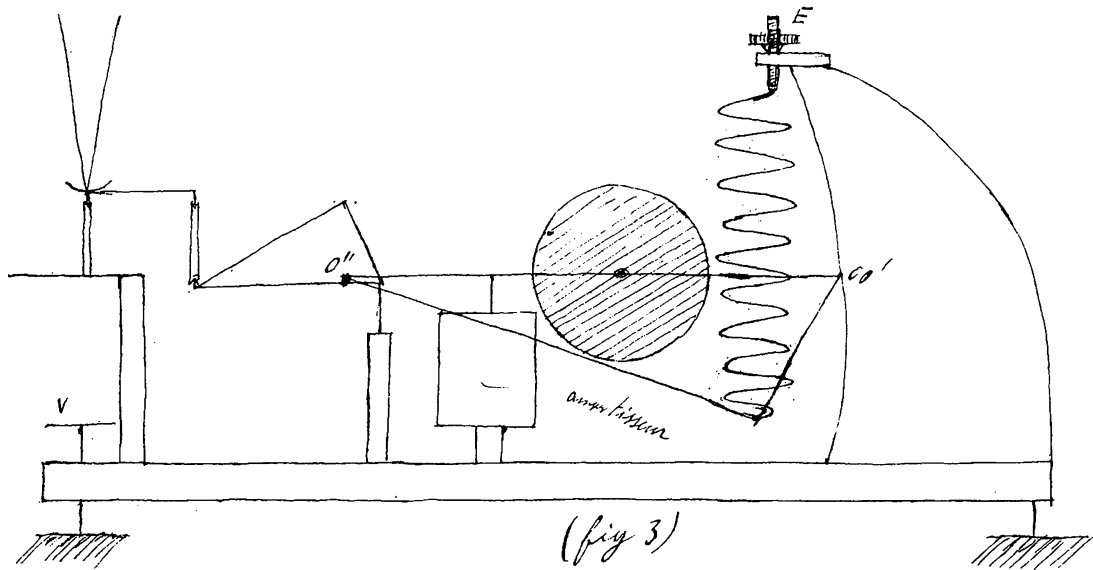
Fonctionnement: Supposons qu'il y ait un petit déplacement horizontal du sol, vers la gauche par exemple. L'axe OO' suit le déplacement mais le cylindre à cause de son inertie ne se déplace pas. Donc le berceau tourne autour de l'axe OO' et le point O'' s'abaisse. L'autre extrémité du levier se déplace d'une quantité égale au déplacement de O' multiplié par le rapport des bras de levier. L'équipage portant le miroir tourne d'un angle égal à l'angle dont a tourné le



levier, multiplié par le rapport du grand bras de levier à la distance du point P au centre du miroir. Le faisceau de lumière réfléchi par le miroir tourne d'un angle double, et le déplacement de l'image de la source lumineuse représente le déplacement de 0" très aggrandi.

Appareil vertical

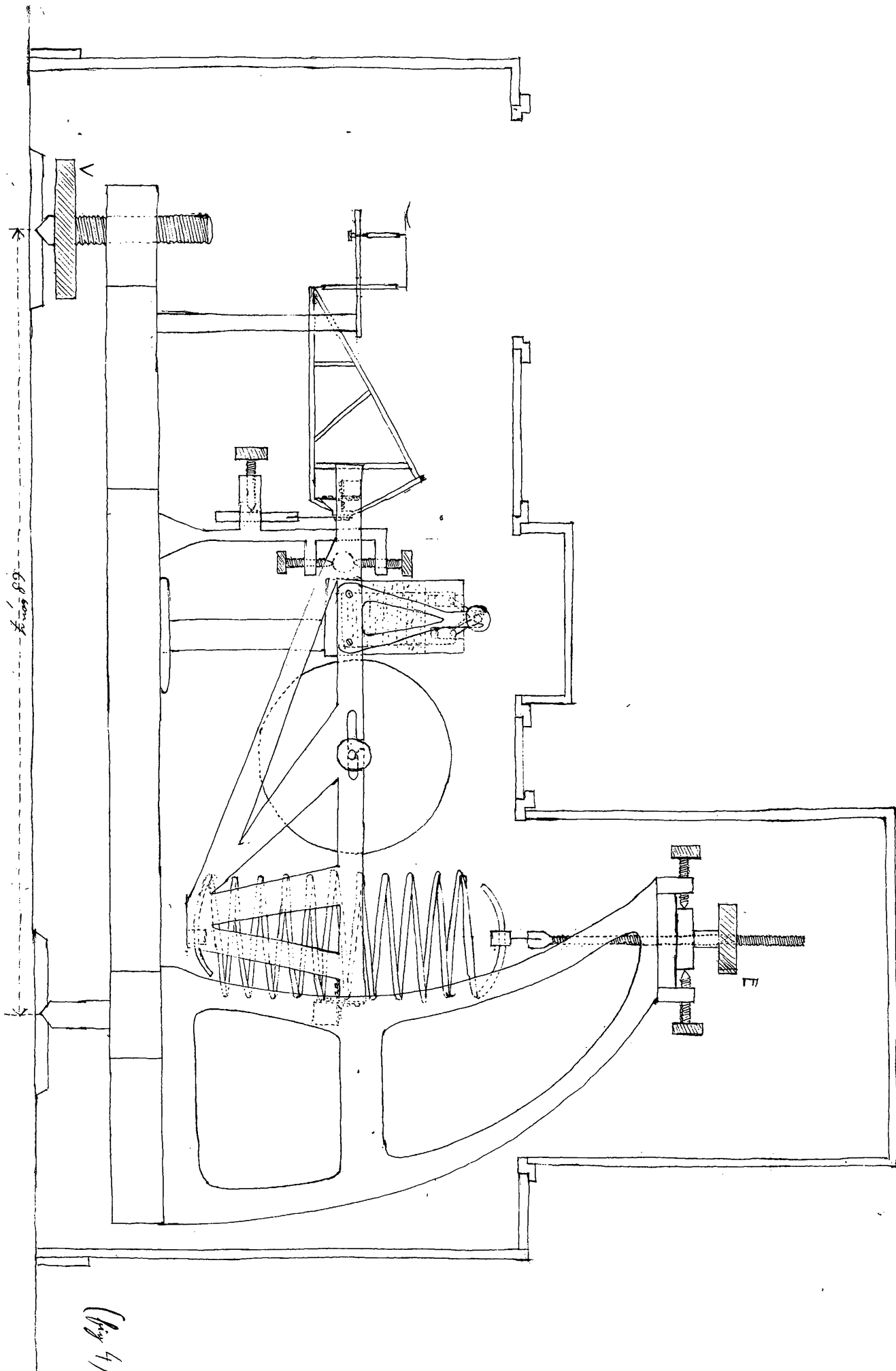
L'appareil vertical, comme l'appareil horizontal, est constitué par un cylindre de plomb reposant sur un berceau fixé au socle par deux points OO' formant un axe de rotation parallèle à l'axe du cylindre. L'axe OO' est ici dans le même plan

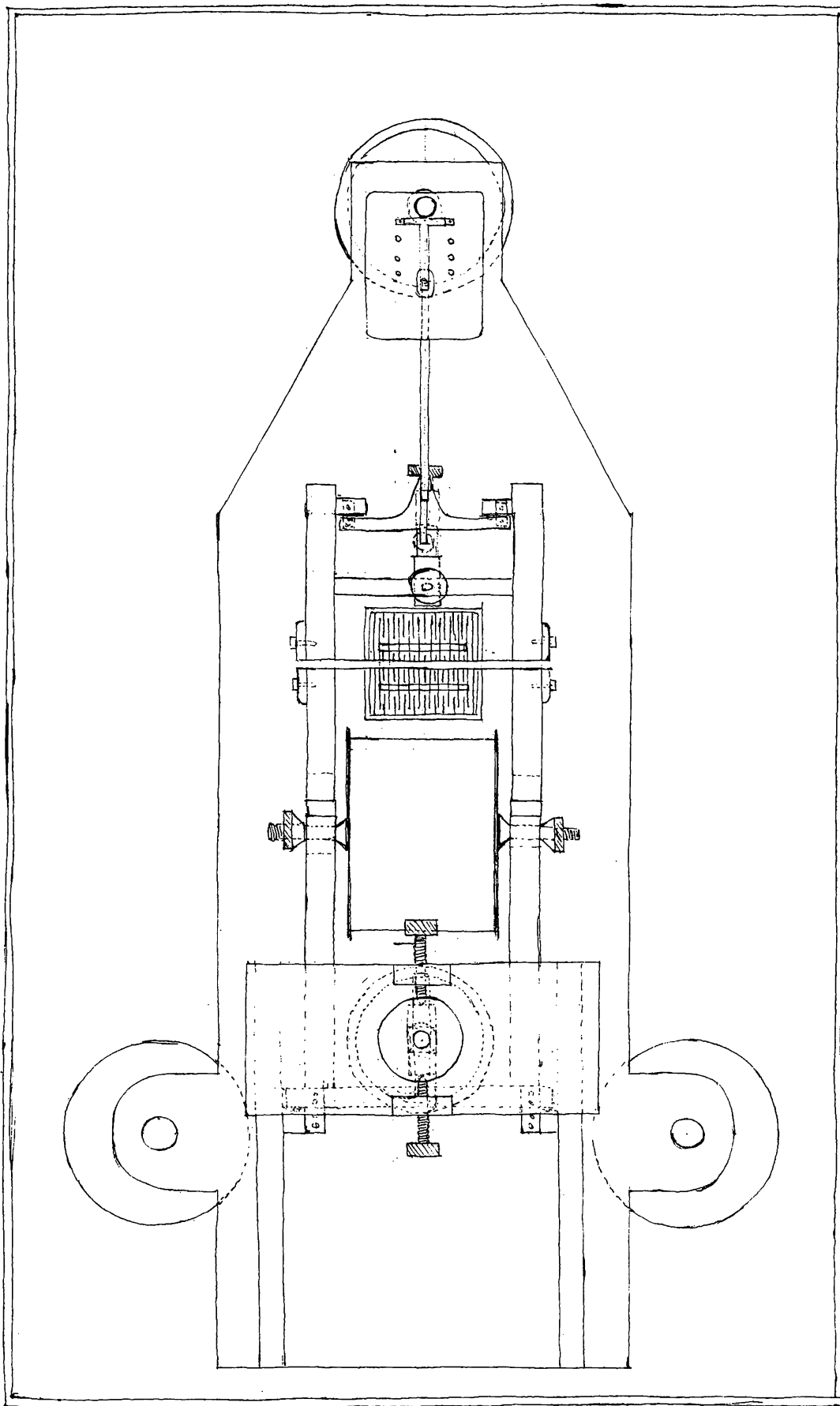


horizontal que le centre de gravité de l'ensemble cylindre - berceau. Le berceau est de plus suspendu par un ressort à boudin vertical, qui est fixé au socle par une tige filetée retenue par un écrou, ce qui permet d'élever ou d'abaisser le point de fixation du ressort. L'amortissement et le grandissement se font de la même façon que pour l'appareil horizontal.

Les figures 4 et 5 montrent l'aspect de l'appareil vu de côté et vu d'en haut.

Fonctionnement: Supposons qu'il y ait un petit mouvement du sol vers le haut. L'axe OO' suit ce mouvement, tandis que le cylindre à cause de son inertie tend à rester immobile. Le point O'' s'abaisse donc, et son déplacement est amplifié comme pour l'appareil horizontal.

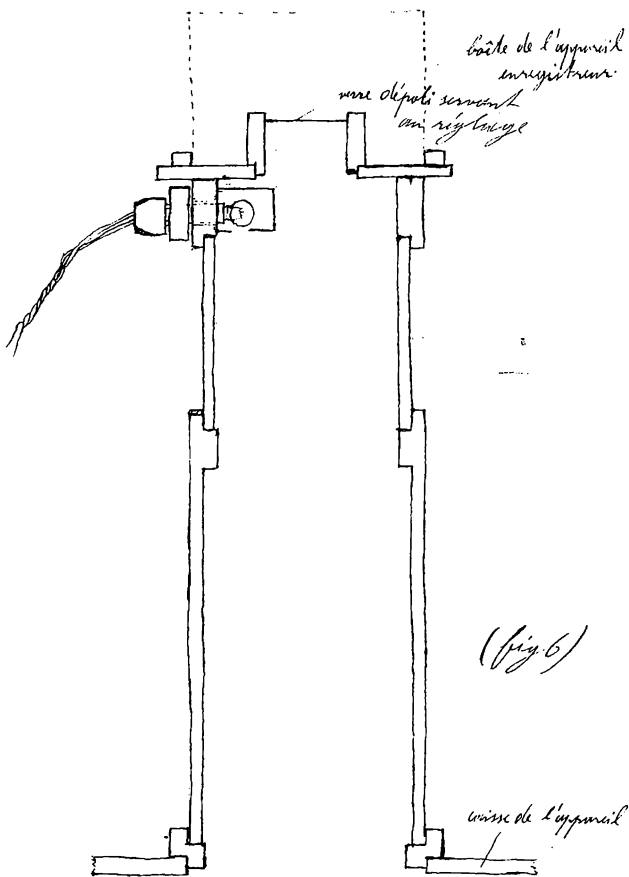




(fig 5)

Dispositif d'enregistrement

Chaque appareil est monté d'une caisse dans laquelle est pratiquée, au-dessus du miroir, une ouverture rectangulaire sur laquelle peut s'adapter une cheminée. Au-des-



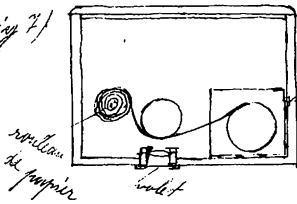
(fig. 6)

sous de l'ouverture supérieure de cette cheminée se trouve le support de l'appareil enregistreur; à ce support est fixé la lampe qui éclaire le miroir. Au début des expériences, le support était soutenu par un trépied reposant sur le sol, et il était relié à la cheminée par un soufflet; cela avait pour but de permettre la mise au point du spot lumineux en déplaçant verticalement le support enregistreur par déplacement des

piéds du trépied. Mais ce réglage était très long et de plus le trépied manquait de stabilité. Il a été supprimé et le soufflet remplacé par une caisse rigide de hauteur telle que le spot soit réglé une fois pour toutes.

L'appareil enregistreur est une boîte dans laquelle se trouve le mécanisme entraînant la bande de papier photographique sur laquelle se fait l'inscription et le mécanisme d'inscription du temps. Elle est fermée à sa partie supérieure par un couvercle, et dans la partie inférieure est percée une fente recouverte par une lentille cylindrique et pouvant se fermer par un volet.

(fig 2)



Le mécanisme entraînant le papier se compose d'un cylindre mû par un mouvement d'horlogerie qui peut être mis en marche et arrêté par un bouton placé à l'extérieur de la boîte, le mouvement d'horlogerie comportait des ailettes régulatrices qui ont dû être enlevées pour les expériences à faire afin d'augmenter la vitesse. Le papier photographique, venant d'un rouleau, s'enroule sur le cylindre, après avoir passé sur un cylindre intermédiaire qui le maintient à bonne distance de la lentille cylindrique. Le miroir, éclairé par la lampe, envoie par la fente un faisceau de lumière convergent que la lentille cylindrique concentre en un point lumineux sur le papier photographique.

Le mécanisme d'inscription du temps se compose d'une lampe qui éclaire le papier photographique à travers une fente placée très près du papier, de façon que ses contours s'y projettent nettement. Entre cette fente et le papier se trouve un écran percé d'une fente un peu plus large et parallèle à la première. Cet écran peut se déplacer par l'effet d'un électro-aimant de façon que les deux fentes arrivent l'une au-dessus de l'autre quand le circuit est fermé. La fermeture du circuit se fait à intervalles réguliers de 1 seconde, pendant une demi-seconde environ, par une horloge. On obtient donc sur le papier photographique une succession de bandes noires, et la distance entre le début d'une bande et le début de la suivante est la longueur correspondant à une seconde.

La visée de l'appareil, la cheminée, le support et la boîte de l'appareil enregistreur forment ensemble une chambre

étanche à la lumière.

Détails d'une expérience.

1) Installation de l'appareil.

L'appareil est posé sur le sol à l'endroit où se produisent les vibrations à enregistrer. Quand ce sont des vibrations horizontales, il faut que l'axe OO' de l'appareil soit perpendiculaire à la direction de la composante à enregistrer. Le socle est rendu horizontal au moyen d'un niveau, d'abord avec les vis V_1 , puis avec les vis V_2 et V_3 simultanément. Les colonnettes sont fixées à la position correspondante au grandissement à obtenir, l'amortisseur enlevé, les vis bloquant le bouton déverrouillé, la petite tige et le levier optique convenable mis en place; dans le cas de l'appareil automatique, il est quelquefois nécessaire de soulever le point de suspension du ressort afin que l'extrémité du levier soit assez haute pour permettre de mettre en place la petite tige et le levier optique. La visse est placée sur l'appareil, les chemins et le support de l'appareil enregistreur mis en place. On monte les circuits des deux lampes et de l'électro-aimant; la mise en circuit des deux lampes se fait par des broches de contact, celle de l'électro-aimant en fixant les extrémités des fils à des bornes placées à l'extérieur de la boîte de l'appareil enregistreur, tous les circuits comprennent des interrupteurs, le courant est fourni par une batterie d'accumulateurs de 4 volts.

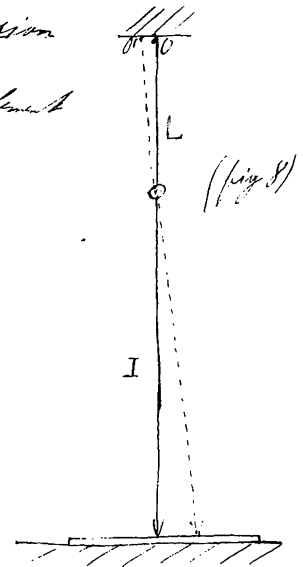
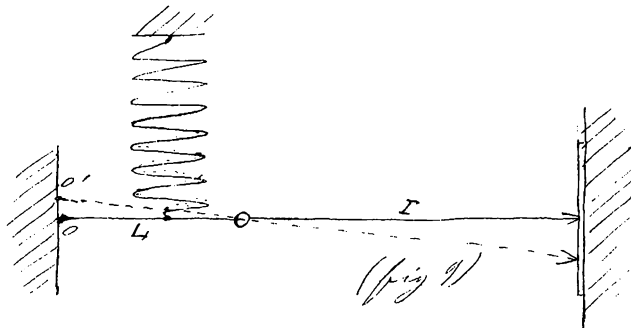
2) Réglage sommaire.

Le verre dépoli servant au réglage est mis en place.

On éclaire la lampe éclairant le miroir, l'image de la
 & lampe forme alors un spot lumineux sur la plaque de verre
 au sur une des parois de la cheminée, on peut le voir
 en enlevant le verre dépoli. On le déplace pour l'amener
 à peu près au milieu de la plaque, pour le déplacer
 suivant sa direction d'oscillation, on agit sur la vis
 V dans le cas de l'appareil horizontal, sur l'écran E
 dans le cas de l'appareil vertical

3) mesure du grossissement.

Considérons un pendule de longueur L muni d'un in-
 dicateur de longueur I . Si le point de suspension
 se déplace d'une longueur OO' , horizontalement



dans le cas des pendule de la figure 8, verticalement dans
 le cas de celui de la figure 9, la pointe de l'indicateur
 se déplace d'une longueur $OO' \times \frac{I}{L}$. Le rapport $\frac{I}{L}$ est le
 grossissement, il faut donc connaître I et L pour pou-
 voir le calculer. Comme les appareils qui nous occupent
 n'ont pas une forme aussi simple, I et L ne pourront être
 mesurés directement. Mais on voit que

$$L = \frac{T^2 g}{4 \pi^2}$$

en appelant T la période de l'appareil sans amortisse.

ment. D'autre part, si le pendule dévie d'un angle β , la pointe de l'indicateur se déplace d'une longueur A , et on a

$$I = \frac{A}{\beta}$$

Dans l'appareil qui nous occupe, la pointe de l'indicateur est le spot lumineux. La quantité A est le déplacement de ce spot pour une inclinaison β du biseau, or, ce qui revient au même, pour une inclinaison β du socle de l'appareil, le biseau restant fixe. Pour obtenir cette inclinaison, on tourne la vis V . Supposons qu'elle ~~avance~~ d'une longueur b , et soit H la distance de la pointe de la vis V à la droite joignant les pointes des vis V_1 et V_2 , on a

$$\beta = \frac{b}{H}$$

d'où

$$I = \frac{AH}{b}$$

Or, le grandissement est

$$V = \frac{I}{L}$$

donc, en remplaçant I et L par leur valeurs, on trouve

$$V = \frac{4\pi^2 H}{g} \times \frac{A}{T^2 b}$$

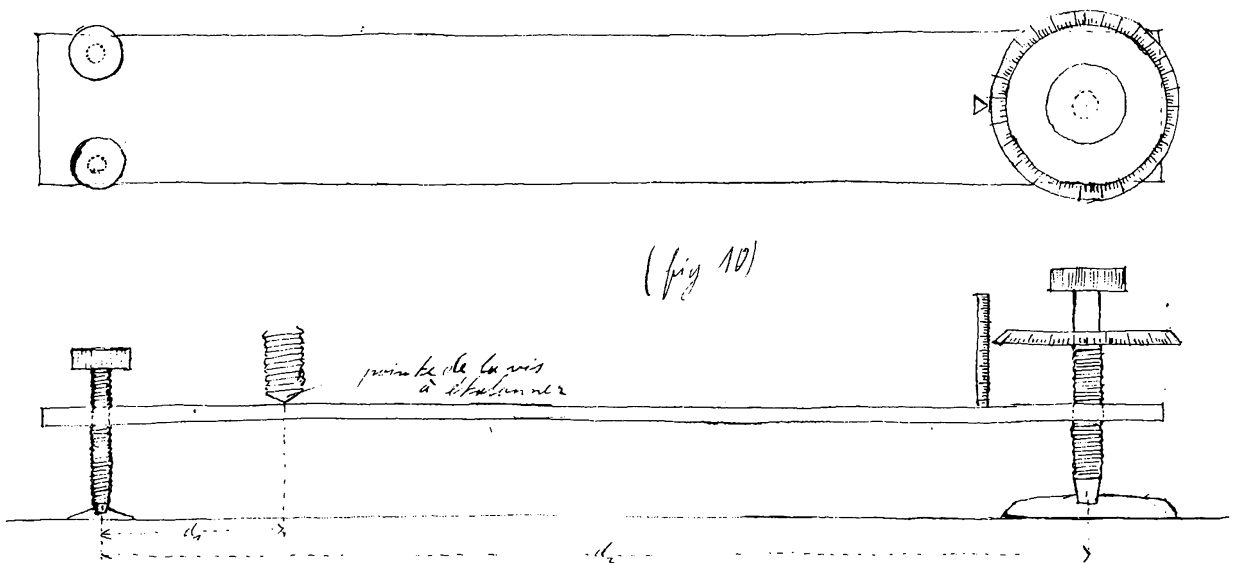
La quantité $\frac{4\pi^2 H}{g}$ est constante pour un appareil donné et peut se calculer une fois pour toutes. Pour l'appareil horizontal elle est 2,23, pour l'appareil vertical 2,76. La mesure du grandissement revient donc à mesurer la période T et le déplacement A du spot correspondant à un certain déplacement b de la vis V .

Pour mesurer T , on donne une petite impulsion à l'appareil et on compte la durée d'un certain nombre d'oscillations

A se mesure avec une règle à plat sur la poutre de
vent.

La vis V est étalonnée, ce qui permet de déterminer de la sorte
tant qu'on a accès à la vis, cette rotation se mesure par des
graduations boursées sur la tête de la vis.

Les vis des deux appareils sont à être étalonnées au début
des expériences. Cette opération se fait de la façon suivante:
On se sert d'un support ayant la forme d'un rectangle
allongé et reposant sur le sol par deux vis calantes et
une vis de sphéromètre. Sur le socle de l'appareil sont la vis



Il est à étalonner, on place, dans une direction perpendicu-
laire à la droite joignant les pointes des deux autres vis,
un niveau, et on fait repasser la pointe de la vis à é-
talonner sur le support. Après avoir mis la bulle du
niveau entre ses repères, on fait tourner la vis à éta-
lonner d'une quantité déterminée, de façon à dépla-
cer la bulle d'une quantité appréciable, puis on la
ramène entre ses repères en agissant sur la vis de
sphéromètre, qu'il faut faire avancer par cela d'une
certaine quantité à qu'on connaît si on sait de combien.

il a fallu la faire tourner. On mesure ensuite les distances d_1 et d_2 (fig. 10). Soit x la quantité dont on a fait avancer la vis à étalonner, on a

$$\frac{x}{d_1} = \frac{\alpha}{d_2}$$

d'où

$$x = d_1 \frac{\alpha}{d_2}$$

On sait donc de combien la vis a avancé pour la rotation qu'on lui a donnée, donc elle est étalonnée.

Les résultats de l'expérience ont été les suivants:

Appareil vertical:

Rotation donnée à la vis à étalonner: $\frac{1}{2}$ tour

$$\alpha = 0^{\text{mm}}, 5$$

$$d_1 = 4^{\text{mm}}, 8$$

$$d_2 = 47^{\text{mm}}, 7$$

d'où

$$x = 0^{\text{mm}}, 05$$

Résultat: et un tour de vis correspond 1^{mm} .

Appareil horizontal:

Rotation donnée à la vis à étalonner: 1 tour

$$\alpha = 1^{\text{mm}}, 0$$

$$d_1 = 4^{\text{mm}}, 8$$

$$d_2 = 47^{\text{mm}}, 7$$

d'où

$$x = 0^{\text{mm}}, 1$$

Résultat: et un tour de vis correspond 1^{mm} .

4.) Réglage définitif.

On enlève les chemises, la vis, le levier optique et la pe-

l'axe tige et on bloque le berceau. On remet en place la lame de l'amortisseur, ~~et~~ on débloque le berceau ^{et} on règle l'amortisseur pour que les lames ne frottent pas l'une contre l'autre. Il faut pour cela déplacer par tâtonnement la lame et les lames jusqu'à ce qu'on voit que l'appareil oscille librement. Ceci fait on remet en place tout ce qu'on avait enlevé. Il s'agit maintenant d'asseoir le spot lumineux à la place qu'il doit avoir pour parvenir à projeter sur le papier photographique. Cette est réglée sur la plaque de verre dépoli par le point de croisi de deux traits tracés sur elle, l'une coïncidant avec la direction suivant laquelle le spot doit osciller. Dans le cas de l'appareil horizontal, ce réglage se fait comme le réglage sommaire, dans le cas de l'appareil vertical, les petits déplacements se font dans la direction de la vibration en agissant sur la vis V, dans la direction perpendiculaire en déplaçant légèrement la caisse sur le sol. Il faut aussi avoir soin que la caisse soit placée par rapport à l'appareil de façon que le spot se déplace sans quitter la ligne de foi.

3) Expérience proprement dite.

L'appareil enregistreur, dans lequel a été préparée une quantité de papier photographique suffisante, est mis en place sur son support, les lampes et l'électroaimant mis en circuit, l'horloge mise en mouvement, les circuits fermés, le volet couvrant la lentille optique dirigée ouvert. En faisant ces opérations, on est obligé de circuler autour de l'appareil, ce qui provoque des perturbations. Il faut donc les faire assez longtemps d'a-

vance pour que ces perturbations aient cessé au moment de faire l'inscription, sauf l'ouverture du volet, pour éviter que le début de l'inscription soit trop voilé. Au moment où les vibrations à enregistrer vont se produire, on libère le mouvement d'horlogerie, et on le laisse marcher le temps nécessaire. Puis on ferme le volet, on coupe les circuits, on arrête l'horloge, on met hors circuit la lampe de l'inscription du temps et l'électroaimant, on enlève l'appareil enregistreur de son support et on le met à l'abri de la lumière si on ne veut pas développer l'épreuve de suite. Le développement se fait comme pour une photographie ordinaire.

II.

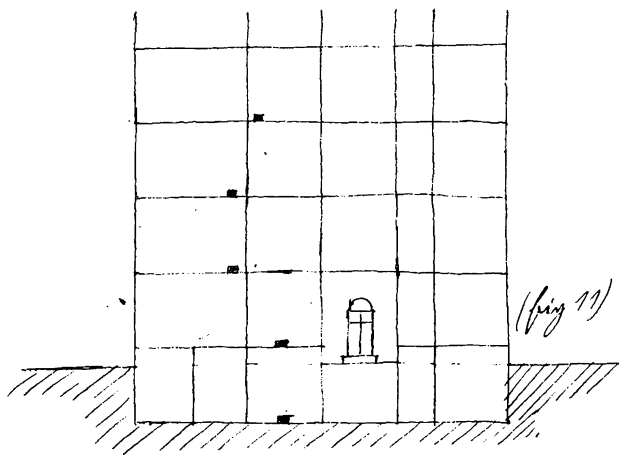
Compte-rendu des expériences.

La partie essentielle des expériences faisant le sujet de ce travail avait pour but l'étude des vibrations se produisant, au passage du tramway, dans les bâtiments de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg. Il a été fait en outre quelques expériences sur les vibrations produites par un moteur électrique à l'Institut de Chimie.

Étude des vibrations dans le bâtiment de l'Institut de Physique du Globe

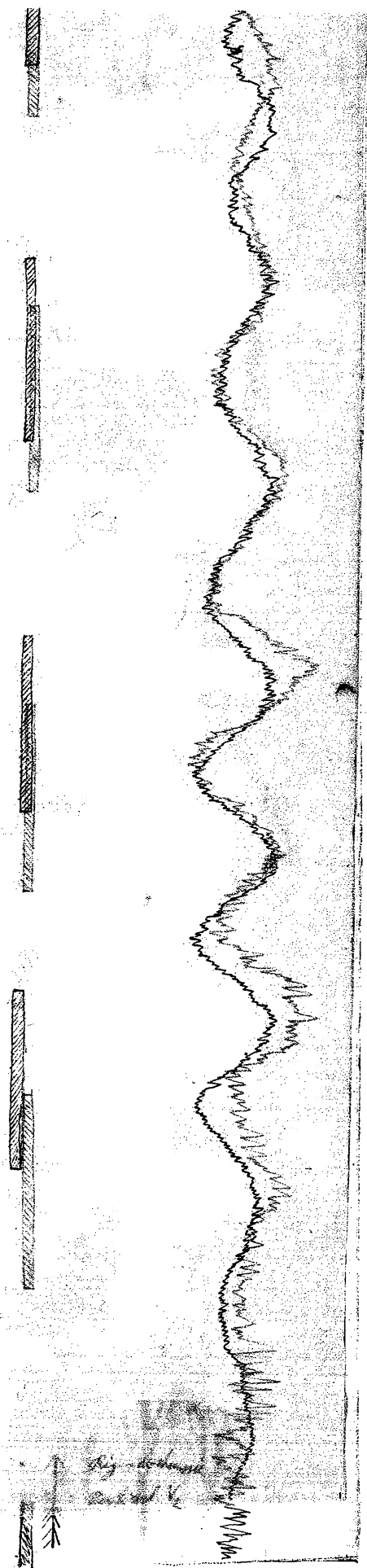
Les expériences ont été faites à tous les étages des

bâtiment, en commençant par le sous-sol et en finissant par le 3^e étage. Les points où étaient installés les appareils étaient choisis autant que possible sur une même verticale. Cette disposition ne pouvait être réalisée parfaitement, parce qu'il était nécessaire d'installer les appareils près d'une fenêtre donnant sur la rue, pour pouvoir surveiller l'arrivée du tramway, et qu'il ne se trouvait pas une série de prises situées l'une au-dessus de l'autre dans toutes lesquelles cela soit possible. La figure 11 montre à peu près les points où étaient installés les appareils.



et chaque étage, deux séries d'expériences ont été faites, l'une avec l'appareil horizontal, l'autre avec l'appareil vertical; l'appareil horizontal était installé de façon à enregistrer la composante perpendiculaire à la marche du tramway. Chaque série d'expériences comprenait des inscriptions avec tous les grandissements que pouvait donner l'appareil, c.à.d. quatre pour l'appareil vertical, trois pour l'appareil horizontal.

Pour chaque expérience, l'appareil enregistreur était chargé d'une bande de papier de longueur suffisante pour qu'il se déroule pendant tout le temps que les vibrations produites par le tramway pouvaient se distinguer sur le graphique, c.à.d. dix secondes au maximum. Le mouvement d'horlogerie était mis en marche à un mo-



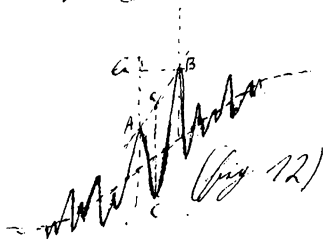
N° 1.

ment tel que la moitié à peu près du papier soit déroulée au moment où le tramway passait devant la maison.

Le spot lumineux était ainsi constamment, indépendamment du passage du tramway, de vibrations de courte période, dues au passage de véhicules à proximité, et d'oscillations d'amplitude et de période beaucoup plus grande, et très voisine de la période propre de l'appareil, c.à.d. environs $\frac{1}{2}$ seconde; ces oscillations étaient dues sans doute à l'agitation microseismique de nature spéciale qu'enregistre l'appareil de 19 tonnes de la station, et qui provient de la marche des machines installées mécaniques qui se trouvent en grande nombre à Ghastburg; il semble qu'elles soient le résultat de l'interférence de ce mouvement microseismique avec le mouvement propre de l'appareil, car, comme le montre la reproduction n° 1, elles ont l'aspect de battements.

L'amplitude de ces oscillations était d'autant plus grande que l'appareil était installé à un étage plus élevé, et elles arrivaient à produire des déplacements du spot lumineux supérieurs à la largeur de la bande de papier, de sorte que le nombre de grossissements qui pouvaient être employés était d'autant plus restreint que l'expérience se faisait à un étage plus élevé.

Son suite de la superposition de ce mouvement à la vibration à étudier il fallait prendre certaines précautions en déterminant la période et l'amplitude de l'oscillation à l'amplitude maximum. La méthode employée était la suivante: Chercher deux maxima



A et B tels que la somme de leurs distances à un autre maximum C situé du côté opposé soit maximum, tracer par les points A, B et C des perpendiculaires

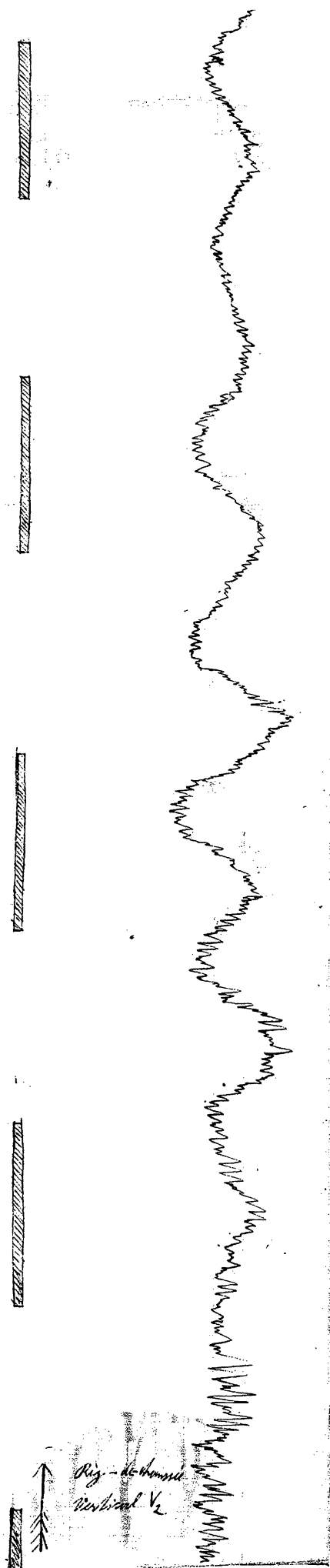
à la direction de déplacement du papier, et relier A et B. La période était alors la distance B C entre les parallèles passant par A et B, l'amplitude la moitié de la distance entre le point C et le point d'intersection e de la droite passant par C avec la droite AB.

Résultats des expériences.

Les tableaux suivants donnent les résultats des expériences. $V_1, V_2, V_{3/4}$ signifient les grossissements, a l'amplitude maximum, T_1 la période de l'oscillation d'amplitude maximum, T_2 la période moyenne du mouvement au voisinage de cette oscillation, f_1 l'oscillation correspondant à T_1 , f_2 l'oscillation correspondant à

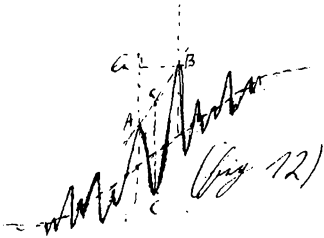
ment tel que la moitié à peu
près du papier soit déroulée au
moment où le tramway passait
devant la maison.

Le spot lumineux était ainsi
constamment, indépendamment du
passage du tramway, de vibra-
tions de courte période, dues au
passage de véhicules à proximi-
té, et d'oscillations d'amplitude
et de période beaucoup plus grande,
et très voisine de la période pro-
pre de l'appareil, c.à.d. environs
1/2 seconde; ces oscillations étaient
dûes sans doute à l'agitation
microsismique de nature spéciale
qu'enregistre l'appareil de 19
tonnes de la station, et qui
provient de la marche des ma-
chines installées microsismiques qui
se trouvent en grand nombre
à Strasbourg; il semble qu'elles
soient le résultat de l'inter-
férence de ce mouvement micro-
sismique avec le mouvement
propre de l'appareil, car, comme
le montre la reproduction n° 1,
elles ont
~~l'~~ l'aspect de battements.



L'amplitude de ces oscillations était d'autant plus grande que l'appareil était installé à un étage plus élevé, et elles arrivaient à produire des déplacements du spot lumineux supérieurs à la largeur de la bande de papier, de sorte que le nombre de grossissements qui pouvaient être employés était d'autant plus restreint que l'expérience se faisait à un étage plus élevé.

Son suite de la superposition de ce mouvement à la vibration à étudier, il fallait prendre certaines précautions en déterminant la période et l'amplitude de l'oscillation d'amplitude maximum. La méthode employée était la suivante: Chercher deux maxima



A et B tels que la somme de leurs distances à un autre maximum C situé du côté opposé soit maximum, tracer par les points A, B et C des perpendiculaires

à la direction de déplacement du papier, et relier A et B. La période était alors la distance B C entre les parallèles passant par A et B, l'amplitude la moitié de la distance entre le point C et le point d'intersection de la droite passant par C avec la droite AB.

Résultats des expériences.

Les tableaux suivants donnent les résultats des expériences. $V_1, V_2, V_{3/4}$ signifient les grossissements, a l'amplitude maximum, T_1 la période de l'oscillation d'amplitude maximum, T_2 la période moyenne du mouvement au voisinage de cette oscillation, f_1 l'oscillation correspondant à T_1 , f_2 l'oscillation correspondant à

Les amplitudes sont exprimées en microns, les périodes en secondes, les accélérations en centimètres-secondes par seconde. La mise en œuvre a été calculée d'après les valeurs obtenues au sous-sol, N_1 est la mise en œuvre correspondant à x_1 , N_2 elle correspondant à x_2 .

Composante verticale

		Sous-sol	Rég'-de chemin	1 ^{er} étage	2 ^e étage	3 ^e étage
V_1	V_1	120	73	69	70	68
	α	35,6	44,8	54,2	71,4	98,0
	T_1	0,02	0,02	0,02	0,08	0,1
	T_2	$\frac{1}{67}$	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{11}$
	x_1	350,0	146,1	522,5	44,0	38,6
	x_2	628,5	268,5	412,4	31,5	46,7
	N_1	1246				
	N_2	2237				
V_2	V_2	171	107	102	114	109
	α	35,0	56,0	49,9	108,3	137,6
	T_1	0,015	0,02	0,02	0,08	0,09
	T_2	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{11}$
	x_1	613,0	551,6	980,0	64,8	66,9
	x_2	496,8	524,8	946,0	70,1	65,6
	N_1	2145				
	N_2	1238				
V_3	V_3	265	208	200	193	
	α	34,4	90,3	50,0	98,4	
	T_1	0,02	0,03	0,04	0,07	
	T_2	$\frac{1}{52}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{43}$	$\frac{1}{13}$	
	x_1	337,5	617,8	184,4	79,1	
	x_2	365,0	398,4	545,4	65,5	
	N_1	1161				
	N_2	1255				
V_4	V_4	525				
	α	38,0				
	T_1	0,05				
	T_2	$\frac{1}{44}$				
	x_1	60,0				
	x_2	288,7				
	N_1	228				
	N_2	1094				

Composante horizontale

		Gros-sol	Riz-de-chaussée	1 ^{er} étage	2 ^e étage	3 ^e étage
V ₁	V ₁	1505	1610	1575	1602	1412
	a	2,0	1,2	4,0	5,6	6,0
	T ₁	0,04	0,03	0,04	0,04	0,06
	T ₂	1/25	1/33	1/26	1/25	1/24
	J ₁	4,8	5,4	12,5	13,1	6,5
	J ₂	4,8	4,9	10,7	15,9	13,6
	N ₁	0,96				
	N ₂	0,96				
V ₂	V ₂	1591	2520	2600	2200	2660
	a	2,2	1,5	4,0	5,0	6,8
	T ₁	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05
	T ₂	1/24	1/23	1/26	1/26	1/25
	J ₁	5,4	13,2	12,5	12,3	10,7
	J ₂	2,2	2,7	10,7	13,3	16,7
	N ₁	1,19				
	N ₂	1,58				
V ₃	V ₃	4500				
	a	2,4				
	T ₁	0,04				
	T ₂	1/26				
	J ₁	6,9				
	J ₂	2,4				
	N ₁	1,66				
	N ₂	2,78				

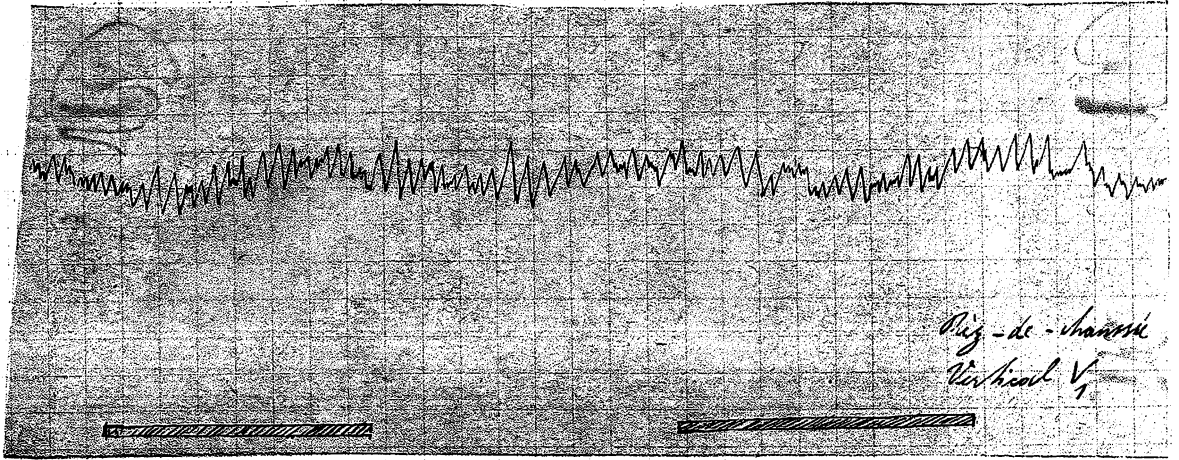
La période propre de l'appareil variait entre 0^s,54 et 0^s,58

Variation des différents éléments de la vibration suivant l'étage où l'expérience est faite.

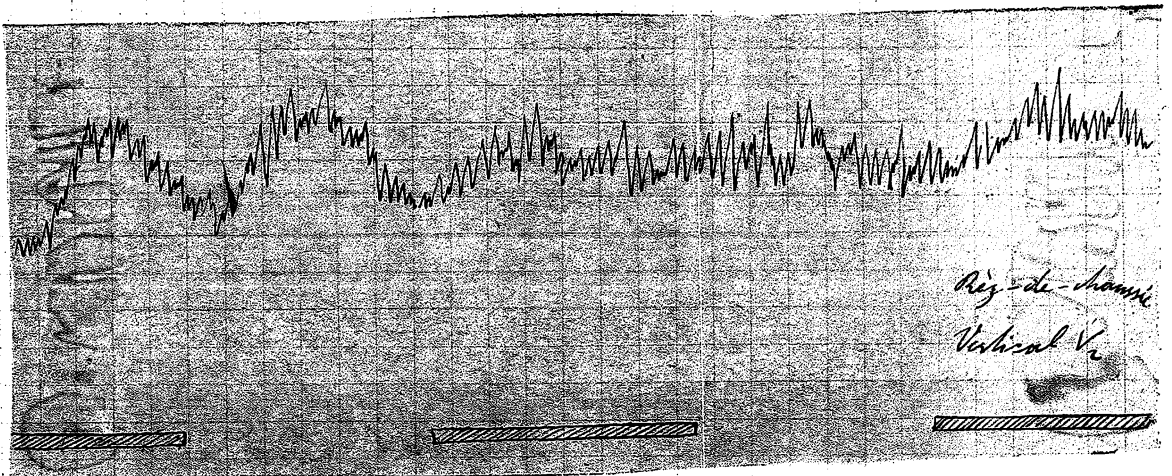
Composante verticale - L'amplitude augmente beaucoup à mesure que l'expérience se fait à un étage plus élevé, et d'autant plus rapidement qu'on approche du troisième étage. L'augmentation est assez régulière, sauf des valeurs anormales au premier étage avec le 2^e grandissement et au riz-de-chaussée avec le 3^e, cela peut s'expliquer par le fait qu'il y a eu pendant l'expérience des vibrations ayant une amplitude du même ordre de grandeur que celles produites par le tramway et dues à une autre cause, sans doute un véritable accord passant dans le voisinage; les reproductions N° 2-7 montrent que les graphiques

correspondants présentent un aspect différent des autres.

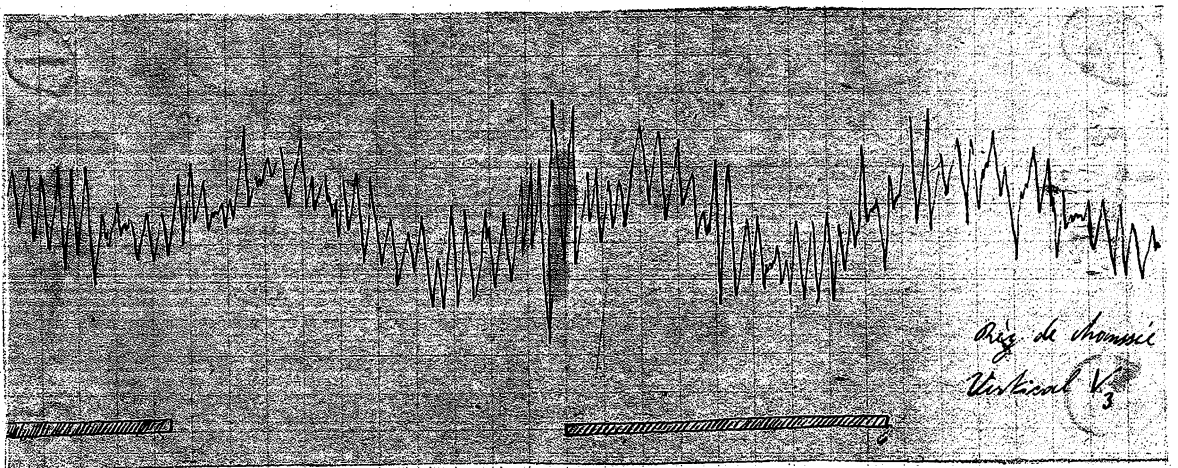
N°2



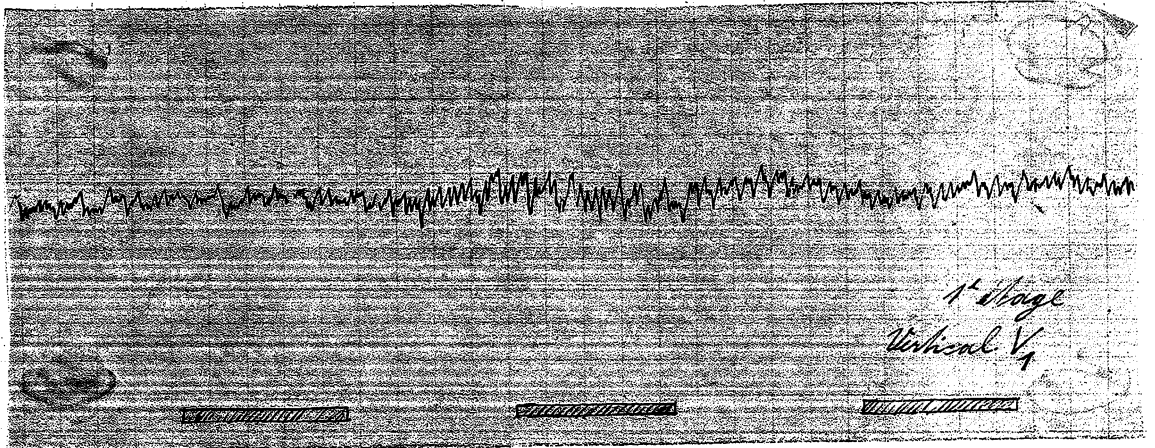
N°3

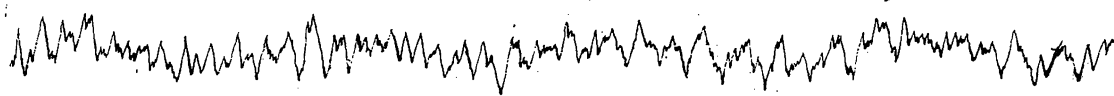


N°4



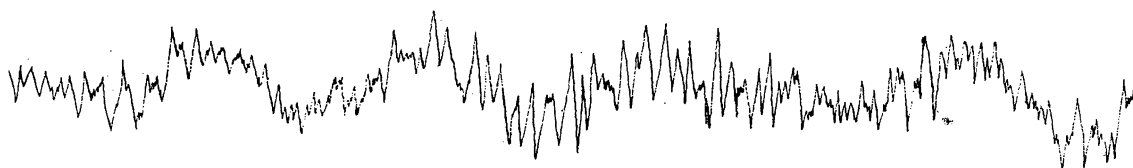
N°5





1^{er} étage
Vertical V_2

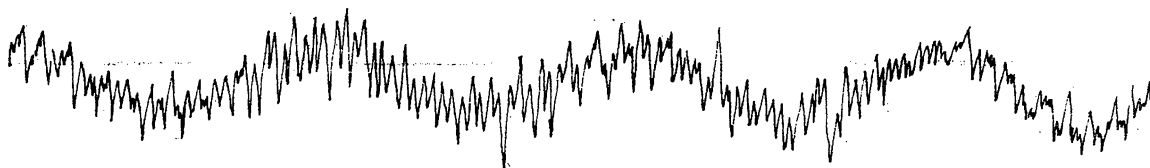
N°6



1^{er} étage
Vertical V_3

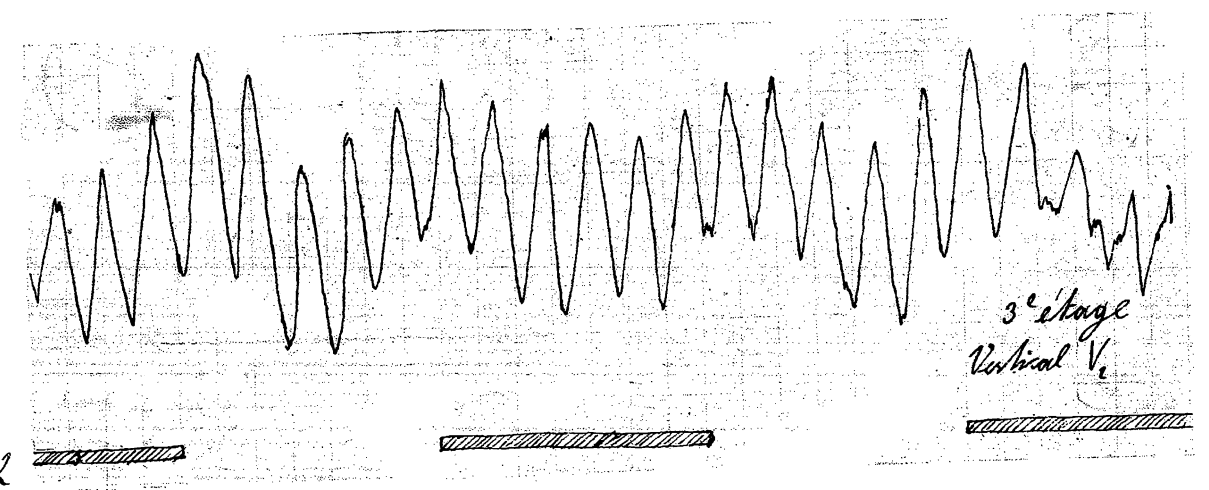
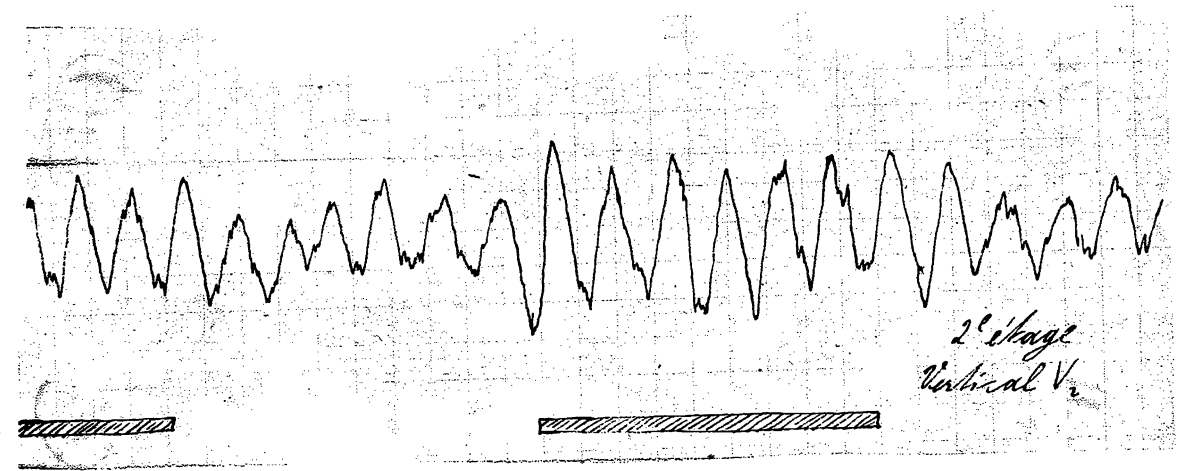
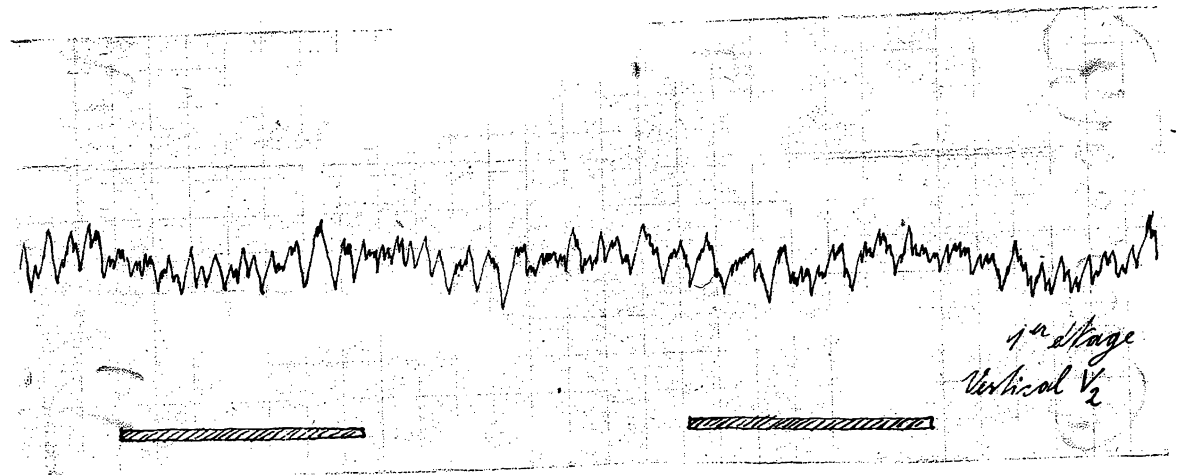
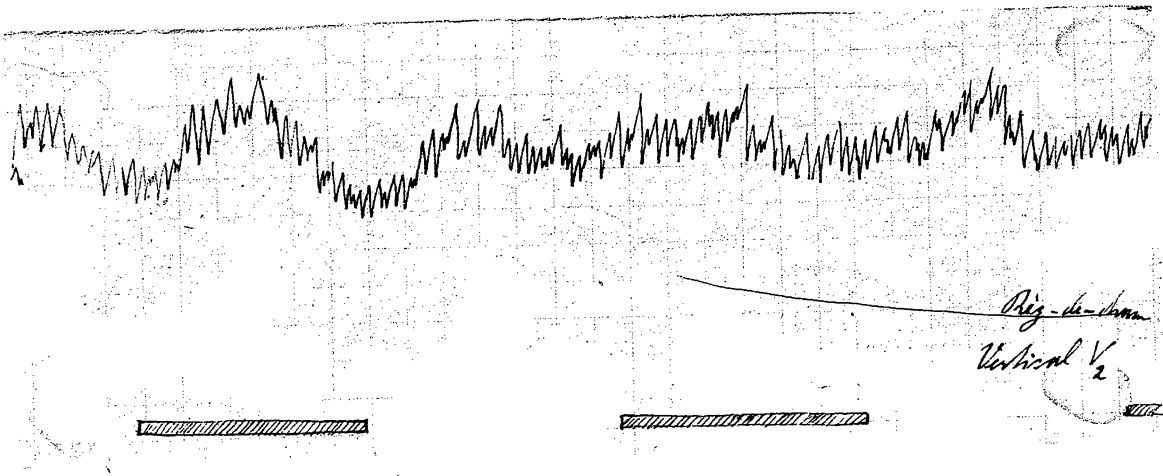
N°7

La période semble augmenter légèrement du sous-sol. au premier étage. Mais au 2^e et 3^e étage elle est considérablement plus grande et l'aspect des courbes est nettement différent, comme on le voit sur les reproductions N°8-12. Cela peut s'expliquer par l'interférence entre les vibrations dues au tramway et le mouvement de certaines parties du bâtiment qui oscillent avec leur période propre.



Sous-sol
Vertical V_2

N°8

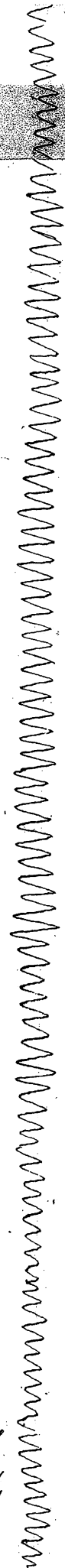
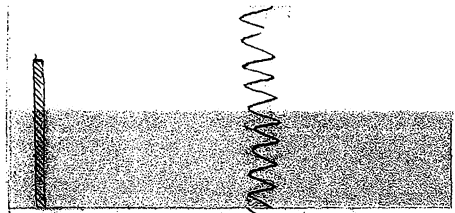


L'accélération, dépendant surtout de la période, présente des variations de sens inverse, et en particulier est beaucoup plus petite au 2^e et 3^e étage qu'aux autres.

Composante horizontale - La période et surtout l'amplitude présentent nettement une diminution du sous-sol au rez-de-chaussée, un minimum à cet étage et puis de nouveau une augmentation jusqu'au troisième étage. Les variations de l'accélération sont irrégulières.

Différences entre les vibrations horizontales et les vibrations verticales

La différence la plus frappante, que montrent les reproductions N^{os} 13, 14, est la grande régularité des vibrations horizontales à côté de l'irrégularité des verticales autant pour la période que pour l'amplitude. On remarque ensuite que l'amplitude des vibrations verticales est considérablement plus grande que celle des vibrations horizontales. Il s'ensuit q par suite est plus grande pour les vibrations horizontales, c'est-à-dire dans le cas ~~de~~ pour la période T_1 , laquelle, par suite de l'irrégularité des vibrations verticales, est plutôt à envisager que la période T_2 . De ces différences entre période et amplitude il s'ensuit que les vibrations verticales ont également une accélération et par suite une nuisance beaucoup plus grande que les vibrations horizontales.



Low-sol
Horizontal V_y

Nº 14



Low-sol
Vertical V_y

Nº 13

Expériences sur le moteur de l'Institut de Chimie

Le moteur se trouvait dans une des pièces du sous-sol de l'Institut de Chimie. et son arbre était accouplé une dynamo qui servait à charger des accumulateurs. Le moteur était installé sur un bloc de béton indépendant de la maçonnerie du bâtiment, la dynamo sur le sol de la pièce.

Les appareils ont été installés dans la même pièce, à environ 3 mètres de la dynamo dans une direction perpendiculaire à son axe.

Les expériences ont été les suivantes:

1° Une inscription en mettant l'appareil enregistreur en marche au moment de la mise en marche du moteur et en l'arrêtant quand celui-ci a atteint sa vitesse normale

2° Une inscription de quelques secondes quand le moteur tournait depuis quelques minutes à vide, i.e. si les accumulateurs n'étaient pas en circuit.

3° Une inscription φ de quelques secondes quand le moteur était en marche depuis une heure et demie avec les accumulateurs en circuit.

4° Une inscription en mettant l'appareil enregistreur en marche au moment où on coupait le circuit du moteur et en le laissant marcher jusqu'à ce que le moteur soit arrêté.

Résultats

Les vibrations horizontales ont une amplitude trop faible pour être enregistrées par l'appareil. Seules les vibra-

lignes verticales apparaissent sur le graphique. Le grandissement le plus faible a pu être seul employé, parce qu'avec les autres les pointes des leviers optiques se déplaçaient pendant l'expérience sur les crans des colonnettes.

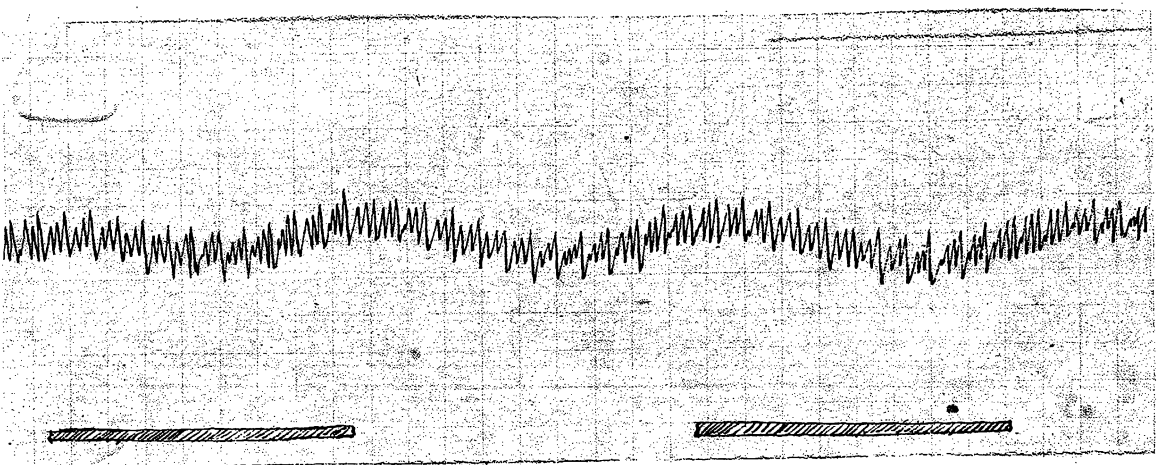
Les résultats numériques ont été les suivants:

$V = 123$	a	T_1	T_2	f_1	f_2	N_1	N_2
1 ^{re} expérience	24,4	0,01	$\frac{1}{88}$	963,3	441,8	2350	1078
2 ^{re} expérience	24,4	0,01	$\frac{1}{76}$	963,3	556,3	2350	1358
3 ^{re} expérience	16,2	0,01	$\frac{1}{100}$	639,6	639,6	1036	1036
4 ^{re} expérience	32,5	0,01	$\frac{1}{25}$	1283,1	722,5	4170	2348

Aspects des différentes inscriptions

La période de mise en marche se présente sous forme de vibrations irrégulières dont l'amplitude augmente ~~peu~~ progressivement,

L'inscription de la troisième expérience, dont une partie est reproduite ci-dessous, a un aspect régulier. L'am-



plitude présente des variations périodiques, chaque période comprend trois vibrations quelquefois quatre. Il y a 26 périodes par seconde, ce qui correspond au nombre de tours que fait le moteur.

Cela indique qu'il donne à chaque tour une série de secousses toujours les mêmes.

Le graphique de la quatrième expérience présente un moment où on coupe le circuit une brusque augmentation d'amplitude; en même temps les vibrations deviennent irrégulières. Puis, après environ ~~une~~ deux secondes, elles deviennent sinusoïdales, et leur amplitude diminue progressivement jusqu'à l'arrêt du moteur.