
VISEUR STROBOSCOPIQUE. — HORLOGE A PÉRIODE VARIABLE;

PAR M. MARCEL BRILLOUIN.

I. — Au cours de l'étude que j'ai entreprise sur les chronomètres pour les adapter aux mesures de gravitation, j'ai combiné divers moyens de déterminer l'amplitude d'oscillation du balancier. J'ai fait usage, en particulier, d'un dispositif stroboscopique, qui peut donner toute la précision désirable, si l'on est assuré que l'amplitude ne subit aucune variation de courte période. « Pour viser le balancier, on emploie une lunette terrestre, à oculaire quadruple, de très petite dimension, mais de champ considérable, qui m'a été fournie par M. Pellin. Entre le premier et le second verre de l'oculaire (à partir de l'objectif), on place un petit diaphragme, au point conjugué de la pupille à travers les trois derniers verres de l'oculaire, de manière à conserver tout le champ de l'instrument ; le premier verre de l'oculaire est fixe, et la mise au point se fait en tirant ou en enfonçant l'objectif. Pour la stroboscopie, une vanne mobile, percée d'un très petit trou, se déplace brusquement dans un plan très voisin du diaphragme, et ne laisse arriver jusqu'à l'œil l'image du balancier que pendant un temps très court⁽¹⁾ .

(1) Ce dispositif pourrait être adapté avantageusement aux diapasons stroboscopiques ; il donne à la fois le champ et la netteté.

La vanne doit avoir une période à peu près commensurable avec celle du balancier, et sensiblement double, si l'on veut n'avoir à suivre qu'une image. Pratiquement, les balanciers de chronomètres marins font une oscillation complète en une demi-seconde; il faut donc que les interruptions de lumière se produisent toutes les demi-secondes et que la période complète de la vanne soit d'une seconde. Les éclats sont alors assez distincts, l'image unique se déplace progressivement, et l'observation se fait sans fatigue. Dans de premiers essais, utilisant un mouvement d'horlogerie du commerce à trois oscillations par seconde, qui me donnait trois éclats, la multiplicité des éclats, le sautilllement de l'image d'un éclat au suivant, rendaient l'observation presque impossible.

II. — Voulant avoir un viseur stroboscopique portatif, qu'on puisse tenir à la main, comme une lorgnette, j'ai cherché un mouvement d'horlogerie avec balancier spiral et échappement à ancre, comme dans les bonnes montres. Je n'ai pas trouvé, dans l'horlogerie de moyenne précision, de mouvements assez robustes pour mes essais, et j'ai dû me contenter d'un de ces mouvements de réveil américain qu'on trouve partout au prix de 5 francs et dont la fabrication, presque exclusivement mécanique, n'est, d'ailleurs, nullement à dédaigner. Dans ces réveils, la fourche qui entre en prise avec le balancier est équilibrée par une assez forte masse de laiton, située vers l'extérieur du cadran. Cette pièce a été presque entièrement coupée, et, sur la partie conservée, on a rivé une lame large et mince d'aluminium, qui se projette bien en dehors du cadran, jusqu'à plus de 15 millimètres. C'est dans cette lame qu'a été percé le trou de 1 millimètre de rayon qui découvre le diaphragme de la lunette à chaque demi-oscillation. On a, d'ailleurs, remplacé les pivots de l'ancre par des pointes, ce qui a permis de bien équilibrer la vanne additionnelle.

Malheureusement, le balancier, d'ailleurs monté sur pivot et assez bien équilibré, est réglé dans ce réveil pour trois oscillations simples par seconde environ, ce qui rendait l'observation à peu près impossible. Il fallait donc modifier le balancier de manière à ramener à deux oscillations simple par seconde, deux éclats seulement. Comme c'est là une transformation qui peut être fréquemment utile et économique dans un laboratoire, ou dans un observatoire, j'ai examiné de quelle manière il convient de la faire : par changement du moment d'inertie seul du couple moteur seul, ou des deux à la fois.

III. — Pour que le fonctionnement du mécanisme d'horlogerie reste régulier, plusieurs conditions sont nécessaires :

1° Il y a généralement une nécessité géométrique à conserver l'amplitude du balancier A ;

2° Cette conservation doit être assurée au moyen du même poids, ou du même ressort moteur qui fournit une quantité d'énergie déterminée Q à chaque impulsion.

3° Comme les pointes ou les pivots du balancier sont huilés, comme l'amortissement propre du spiral est faible, on peut admettre que le frottement résistant est proportionnel à la vitesse, qu'il ne dépend pas de la masse du balancier, ni même du ressort spiral, pourvu que celui-ci soit convenablement choisi.

Cela posé, l'équation du mouvement du balancier, tant qu'il est libre, est :

$$K\theta'' + F\theta' + C\theta = 0,$$

dont l'intégrale est :

$$\theta = Ae^{-\alpha t} \sin \beta t,$$

en posant :

$$\alpha = \frac{F}{2K}, \quad \beta = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{C}{K} - \alpha^2}.$$

En une demi-oscillation, depuis un premier passage par une position d'équilibre ($\theta = 0$, $t = 0$) jusqu'au passage suivant ($\theta = 0$, $t = \frac{T}{2}$), la force vive perdue que le mécanisme moteur doit restituer est :

$$E = \frac{1}{2} K A^2 \beta^2 e^{-\frac{\alpha T}{2}} = 2\pi^2 A^2 \cdot \frac{K}{T^2} \cdot e^{-\frac{F}{4} \frac{T}{K}}$$

Dans le changement qu'on fait subir au balancier, pour passer de la période T à la période T', on doit conserver F, A et E ou $\frac{K}{T^2} e^{-\frac{F}{4} \frac{T}{K}}$.

On doit donc choisir le nouveau moment d'inertie par l'équation :

$$\frac{K'}{T'^2} e^{-\frac{F}{4} \frac{T'}{K'}} = \frac{K}{T^2} e^{-\frac{F}{4} \frac{T}{K}}$$

et on choisira ensuite le couple C' de manière à réaliser la période T'.

En fait, l'amortissement est toujours extrêmement faible, et les

exponentielles peuvent être réduites à leurs premiers termes, ce qui donne :

$$\frac{K'}{K} = \frac{T'^2}{T^2} \left(1 + \frac{\alpha T}{2} \frac{T - T'}{T'} + \dots \right),$$

en conservant α en évidence et négligeant $\alpha^2 T^2$. Puis, au même degré d'approximation :

$$\frac{C'}{C} = 1 + \frac{\alpha T}{2} \frac{T - T'}{T'}.$$

Le changement du couple moteur, même pour un changement considérable de la période, reste très petit. Les procédés ordinaires de réglage définitif, par la raquette ou par le déplacement de la masse du balancier, sont suffisants. Il ne faut faire subir à cette partie de l'appareil aucune transformation essentielle.

Le changement doit être obtenu presque complètement en changeant le moment d'inertie au moyen de masses dont le centre de gravité est exactement sur l'axe de rotation du balancier ⁽¹⁾. Il est inutile de déterminer avec précision le coefficient d'amortissement α ; il suffit de s'assurer qu'il est assez petit pour permettre l'emploi de la formule approchée.

Exemple. — Dans le réveil américain à transformer, $T = 0^s,6$ environ.

Détermination grossière de α . — On a sensiblement :

$$\log \text{ nép. } \frac{1}{2} = -0,7, \quad \text{et :} \quad \log \text{ nép. } \frac{1}{3} = -1,1.$$

Démontons l'ancre, faisons osciller librement le balancier, et comptons le nombre d'oscillations n nécessaire pour réduire l'amplitude à moitié.

Il vient :

$$\alpha = \frac{0,7}{nT}.$$

Ce nombre est d'environ soixante-quinze oscillations :

$$\alpha = 0,077, \quad \frac{\alpha T}{2} = 0,023.$$

⁽¹⁾ Le procédé employé dans les métronomes Maëtzel change à la fois le moment d'inertie et le couple moteur. Ce procédé est mauvais.

Évaluons le changement de couple :

$$\frac{C'}{C} = 1 + \frac{\alpha T}{2} \frac{T - T'}{T'} = \begin{matrix} T' & 1'' & 2'' & 6'' & 12'' \\ 0,991 & 0,984 & 0,979 & 0,978 \end{matrix}$$

On voit combien ce changement est faible, même pour un changement énorme de la période.

Pratiquement, il suffira de prendre $\frac{K'}{K} = \frac{T'^2}{T^2}$.

Je détache le balancier, je le pèse (3^{sr},75) et, admettant que le moment d'inertie est le même que si les 2/3 de la masse environ étaient à la circonférence, je fais souder un anneau de plomb de poids convenable (4 grammes) autour de la jante du balancier. Quelques essais permettent rapidement de l'équilibrer en coupant des petits morceaux avec un canif.

Le balancier remis en place, le recouvrement s'effectue régulièrement, avec l'amplitude initiale, et persiste jusqu'à complet déroulement du ressort moteur.