

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 5 (1923)

Artikel: Détermination rapide de la marche d'une montre
Autor: Jaquerod, Adrien
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-741366>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Détermination rapide de la marche d'une montre

PAR

Adrien JAQUEROD

On appelle marche d'une montre la différence qui se produit, en 24 heures, entre ses indications et celles d'une horloge réglée sur le temps moyen. Cette marche se détermine, dans les observatoires et les ateliers de réglage, en comparant la montre, une fois par jour en général, et toujours à la même heure, à un régulateur de précision, dont la marche est contrôlée, directement ou indirectement, par des observations astronomiques.

La précision des observations ne peut guère, semble-t-il, dépasser le dixième de seconde, abstraction faite, peut-être, des chronomètres de marine; l'expérience montre en effet, que deux déterminations successives peuvent différer de ce dixième. L'observation faite une fois par 24 heures fournit donc la marche avec une approximation de 0,1 sec, soit près de 1 millionième.

Il est possible d'atteindre la même précision en un temps beaucoup moindre, une heure par exemple, en utilisant une nouvelle méthode d'observation que j'emploie depuis une année environ, et qui m'a permis d'obtenir des résultats rapides dans l'étude de certaines questions: influence de la pression sur la marche des montres; variation de la marche avec la détente du ressort moteur etc. Cette méthode est la suivante:

Au lieu d'observer les aiguilles, comme on le fait ordinairement, retournons la montre et observons le balancier, soit à l'œil nu, soit mieux à l'aide d'un microscope de faible grossissement ou d'un viseur, de façon à voir dans le champ le balancier entier. Si l'éclairage, fourni par une lampe électrique, est conve-

nable, on remarquera immédiatement que les vis fixées à la serge, jettent un éclair toutes les demi-oscillations, c'est-à-dire tous les cinquièmes de seconde pour une montre ordinaire. Cet éclair correspond à l'instant où le balancier est à l'extrémité de sa course, où sa vitesse, par conséquent, passe par zéro.

Utilisons maintenant, au lieu de l'éclairage continu, une source lumineuse intermittente, qui ne brille qu'un instant très court, toutes les secondes. Si cette lueur surprend le balancier à l'extrémité de sa course, au repos par conséquent, les têtes de vis présenteront le trait brillant vu tout à l'heure; si au contraire le balancier est en mouvement au moment où se produit l'éclat lumineux, on ne verra que des lueurs floues, à condition toutefois que l'éclat jeté par la source ne soit pas instantané (étincelle électrique). Dans le premier cas, nous dirons qu'il y a *coïncidence*.

Supposons maintenant que la marche de la montre soit exactement la même que celle du régulateur qui commande la source intermittente, et qu'au début de l'observation il y ait coïncidence, cette coïncidence se reproduira indéfiniment: chaque seconde, nous verrons l'éclair, brillant et net, jeté par les vis du balancier. Si, par contre, au début de l'observation, la coïncidence ne se produit pas, elle ne se produira jamais.

Admettons au contraire que la montre avance ou retarde par rapport au régulateur; il se produira alors des alternances, et les coïncidences se suivront à intervalles réguliers, d'autant plus rapprochés que la différence des marches est plus grande.

L'intervalle de temps qui s'écoule entre deux coïncidences successives est facile à déterminer; appelons le $\mathfrak{C}$; il permet de calculer immédiatement la marche. Nous supposons le régulateur parfaitement réglé, et exprimons tout en secondes. Admettons que la montre *avance*. En un jour, au lieu de 86 400 secondes, elle en aura battu $86\,400 + \frac{86\,400}{\mathfrak{C}} \cdot \frac{1}{5}$ secondes. Sa marche sera donc une avance de

$$m = \frac{86\,400}{5\mathfrak{C}} = \frac{17\,280}{\mathfrak{C}} \text{ sec.} \quad (1)$$

Si la montre retarde, le calcul fournira le même résultat; l'observation ne donne que la valeur absolue de la marche, et

pour fixer son signe il sera nécessaire de faire une comparaison grossière par la méthode ordinaire. Cette comparaison sera d'ailleurs rapide puisque, pour être applicable commodément, la nouvelle méthode exige une différence de marche de plusieurs minutes entre la montre et le régulateur.

Nous avons dit que ce procédé est d'une grande précision, et permet, en une heure environ, de déterminer une marche à 0,1 à 0,2 sec près, soit 20 fois plus rapidement que la méthode ordinaire. En effet, en dérivant l'expression (1) on obtient:

$$dm = \frac{17\,280}{\mathfrak{T}^2} d\mathfrak{T}$$

(nous ne tenons pas compte du signe — puisqu'il ne s'agit que de valeurs absolues). Admettons que l'intervalle de temps compris entre deux coïncidences, $\mathfrak{T}$, soit de 60 sec. et connu à 0,02 sec. près; l'erreur dm sur la marche sera

$$dm = \frac{17\,280}{(60)^2} \cdot 0,02 = 0,1 \text{ environ.}$$

C'est justement la précision maximum que l'on peut attendre, par une observation portant sur 24 heures, de la méthode ordinaire; or quel est le temps nécessaire pour obtenir cette approximation sur $\mathfrak{T}$? Le grand nombre de déterminations que j'ai effectué me permet d'affirmer que, lorsque la source intermittente est bien réglée, l'instant d'une coïncidence se détermine à une seconde près; si $\mathfrak{T} = 60$ sec il faudra donc 50 observations pour le connaître à 0,02 sec près, soit une heure en chiffres ronds.

Voici maintenant quelques détails concernant la mise en œuvre du procédé:

La montre est posée à plat et ouverte, cadran en bas, sur une table; à 30 cm au-dessus se trouve un miroir à 45 degrés qui permet de l'observer commodément avec un viseur horizontal; on règle le viseur de façon que le balancier entier, avec ses vis, soit largement visible, et que, l'œil à la lunette, on puisse facilement atteindre la montre pour en régler la position. L'éclairage est fourni par une très petite ampoule électrique,

de lanterne de poche, à 4 volts, fixée sur un pied léger au moyen d'un bras, de façon à pouvoir être placée dans n'importe quelle position, au-dessus de la montre, à 5 cm environ. On s'arrange pour que l'éclair lumineux donné par les têtes de vis soit bien brillant; pour cela, une incidence oblique, à 45° environ, est convenable. Cet éclair ne sera visible que sur une ou deux vis à la fois, ce qui est parfaitement suffisant.

L'éclairage intermittent est commandé par un régulateur dont la marche doit être très bonne; il actionne un relais, par l'intermédiaire d'un contact électrique, et ce relais ferme chaque seconde le circuit de la lampe; comme le courant ne passe que durant une petite fraction de seconde, on peut avantageusement survolter la lampe, et la faire fonctionner sous 7-8 volts, les éclairs sont plus brillants et leur maximum beaucoup plus net. Le point délicat est le réglage des contacts électriques, qui doivent être très brefs, et très réguliers.

Je n'ai trouvé décrit nulle part le contact, adapté au régulateur, dont je me suis servi, alors même qu'il soit employé ailleurs; j'en dirai donc quelques mots, étant donné le grand avantage qu'il possède sur d'autres dispositifs. Je l'ai vu fonctionner il y a quelques années dans les ateliers de M. Paul Ditisheim, à la Chaux-de-Fonds, et me suis borné à en perfectionner le réglage.

Le pendule de l'horloge est muni, à son extrémité inférieure, d'une roulette très légère, dont le plan de rotation coïncide avec le plan d'oscillation du pendule; cette roulette est constituée par un balancier de montre ordinaire, non coupé et sans vis, tournant entre deux rubis. Au moment du passage par la position d'équilibre, cette roulette appuie légèrement sur l'extrémité d'une lame d'acier horizontale, de 10 cm environ de longueur et très mince, qui forme ressort, et abaisse cette lame, ce qui rompt un contact électrique et fait fonctionner le relais. Grâce à la roulette, le frottement est très faible, et l'effet amortisseur produit sur le pendule l'est également. De plus la très petite impulsion donnée au pendule se produisant au passage par la position d'équilibre, ne modifie pas sa période. Le ressort et le contact électrique sont portés par un équipement mobile, monté sur des coulisses, qui possède deux mouvements

micrométriques, l'un horizontal, l'autre vertical. Le premier permet de placer le contact au passage du pendule par la verticale; l'autre de régler la durée de ce contact. On obtient un bon résultat lorsque la lame d'acier est abaissée à chaque passage de 8 à 9 centièmes de millimètre. Le contact électrique se produit entre or et platine.

Avec ce dispositif, adapté à une bonne horloge astronomique, il est possible d'obtenir une marche qui ne varie pas de plus de 4 à 5 centièmes de seconde par jour, ce qui est amplement suffisant.

Pour terminer disons que l'observation des coïncidences est facilitée si l'on peut, durant la mise au point, passer à volonté de l'éclairage continu (4 volts) à l'éclairage discontinu (8 volts); cela est facile à organiser au moyen d'un commutateur.

Cette méthode rapide pour déterminer la marche présente de nombreux avantages; citons-en quelques-uns.

On pourrait, évidemment, et cela a été proposé tout récemment, employer une méthode acoustique de coïncidences, et comparer les battements de deux montres, dont l'une serait réglée aussi exactement que possible. Mais la comparaison acoustique est plus délicate que la comparaison optique indiquée ci-dessus; de plus, la marche d'une montre si bonne soit-elle, ne vaudra jamais celle d'une horloge astronomique. Le meilleur mouvement de montre présente des variations accidentelles de marche, dont la raison d'être n'est pas nettement élucidée; ces variations sont beaucoup moindres chez un régulateur.

La nouvelle méthode permet de déterminer, pour ainsi dire, la marche *instantanée* d'une montre, — tout au moins la marche moyenne sur une heure; tandis que la méthode ordinaire ne donne que la moyenne sur 24 heures. Or la constance de la marche prend de jour en jour une importance plus grande. Une montre peut avoir une marche moyenne nulle, c'est-à-dire que son indication peut coïncider, chaque jour, à la même heure, avec celle d'une horloge astronomique, sans être bonne pour autant, puisqu'il peut y avoir compensation, et, par exemple, avance la nuit et retard le jour; le fait est fréquent et bien connu.

On peut, en observant les coïncidences, suivre la marche pour ainsi dire heure par heure. A titre d'exemple, je donne les résultats fournis par deux chronomètres de bord de la maison « les Longines » aimablement mis à ma disposition pour diverses recherches; le premier est construit pour marcher 48 heures, le second 36 heures. Tous deux étaient réglés de façon à avancer en moyenne de 10 min. par jour, de sorte que les coïncidences se produisaient toutes les 29 à 30 secondes, ce qui est commode:

1 ^{er} chronomètre			2 ^{me} chronomètre		
Temps en heures écoulé depuis le remontage	Marche diurne (avance)		Temps en heures écoulé depuis le remontage	Marche diurne (avance)	
1	10 m	2,9 sec	1	10 m	0,6 sec
7½		2,9	2		0,1
25		4,4	4		0,0
30		5,0	6		0,0
32		5,4	8	9 m	59,95
48	18,0		16		59,9
			24		59,9
			25	10 m	0,15
			26		0,0
			28		0,0
			30	9 m	59,8

Le premier manifeste une tendance à accélérer sa marche au fur et à mesure de la détente du ressort moteur; vers la fin, l'avance est considérable. Il est vrai que l'amplitude des oscillations était alors devenue très petite, la montre battant tout juste assez pour ne pas s'arrêter. Le second chronomètre, au contraire, possède une marche remarquablement constante.

La rapidité des déterminations permet d'effectuer en un jour, c'est-à-dire sans être obligé de remonter la montre, et par conséquent sans la toucher, toute une série d'observations. Or tout déplacement entraîne fatalement, si soigneux soit-on, des perturbations. J'ai pu, par exemple, obtenir en un jour l'allure complète de la courbe thermique, c'est-à-dire l'influence de la température sur la marche d'une montre; il s'agit d'un mouvement de fabrication courante. Voici les résultats *moyens*; en réalité une douzaine d'observations ont été faites.

Température	Marche (avance)
2° ₀	9 m 57.5
17° ₀	10 4.5
30°	10 5.1
53°	10 2.6

L'allure parabolique est très nette, montrant l'erreur secondaire.

De même, l'influence de la pression atmosphérique sur la marche peut être étudiée de façon particulièrement commode. La montre est placée dans un récipient, fermé par une glace épaisse, où l'on peut faire varier la pression entre 10 mm de mercure et 2 atmosphères. En une journée, 6 à 8 pressions peuvent être appliquées, avec retour à la pression normale, et sans toucher la montre. L'ancienne méthode exigeait plusieurs semaines, en comptant deux à trois jours pour chaque pression, de façon à pouvoir prendre des moyennes. Je me réserve de publier prochainement une étude complète sur cette question, et ne fais, pour l'instant, que donner à titre d'exemple, les résultats fournis par une série de mesures effectuées sur le chronomètre des Longines cité plus haut dont la marche, à pression constante, est particulièrement régulière:

Pression	Marche (avance)
30 mm	10 m 5,0 sec
381	10 1,55
729	9 58,6
1045	9 56,95
1461	9 54,1
730	9 59,3

Enfin la méthode rapide pourra, très facilement, être appliquée au réglage, et en accélérer beaucoup les opérations. Rien de plus simple, en effet, que d'installer des appareils, en nombre quelconque, tous commandés par la même horloge, et permettant d'observer les coïncidences données par une montre placée dans n'importe quelle position, et à n'importe quelle température.

A cet égard, une objection vient tout d'abord à l'esprit : il faut, pour observer les coïncidences, que la montre retarde ou avance de plusieurs minutes par jour. Or le réglage est précisément destiné à donner à la montre la marche la plus petite

possible. Mais rien de plus simple que de dérégler *l'horloge* servant à donner les signaux lumineux toutes les secondes. Le plus commode serait de s'arranger pour que, lorsque la montre marche correctement, il se produise une coïncidence toutes les minutes; que de plus, si la montre avance, les coïncidences se précipitent; qu'elles s'espacent au contraire dans le cas d'un retard. Pour que cette condition soit remplie, il faut un *retard* de l'horloge à contacts sur le temps moyen. De combien sera ce retard ? Appelons le x . Si $\mathfrak{T}$ est l'intervalle entre deux coïncidences d'une montre grossièrement réglée, c'est-à-dire dont la marche ne dépassera pas ± 4 minutes, cette marche sera donnée en temps moyen par l'expression

$$m = \frac{86\,400 - x}{5\mathfrak{T}} - x = \frac{86\,400}{5\mathfrak{T}} - x \left(1 + \frac{1}{5\mathfrak{T}}\right). \quad (2)$$

$\mathfrak{T}$ est ici mesuré, non pas en secondes de temps moyen, mais en secondes de *l'horloge à coïncidences* qui retarde d'une quantité indiquée plus bas.

Si nous voulons que la marche soit nulle (la montre exactement réglée) pour une valeur de $\mathfrak{T}$ de 60 secondes, nous ferons dans l'équation (2) $\mathfrak{T} = 60$, $m = 0$. On en tire

$$x = \frac{86\,400}{301} = 287,043 \text{ sec.}$$

Il faudra donc que le régulateur retarde de $4^{\text{m}}47^{\text{s}},04$ sur le temps moyen. Pour régler sa marche, il suffira de comparer ses oscillations à celles d'une pendule ordinaire, bien réglée; les battements des deux balanciers présenteront des coïncidences se produisant toutes les 301 sec soit toutes les 5 min 1 sec.

La marche d'une montre, comparée à l'horloge ainsi réglée, sera fournie par l'équation (2) dans laquelle x sera remplacé par 287.04. On trouve les valeurs suivantes de m en fonction de $\mathfrak{T}$:

$\mathcal{T}$ observé	Marche de la montre
57 sec.	avance 15,11 sec
58 »	» 9,90 »
59 »	» 4,86 »
60 »	» 0
61 »	retard 4,70 »
62 »	» 9,26 »
63 »	» 13,67 »
	etc.

Comme nous l'avons vu plus haut, il suffira de déterminer $\mathcal{T}$ à 0,02 sec. près, en observant un nombre suffisant de coïncidences, pour connaître la marche à 0,1 sec. par jour. Si l'écart de marche est un peu fort, on en sera immédiatement averti. Ainsi une avance de 15 sec. par jour, par exemple, donnera des coïncidences toutes les 57 sec. au lieu de toutes les 60 sec.; deux minutes suffiront pour constater l'avance, sinon pour la déterminer avec précision.

Neuchâtel, laboratoire de physique de l'Université.

Août 1923.