

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel  
**Herausgeber:** Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel  
**Band:** 17 (1888-1889)

**Artikel:** Influence de la pression de l'air sur la marche des chronomètres  
**Autor:** Hilfiker, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-88266>

### **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:** 02.02.2025

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

# INFLUENCE DE LA PRESSION DE L'AIR

SUR LA

## MARCHE DES CHRONOMÈTRES

PAR LE D<sup>r</sup> J. HILFIKER

Dans son mémoire classique : *Recherches sur le mouvement et la compensation des chronomètres*<sup>1</sup>, Yvon Villarceau a proposé de représenter la marche des chronomètres à l'aide du théorème de Taylor. Si nous désignons par  $t$  l'époque moyenne d'une série de marches diurnes observées, par  $\theta$  la température moyenne, par  $h$  la hauteur moyenne du baromètre, et par  $t'$ ,  $\theta'$  et  $h'$  les quantités qui correspondent aux marches individuelles observées, nous aurons d'après ce théorème de Taylor :

$$\begin{aligned} 1) \quad y' = & y + \frac{dy}{dt} (t' - t) + \frac{dy}{d\theta} (\theta' - \theta) + \frac{dy}{dh} (h' - h) \\ & + \frac{d^2y}{dt^2} \frac{(t' - t)^2}{1.2} + \frac{d^2y}{d\theta^2} \frac{(\theta' - \theta)^2}{1.2} + \frac{d^2y}{dh^2} \frac{(h' - h)^2}{1.2} \\ & + \frac{d^2y}{dt d\theta} \frac{(t' - t)}{1} \frac{(\theta' - \theta)}{1} + \frac{d^2y}{dh dt} \frac{(h' - h)}{1} \frac{(t' - t)}{1} \\ & + \frac{d^2y}{dh d\theta} \frac{(h' - h)}{1} \frac{(\theta' - \theta)}{1} \\ & + \dots \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Annales de l'Observatoire de Paris, mémoires in-4°, tome VII. Paris, 1863.

où  $y$  représente la marche qui correspond à l'époque  $t$ , à la température moyenne  $\theta$  et à la pression barométrique moyenne  $h$ .

On sait que les huiles s'épaississent avec le temps et que le frottement des pivots augmente jusqu'à une certaine limite. Dans les chronomètres neufs, on constate souvent des variations dans l'état moléculaire des spiraux et toutes ces causes réunies ont pour effet d'accélérer la marche des chronomètres. Dans notre formule 1)  $\frac{dy}{dt} (t' - t)$  et  $\frac{d^2y}{dt^2} \frac{(t' - t)^2}{2}$  expriment cette variation de la marche qui est une simple fonction du temps.

$\frac{dy}{d\theta} \frac{(\theta' - \theta)}{1}$  et  $\frac{d^2y}{dt^2} \frac{(\theta' - \theta)}{1.2}$  sont les variations qui dépendent de la température, et le terme :

$\frac{d^2y}{dt d\theta} (t' - t) (\theta' - \theta)$  s'explique par le fait que la température influe aussi sur les couches d'huile, qui se modifient avec le temps.

La troisième cause de perturbation pour la marche d'un chronomètre, qui entre dans notre formule, consiste dans l'influence des variations barométriques, laquelle, comme nous le verrons tout à l'heure, n'est pas négligeable ainsi qu'on l'a généralement supposé jusqu'à présent, et qui devient fort sensible pour des observations faites à des altitudes très différentes. Cette influence est représentée par les termes :

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dh} (h' - h) + \frac{d^2y}{dh^2} \frac{(h' - h)^2}{2} + \frac{d^2y}{dh dt} (h' - h) (t' - t) \\ + \frac{d^2y}{dh d\theta} (h' - h) (\theta' - \theta) \end{aligned}$$

Un quatrième élément de perturbation a été signalé récemment par M. C.-F.-W. Peters, et consiste dans l'influence de l'humidité de l'air sur la marche des chronomètres<sup>1</sup>. M. Peters a constaté que, parmi les chronomètres qu'il a observés à l'Observatoire de Kiel, le plus grand nombre ont changé la marche dans le sens du retard, après avoir été transportés à bord des bâtiments, et il indique que, dans vingt-quatre cas où cette variation de la marche diurne a dépassé deux secondes, on a observé pour vingt-deux pièces un changement dans le sens positif (retard) et seulement deux fois une variation dans le sens contraire. Quelquefois la variation de la marche diurne a dépassé huit secondes et, pour une des pièces observées, on a pu constater une différence de treize secondes dans le sens du retard entre la marche observée à l'Observatoire et celle constatée à bord d'un navire. M. Peters a d'abord cherché à expliquer par différentes causes ce phénomène surprenant; ainsi il a examiné l'influence que pourrait exercer le mouvement du vaisseau sur la marche du chronomètre, mais il a constaté bientôt que ce changement de la marche a lieu aussi dans le cas où le bâtiment se trouve au repos complet. Il n'y avait pas moyen non plus d'expliquer cette variation ou par le transport des chronomètres à bord des vaisseaux, ou par le magnétisme des vaisseaux, des expériences particulières ayant démontré d'une manière définitive que ces influences n'étaient nullement en cause. M. Peters arriva enfin à supposer que le retard de la marche à bord du vaisseau s'expliquerait peut-être

<sup>1</sup> Voir : *Vierteljahrschrift der astron. Ges.*, vol. XXII (1887), pages 284-292.

par l'influence de l'humidité de l'air, et il résulte d'une longue série d'observations de ce genre, que cette supposition est bien fondée, la variation de la marche diurne étant comprise dans la limite de  $\frac{1}{25}$  de seconde à  $\frac{1}{4}$  de seconde pour 1 0/0 du degré de saturation de l'air.

Les résultats de M. Peters ont été confirmés par des essais qu'on a faits récemment dans ce domaine à l'Observatoire maritime de Hambourg<sup>1</sup>, en sorte que nous devons introduire dans notre formule les termes qui dépendent de l'état de la saturation  $s$  de l'air. Ces termes sont les suivants :

$$\begin{aligned} \frac{dy}{ds} (s' - s) + \frac{d^2y}{ds^2} \frac{(s' - s)^2}{2} + \frac{d^2y}{ds dt} (s' - s) (t' - t) \\ + \frac{d^2y}{ds d\theta} (s' - s) (\theta' - \theta) + \frac{d^2y}{ds dh} (s' - s) (h' - h) \end{aligned}$$

Or, comme l'humidité de l'air influe surtout sur le spiral, qui présente une surface très considérable, il en résulte pour la technique l'introduction dans les chronomètres d'une fermeture hermétique, afin d'empêcher que l'air humide ne puisse pénétrer dans l'intérieur de la pièce; ce procédé constituerait en même temps le moyen le plus rationnel pour éviter l'influence des variations de la pression de l'air sur la marche des chronomètres.

Dans l'étude dont j'ai l'honneur de vous communiquer aujourd'hui les résultats obtenus jusqu'à présent,

<sup>1</sup> Voir : Bericht über die im Lichthofe der deutschen Seewarte vom 26. Januar bis 4. Juni 1888 ausgeführten Untersuchungen zur Ermittlung des Verhaltens von Marinechronometern bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden der atmosphärischen Luft. *Annalen der Hydrographie u. maritimen Meteorologie*, Heft III, 1889.

je me suis proposé de déterminer l'influence barométrique sur la marche des chronomètres. En m'appuyant sur le théorème de Taylor, j'ai commencé par la discussion d'une série de marches diurnes, observées pendant deux mois sur un excellent chronomètre de marine, avec mouvement auxiliaire électrique, de M. Paul-D. Nardin, au Locle. Cette pièce, que je désignerai par  $N_1$ , possède un échappement à ressort et un spiral cylindrique en palladium. En me contentant du terme linéaire en  $(h' - h)$ , j'ai trouvé comme coefficient barométrique :

$$p = \frac{dy}{dh} = - 0^s,0068$$

C'est donc la variation de la marche diurne qui correspond à une augmentation de la pression barométrique de  $1^{\text{mm}}$ . J'ai tenu à me procurer un contrôle rigoureux pour ce résultat, qui diffère sensiblement de ceux qu'on a obtenus pour les pendules normales de plusieurs observatoires astronomiques. En effet, on a trouvé pour les pendules :

|   |                 |
|---|-----------------|
| Hipp, de notre Observatoire . . . . .     | $p = + 0,012^s$ |
| Winnerl » . . . . .                       | + 0,010         |
| Pendule normale de Pulkowa . . . . .      | + 0,013         |
| » de Leyde . . . . .                      | + 0,015         |
| » de Berlin . . . . .                     | + 0,015         |
| » de Washburn Observ-<br>vatory . . . . . | + 0,012         |
| » de Zurich . . . . .                     | + 0,015         |

On voit que ces résultats s'accordent assez bien entre eux et que la moyenne est de  $+ 0^s,013$ .

Dans l'intervalle de temps, du 20 septembre jusqu'à la fin d'octobre 1888, j'ai pu exposer ce chronomètre

à une série d'expériences manométriques, qui se trouvent indiquées dans le tableau I. On voit tout d'abord qu'après les épreuves barométriques la marche n'est pas revenue à la marche normale à 1<sup>s</sup> près; en effet, on trouve pour les trois essais une différence de marche avant et après l'épreuve barométrique :

1. + 1,27<sup>s</sup>
2. + 1,09
3. + 0,89

Il est donc rationnel de combiner pour chaque essai la marche « sous cloche » avec la moyenne des deux marches qui la précèdent, et on trouve ainsi la variation pour 1<sup>mm</sup> de pression barométrique :

1. — 0,0045<sup>s</sup>
2. — 0,0050
3. — 0,0048

$$\text{Moyenne} \quad - 0,0048 \pm 0,0002^s$$

Avec ce même chronomètre j'ai fait des essais sur l'isochronisme des oscillations suivant le développement du grand ressort, et le résultat a été des plus satisfaisants. En effet, on a constaté une marche diurne de :

- 2<sup>s</sup>,30 p<sup>r</sup> le développ<sup>t</sup> du ressort de 0<sup>h</sup> à 24<sup>h</sup>, et de  
— 2<sup>s</sup>,27           »                   »           de 24<sup>h</sup> à 48<sup>h</sup>,

en sorte que la variation suivant le développement du ressort est seulement de 0<sup>s</sup>,03.

M. Nardin a eu l'obligeance de mettre à ma disposition un autre chronomètre de marine sans mouvement auxiliaire électrique, que je veux désigner par N<sub>2</sub>. Ce chronomètre a, comme le précédent, un spiral

cylindrique en palladium de la même longueur, mais d'un diamètre un peu différent; l'échappement est à ressort et, pour l'un comme pour l'autre, le balancier est d'une construction absolument identique. Voici les résultats obtenus pour cette pièce  $N_2$  :

|                        |                    |                         |                   |
|------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 <sup>er</sup> essai, | $p = + 0^s,0162$ , | différ. de la pression, | 662 <sup>mm</sup> |
| 2 <sup>me</sup> »      | $p = + 0^s,0166$   | »                       | 623 <sup>mm</sup> |
| <hr/>                  |                    |                         |                   |
| Moyenne                | $p = + 0^s,0164$   |                         |                   |

C'est-à-dire qu'en augmentant la pression atmosphérique de 100<sup>mm</sup>, ce chronomètre retarde de 1<sup>s</sup>,6, ou qu'en le transportant de Neuchâtel au bord de la mer, sa marche diurne changera de  $\frac{6}{10}$  de seconde dans le sens du retard. Or, en supposant que la résistance de l'air soit proportionnelle au carré de la vitesse du balancier, on déduit, par des développements purement analytiques, que dans ce cas la résistance de l'air n'affecterait en rien la marche des chronomètres.

Mais les résultats obtenus pour les deux pièces  $N_1$  et  $N_2$  disent le contraire; d'après eux, l'influence de la résistance de l'air n'est nullement une quantité négligeable et elle varie dans des limites assez considérables, probablement suivant le mode de construction des organes principaux des chronomètres en question.

Pour trancher cette question, il était indispensable de continuer les essais sur d'autres pièces. C'est ce que j'ai fait avec quatre pièces appartenant à MM. Henri Grandjean & C<sup>ie</sup>, au Locle.

Le manomètre qui a servi à mes premiers essais est un manomètre fermé, de trois décimètres de longueur, en sorte que j'ai été obligé d'exposer les chronomètres à une forte dépression. J'ai voulu éviter



cet inconvénient pour écarter la possibilité d'introduire dans la marche des pièces une nouvelle source de perturbation qui pourrait peut-être provenir d'un dérangement ou d'une déformation des couches d'huile. Grâce à l'obligeance de M. le Dr Hirsch, qui a bien voulu mettre à ma disposition une nouvelle cloche ainsi que deux manomètres — un manomètre anéroïde et un manomètre ouvert à mercure, — j'ai pu disposer les épreuves d'une manière plus efficace. J'ai exposé les chronomètres à des dépressions différentes, variant entre 50<sup>mm</sup> et 250<sup>mm</sup>, en me procurant ainsi le moyen de contrôler en même temps la constance du coefficient barométrique pour les différentes pressions. Voici les résultats obtenus pour les quatre pièces, que je désignerai par G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> et G<sub>4</sub> :

|                |                  |                    |   |
|----------------|------------------|--------------------|---|
| G <sub>1</sub> | $p = + 0,0043$ ; | nombre des essais, | 4 |
| G <sub>2</sub> | $p = + 0,0170$ ; | »                  | 2 |
| G <sub>3</sub> | $p = + 0,0084$ ; | »                  | 5 |
| G <sub>4</sub> | $p = + 0,0067$ ; | »                  | 2 |

L'erreur moyenne de ces résultats est comprise dans la limite de  $\pm 0^s,0002$  et  $\pm 0^s,0005$ .

Comme on peut s'en convaincre par les tableaux III à VI, la marche des chronomètres est suffisamment bien revenue à la marche normale après les épreuves manométriques; en effet, on trouve comme différence de marche avant et après les essais barométriques :

|                       | G <sub>1</sub> | G <sub>2</sub> | G <sub>3</sub> | G <sub>4</sub> |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 <sup>er</sup> essai | $- 0,17$       | $+ 0,49$       | $+ 0,05$       | $- 0,26$       |
| 2 <sup>me</sup> »     | $- 0,36$       | $+ 0,44$       | $+ 0,03$       | $+ 0,09$       |
| 3 <sup>me</sup> »     | $+ 0,15$       |                | $- 0,19$       |                |
| 4 <sup>me</sup> »     | $- 0,02$       |                | $+ 0,33$       |                |

Quant à la constance du coefficient barométrique pour des pressions différentes, j'ai trouvé pour les pièces  $G_1$  et  $G_3$  :

1.  $G_1$

|  |                 |
|--|-----------------|
| Différence de la pression 74 <sup>mm</sup> ; | $p = +0,0033^s$ |
| 126  | + 0,0045        |
| 220  | + 0,0046        |
| 225  | + 0,0044        |

Moyenne  $p = +0,0042^s \pm 0,0003^s$

2.  $G_3$

|  |                 |
|--|-----------------|
| Différence de la pression 69 <sup>mm</sup> ; | $p = +0,0086^s$ |
| 127  | + 0,0095        |
| 172  | + 0,0078        |
| 209  | + 0,0072        |
| 231  | + 0,0093        |

Moyenne  $p = +0,0086^s \pm 0,0004^s$

c'est-à-dire que ce coefficient peut être envisagé comme une constante.

Pour les six chronomètres de marine qui ont servi aux épreuves manométriques, les valeurs de la variation, pour 1<sup>mm</sup> de pression atmosphérique, sont comprises entre les extrêmes :

$$-0^s,0048 \quad \text{et} \quad +0^s,0170.$$

C'est là un résultat d'une certaine importance, car le fait que le coefficient barométrique change de signe pour la pièce  $N_1$  semble indiquer qu'on peut arriver à une compensation parfaite en choisissant convenablement les dimensions des organes principaux du chronomètre. Nous avons vu que pour la pièce  $N_1$  la régularité de la marche est indépendante

du développement du ressort; j'ai tenu à contrôler cet élément pour toutes les pièces et j'ai obtenu les résultats qui suivent :

| Marche diurne pour le développement du ressort de              | N <sub>1</sub>       | N <sub>2</sub>       | G <sub>1</sub>       | G <sub>2</sub>       | G <sub>3</sub>       | G <sub>4</sub>       |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0h à 24h . . . .   | - 2 <sup>s</sup> ,30 | + 0 <sup>s</sup> ,95 | - 1 <sup>s</sup> ,17 | - 3 <sup>s</sup> ,43 | + 2 <sup>s</sup> ,17 | - 2 <sup>s</sup> ,89 |
| 24h à 48h . . . .  | - 2 <sup>s</sup> ,27 | - 0 <sup>s</sup> ,48 | - 1 <sup>s</sup> ,20 | - 3 <sup>s</sup> ,19 | + 2 <sup>s</sup> ,22 | - 3 <sup>s</sup> ,35 |
| Différence   | + 0 <sup>s</sup> ,03 | - 1 <sup>s</sup> ,43 | - 0 <sup>s</sup> ,03 | + 0 <sup>s</sup> ,24 | + 0 <sup>s</sup> ,05 | - 0 <sup>s</sup> ,46 |
| Variation moyenne diurne observée pendant 2 mois               | ± 0 <sup>s</sup> ,12 | ± 0 <sup>s</sup> ,20 | ± 0 <sup>s</sup> ,10 | ± 0 <sup>s</sup> ,16 | ± 0 <sup>s</sup> ,11 | ± 0 <sup>s</sup> ,12 |
| Valeur maxima de la variat. diurne observée pendant 2 mois . . | 0 <sup>s</sup> ,39   | 0 <sup>s</sup> ,84   | 0 <sup>s</sup> ,31   | 0 <sup>s</sup> ,52   | 0 <sup>s</sup> ,30   | 0 <sup>s</sup> ,33   |

Il en résulte que pour les pièces N<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> et G<sub>3</sub> le développement du ressort est resté sans influence trop sensible sur l'isochronisme des oscillations. Pour G<sub>4</sub> la différence est un peu trop forte, tandis que pour N<sub>2</sub> l'influence du développement du ressort dépasse la limite admissible. Aussi dois-je ajouter que le fabricant a fait corriger ce défaut.

Grâce à l'obligeance de MM. Paul Perret, à la Chaux-de-Fonds, et Ed. Barbezat, à Neuchâtel, j'ai pu étendre les épreuves manométriques à une demi-douzaine de chronomètres de poche. Chaque pièce a été soumise à deux essais, et les résultats ainsi obtenus s'accordent entre eux dans la limite de 1 à 2 millièmes de seconde. Voici les résultats obtenus (voir tableau VII) :

| Nom                    | N <sup>o</sup>      | Echappement | Spiral   | <i>p</i>              |
|------------------------|---------------------|-------------|----------|-----------------------|
| Paul Perret, Ch.-de-F. | 2209                | ancres      | plat Ph. | + 0 <sup>s</sup> ,016 |
| id.                    | 2205                | »           | »        | + 0 <sup>s</sup> ,014 |
| id.                    | 2199                | »           | »        | + 0 <sup>s</sup> ,022 |
| id.                    | 2216                | »           | »        | + 0 <sup>s</sup> ,020 |
| id.                    | sans n <sup>o</sup> | bascule     | cyl. Ph. | + 0 <sup>s</sup> ,012 |
| E. Barbezat, Neuchâtel | »                   | ressort     | cyl.     | + 0 <sup>s</sup> ,013 |

On voit donc que pour les chronomètres de poche observés, le coefficient barométrique a varié dans une limite assez considérable et qu'en moyenne, et pour une différence d'altitude comme celle qui existe entre la Chaux-de-Fonds et Neuchâtel, la correction barométrique se rapproche d'une seconde.

Il est évident que la diminution de la résistance de l'air augmente sensiblement l'amplitude des oscillations du balancier; mais en se basant sur la condition qui se trouve réalisée par les courbes terminales des spiraux de M. Phillips, que le moment de la résistance élastique du spiral est proportionnel à l'angle dont le balancier est écarté de la position d'équilibre, on trouve que l'amplitude des oscillations du balancier ne figure pas dans l'expression de la durée d'une oscillation. En effet, si nous désignons le moment d'inertie du balancier par *I*, et par  $\alpha$  l'angle dont le balancier est écarté de la position d'équilibre, nous partons de l'équation différentielle :

$$I \frac{d^2\alpha}{dt^2} = - m\alpha$$

où *m* représente une constante, et en observant que pour l'amplitude extrême  $\alpha_0$ ,  $\frac{d\alpha}{dt} = 0$ , on trouve :

$$t = \pi \sqrt{\frac{I}{m}} \times \arcsin \frac{\alpha}{\alpha_0} + \text{constante}$$

et pour la durée totale :

$$T = \pi \sqrt{\frac{I}{m}}$$

D'après les recherches de M. Phillips, la constante  $m$  a pour valeur  $\frac{E}{L}$ , où  $E$  désigne le moment d'élasticité et  $L$  la longueur du spiral, et nous arrivons à la formule connue :

$$T = \pi \sqrt{\frac{LI}{E}}$$

La formule nous indique que, dans le cas où l'on est arrivé à un isochronisme parfait, l'influence barométrique ne peut dépendre que de la quantité  $E$ , qui sera modifiée par les variations de la pression atmosphérique. Mais, comme les régleurs préfèrent souvent donner à la marche un peu d'avance aux petites amplitudes, nous aurons probablement dans ce fait l'explication des phénomènes constatés.

---

I. N<sub>1</sub>. — Chronomètre de marine N° 5/5806, de M. Paul-D. Nardin,  
au Loole, avec mouvement auxiliaire électrique, échappement à  
ressort, spiral cylindrique en palladium.

*Variation pour 1° de température, + 0<sup>s</sup>,01.*

| Date                     | Press.<br>baromètre | Tempé-<br>rature | Marche<br>diurne<br>observée | Marche<br>réduite<br>à 12° | Variat.<br>diurne | Observa-<br>tions |
|--------------------------|---------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
| 1888                     | mm                  | °                | s                            | s                          | s                 |                   |
| Sept <sup>re</sup> 20-21 | 723                 | 15,5             | + 1,20                       | + 1,17                     | + 0,06            |                   |
| 21-22                    | 723                 | 15,4             | + 1,26                       | + 1,23                     |                   |                   |
| 22-23                    | 80                  | 17,2             | + 4,14                       | + 4,09                     |                   | sous cloche       |
| 23-24                    | 720                 | 15,8             | + 2,54                       | + 2,50                     | — 0,25            |                   |
| 24-25                    | 718                 | 16,2             | + 2,29                       | + 2,25                     | — 0,03            |                   |
| 25-26                    | 721                 | 16,2             | + 2,26                       | + 2,22                     | + 0,11            |                   |
| 26-27                    | 723                 | 16,2             | + 2,37                       | + 2,33                     | — 0,13            |                   |
| 27-28                    | 722                 | 16,1             | + 2,24                       | + 2,20                     | + 0,06            |                   |
| 28-29                    | 721                 | 15,9             | + 2,30                       | + 2,26                     | + 0,38            |                   |
| 29-30                    | 714                 | 15,7             | + 2,68                       | + 2,64                     | — 0,05            |                   |
| 30- 0                    | 713                 | 15,0             | + 2,62                       | + 2,59                     |                   |                   |
| Octre 1- 3               | 26                  | 15,7             | + 6,08                       | + 6,04                     |                   | sous cloche       |
| 3- 4                     | 713                 | 13,6             | + 3,70                       | + 3,68                     | + 0,01            |                   |
| 4- 5                     | 714                 | 12,6             | + 3,70                       | + 3,69                     | — 0,52            |                   |
| 5- 6                     | 716                 | 11,6             | + 3,17                       | + 3,17                     | + 0,17            |                   |
| 6- 7                     | 717                 | 11,0             | + 3,33                       | + 3,34                     | — 0,26            |                   |
| 7- 8                     | 717                 | 10,5             | + 3,06                       | + 3,08                     | — 0,03            |                   |
| 8- 9                     | 715                 | 9,6              | + 3,03                       | + 3,05                     | + 0,15            |                   |
| 9-10                     | 716                 | 9,1              | + 3,17                       | + 3,20                     | + 0,16            |                   |
| 10-11                    | 721                 | 9,0              | + 3,33                       | + 3,36                     | — 0,03            |                   |
| 11-12                    | 722                 | 9,1              | + 3,30                       | + 3,33                     | — 0,18            |                   |
| 12-13                    | 720                 | 8,5              | + 3,11                       | + 3,15                     | + 0,24            |                   |
| 13-14                    | 715                 | 8,6              | + 3,36                       | + 3,39                     | — 0,02            |                   |
| 14-15                    | 719                 | 8,2              | + 3,33                       | + 3,37                     | — 0,17            |                   |
| 15-16                    | 725                 | 8,5              | + 3,16                       | + 3,20                     | + 0,22            |                   |
| 16-17                    | 724                 | 8,6              | + 3,39                       | + 3,42                     | — 0,08            |                   |
| 17-18                    | 723                 | 9,0              | + 3,31                       | + 3,34                     | — 0,05            |                   |
| 18-19                    | 724                 | 9,0              | + 3,26                       | + 3,29                     | — 0,03            |                   |
| 19-20                    | 725                 | 8,8              | + 3,23                       | + 3,26                     | + 0,08            |                   |
| 20-21                    | 727                 | 8,8              | + 3,31                       | + 3,34                     | — 0,18            |                   |
| 21-22                    | 727                 | 8,9              | + 3,13                       | + 3,16                     | + 0,12            |                   |
| 22-23                    | 726                 | 9,4              | + 3,25                       | + 3,28                     |                   |                   |
| 23-24                    | 99                  | 12,4             | + 6,28                       | + 6,28                     |                   | sous cloche       |
| 24-25                    | 726                 | 9,6              | + 4,15                       | + 4,17                     | + 0,07            |                   |
| 25-26                    | 728                 | 9,8              | + 4,22                       | + 4,24                     | — 0,30            |                   |
| 26-27                    | 731                 | 10,0             | + 3,92                       | + 3,94                     |                   |                   |

**II. N<sub>2</sub>. — Chronomètre de marine N° 14/7107, de M. Paul-D. Nardin,  
au Loole. Echappement à ressort, spiral cylindrique en palladium.**

*Variation pour 1° de température, — 0<sup>s</sup>,03.*

| Date  | Press. barométr. | Température | Marche observée | Marche réduite à 9° | Observations                                    |
|-------|------------------|-------------|-----------------|---------------------|---|
| 1888  |                  |             |                 |                     |   |
| Octre | mm               | o           | s               | s                   |   |
| 15-16 | 725              | 8,5         | + 0,06          | + 0,04              |   |
| 16-17 | 724              | 8,6         | + 0,22          | + 0,21              |   |
| 17-18 | 723              | 9,0         | + 0,12          | + 0,12              |   |
| 18-19 | 62               | 11,1        | — 10,35         | — 10,29             | sous cloche                                     |
| 19-20 | 725              | 8,8         | + 0,74          | + 0,73              |   |
| 20-21 | 727              | 8,8         | — 0,11          | — 0,12              |   |
| 21-22 | 727              | 8,9         | + 0,01          | + 0,01              |   |
| 22-23 | 103              | 13,1        | — 9,47          | — 9,35              | sous cloche                                     |
| 23-24 | 726              | 9,8         | + 1,97          | + 1,99              |   |
| 24-25 | 726              | 9,6         | + 1,73          | + 1,75              |   |
| 25-26 | 728              | 9,8         | + 1,62          | + 1,64              |   |
| 26-27 | 731              | 10,0        | + 1,45          | + 1,48              |   |
| Novre |                  |             |                 |                     |   |
| 7- 8  | 716              | 9,2         | + 0,81          | + 0,82              |   |
| 8- 9  | 717              | 9,2         | + 0,92          | + 0,93              |   |
| 9-10  | 716              | 9,0         | — 0,46          | — 0,46              | le ressort se développe de 24 à 48 <sup>h</sup> |
| 10-11 | 720              | 8,6         | + 1,00          | + 0,99              |   |
| 11-12 | 720              | 8,6         | — 0,65          | — 0,66              | id.   |
| 12-13 | 716              | 9,8         | + 1,09          | + 1,11              |   |
| 13-14 | 715              | 10,0        | + 0,89          | + 0,92              |   |
| 14-15 | 725              | 10,0        | — 0,39          | — 0,36              | id.   |
| 15-16 | 730              | 10,4        | — 0,49          | — 0,45              | id.   |
| 16-17 | 728              | 10,8        | + 1,13          | + 1,18              |   |
| 17-18 | 727              | 11,0        | + 0,76          | + 0,84              |   |

Le 18, repris par le fabricant.

~~~~~

Octobre 15-27.

Moyenne de la press. atmosph. : 726<sup>mm</sup>; marche moy. : + 0<sup>s</sup>,78  
 » press. sous cloche : 82<sup>mm</sup>; » — 9<sup>s</sup>,82

$$p = + 0^s,0165$$

III. G<sub>1</sub>. — Chronomètre de marine N° 96. Echappement à ressort, spiral cylindrique à deux courbes Phillips.

Variation pour 1° de température, — 0<sup>s</sup>,05.

| Date                           | Press. barométr. | Température | Marche observée        | Marche réduite à 9°    | Observations                                                          |
|--------------------------------|------------------|-------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1888<br>Déc <sup>r</sup> 30-31 | mm<br>718        | °<br>9,8    | <sup>s</sup><br>— 1,30 | <sup>s</sup><br>— 1,26 | pas remonté à midi; le ressort se développe de 24 à 48 <sup>h</sup> . |
| 31- 0                          | 719              | 9,8         | — 1,22                 | — 1,18                 |                                                                       |
| 1889<br>Janvier 1- 2           | 720              | 8,7         | — 1,14                 | — 1,16                 | id.                                                                   |
| 2- 3                           | 728              | 7,6         | — 1,07                 | — 1,14                 |                                                                       |
| 3- 4                           | 730              | 7,8         | — 1,14                 | — 1,20                 |                                                                       |
| 4- 5                           | 726              | 7,8         | — 1,08                 | — 1,14                 |                                                                       |
| 5- 6                           | 725              | 8,5         | — 1,06                 | — 1,09                 | sous cloche                                                           |
| 6- 7                           | 504              | 11,8        | — 2,33                 | — 2,19                 |                                                                       |
| 7- 8                           | 722              | 6,8         | — 1,15                 | — 1,26                 | sous cloche                                                           |
| 8- 9                           | 493              | 10,7        | — 2,51                 | — 2,42                 |                                                                       |
| 9-10                           | 713              | 7,5         | — 1,54                 | — 1,62                 |                                                                       |
| 10-11                          | 711              | 7,6         | — 1,47                 | — 1,54                 |                                                                       |
| 11-12                          | 708              | 8,3         | — 1,37                 | — 1,41                 |                                                                       |
| 12-13                          | 708              | 8,4         | — 1,40                 | — 1,43                 |                                                                       |
| 13-14                          | 640              | 9,9         | — 1,69                 | — 1,64                 | sous cloche                                                           |
| 14-15                          | 719              | 7,6         | — 1,26                 | — 1,33                 | sous cloche                                                           |
| 15-16                          | 594              | 10,1        | — 1,91                 | — 1,86                 |                                                                       |
| 16-17                          | 722              | 6,9         | — 1,25                 | — 1,35                 |                                                                       |

Janvier 3-17.

Moyenne de la press. atmosph. : 718<sup>mm</sup>; marche moy. : — 1<sup>s</sup>,34

» press. sous cloche : 558<sup>mm</sup>; » — 2<sup>s</sup>,03

$$p = + 0^s,0043$$

En combinant les marches « sous cloche » avec les marches environnantes sous pression normale, on déduit de nouveau . . . . .

$$p = + 0^s,0043$$

$$\text{Moyenne . . . } p = + 0^s,0043$$



IV. G<sub>2</sub>. — Chronomètre de marine N° 110. Echappement à ressort, spiral cylindrique à deux courbes Phillips.

*Variation pour 1° de température, + 0<sup>s</sup>,06.*

| Date         | Press. barométr. | Température | Marche observée | Marche réduite à 9° | Observations                                                 |
|--------------|------------------|-------------|-----------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1889         | mm               | °           | s               | s                   |                                                              |
| Janvier 1- 2 | 720              | 8,7         | — 3,64          | — 3,62              |                                                              |
| 2- 3         | 728              | 7,6         | — 3,72          | — 3,64              |                                                              |
| 3- 4         | 730              | 7,8         | — 3,60          | — 3,53              |                                                              |
| 4- 5         | 529              | 13,2        | — 6,59          | — 6,84              | sous cloche                                                  |
| 5- 6         | 725              | 8,5         | — 3,07          | — 3,04              |                                                              |
| 6- 7         | 722              | 7,7         | — 3,30          | — 3,22              |                                                              |
| 7- 8         | 492              | 10,0        | — 6,69          | — 6,75              | sous cloche                                                  |
| 8- 9         | 719              | 7,5         | — 2,87          | — 2,78              |                                                              |
| 9-10         | 713              | 7,5         | — 3,20          | — 3,11              |                                                              |
| 10-11        | 711              | 7,6         | — 3,05          | — 2,97              |                                                              |
| 11-12        | 706              | 8,3         | — 3,29          | — 3,25              | pas remonté; le ressort se développe de 24 à 48 <sup>h</sup> |
| 12-13        | 708              | 8,4         | — 3,56          | — 3,52              |                                                              |
| 13-14        | 715              | 8,2         | — 3,39          | — 3,34              |                                                              |
| 14-15        | 719              | 7,6         | — 3,21          | — 3,13              | id.                                                          |

Le 15, on vient reprendre le chronomètre.

~~~~~

Janvier 1-11.

Moyenne de la press. atmosph. : 721<sup>mm</sup>; marche moy. : — 3<sup>s</sup>,24

» press. sous cloche : 510<sup>mm</sup>; » — 6<sup>s</sup>,80

$$p = + 0^s,0169$$

La combinaison de la marche « sous cloche »

avec les marches environnantes sous pres-

sion normale donne . . . . .  $p = + 0^s,0171$

Moyenne . . .  $p = + 0^s,0170$

V. G<sub>2</sub>. — Chronomètre de marine N° 111. Echappement à ressort, spiral cylindrique à deux courbes Phillips.

*Variation pour 1° de température, — 0<sup>s</sup>,03.*

| Date                    | Press. barométr. | Température | Marche observée | Marche diurne réduite à 9° | Observations   |
|-------------------------|------------------|-------------|-----------------|----------------------------|--|
| 1888                    |                  |             |                 |                            |  |
| Déc <sup>re</sup> 30-31 | 718              | 9,8         | + 1,96          | + 1,98                     |  |
| 31- 0                   | 488              | 11,6        | — 0,22          | — 0,14                     | sous cloche  |
| 1889                    |                  |             |                 |                            |  |
| Janvier 1- 2            | 720              | 8,7         | + 2,04          | + 2,03                     |  |
| 2- 3                    | 516              | 9,5         | + 0,51          | + 0,53                     | sous cloche  |
| 3- 4                    | 730              | 7,8         | + 2,10          | + 2,06                     |  |
| 4- 5                    | 726              | 7,8         | + 2,22          | + 2,18                     | pas remonté; le ressort se développe de 24 à 48 <sup>h</sup> |
| 5- 6                    | 725              | 8,5         | + 2,20          | + 2,18                     |  |
| 6- 7                    | 722              | 7,7         | + 2,32          | + 2,28                     |  |
| 7- 8                    | 722              | 6,8         | + 2,31          | + 2,24                     |  |
| 8- 9                    | 719              | 7,5         | + 2,30          | + 2,26                     | id.  |
| 9-10                    | 646              | 11,4        | + 1,50          | + 1,57                     | sous cloche  |
| 10-11                   | 711              | 7,6         | + 2,11          | + 2,07                     |  |
| 12-13                   | 586              | 11,3        | + 0,97          | + 1,04                     | sous cloche  |
| 13-14                   | 715              | 8,2         | + 2,42          | + 2,40                     |  |
| 14-15                   | 543              | 10,9        | + 0,99          | + 1,05                     | sous cloche  |

Le 15, le fabricant vient reprendre son chronomètre.

~~~~~  
Décembre 30-Janvier 15.

Moyenne de la press. atmosph. : 721<sup>mm</sup>; marche moy. : + 2<sup>s</sup>,17

» press. sous cloche : 556<sup>mm</sup>; » + 0<sup>s</sup>,81

$$p = + 0^s,0082$$

En combinant les marches « sous cloche » avec les marches environnantes sous pression normale et en prenant la moyenne simple, on trouve. . . . .

$$p = + 0^s,0085$$

$$\text{Moyenne . . . } p = + 0^s,0084$$

**VI. G<sub>4</sub>. — Chronomètre de marine N° 112. Echappement à ressort, spiral cylindrique à deux courbes Phillips.**

*Variation pour 1° de température, + 0<sup>s</sup>,03.*

| Date                            | Press. barométr. | Température | Marche observée        | Marche réduite à 9°    | Observations                                                 |
|---------------------------------|------------------|-------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1888<br>Déc <sup>re</sup> 31- 0 | mm<br>719        | °<br>9,8    | <sup>s</sup><br>— 2,84 | <sup>s</sup><br>— 2,86 |                                                              |
| 1889<br>Janvier 1- 2            | 720              | 8,7         | — 2,96                 | — 2,95                 |                                                              |
| 2- 3                            | 728              | 7,6         | — 3,03                 | — 2,99                 |                                                              |
| 3- 4                            | 545              | 13,3        | — 4,18                 | — 4,31                 | sous cloche                                                  |
| 4- 5                            | 727              | 7,9         | — 3,28                 | — 3,25                 |                                                              |
| 5- 6                            | 542              | 11,9        | — 4,26                 | — 4,35                 | sous cloche                                                  |
| 6- 7                            | 722              | 7,6         | — 3,20                 | — 3,16                 |                                                              |
| 7- 8                            | 722              | 6,8         | — 3,29                 | — 3,22                 |                                                              |
| 8- 9                            | 719              | 7,5         | — 3,67                 | — 3,62                 | pas remonté; le ressort se développe de 24 à 48 <sup>h</sup> |
| 9-10                            | 713              | 7,5         | — 2,91                 | — 2,86                 |                                                              |
| 10-11                           | 711              | 7,6         | — 2,83                 | — 2,79                 |                                                              |
| 11-12                           | 706              | 8,3         | — 3,12                 | — 3,10                 | id.                                                          |
| 12-13                           | 708              | 8,4         | — 2,83                 | — 2,81                 |                                                              |
| 13-14                           | 715              | 8,7         | — 2,79                 | — 2,78                 |                                                              |
| 14-15                           | 719              | 7,6         | — 3,38                 | — 3,34                 | id.                                                          |

Décembre 31-Janvier 8.

Moyenne de la press. atmosph. : 723<sup>mm</sup> ; marche moy. : — 3<sup>s</sup>,07

» press. sous cloche : 544<sup>mm</sup> ; » — 4<sup>s</sup>,33

$$p = + 0^s,0070$$

La combinaison de la marche « sous cloche »

avec les marches environnantes sous pres-

sion normale donne . . . . . 1. + 0<sup>s</sup>,0065

2. + 0<sup>s</sup>,0063 + 0<sup>s</sup>,0064

Moyenne . . . . .  $p = + 0^s,0067$

## VII.

## Chronomètres de poche de M. Paul Perret, à la Chaux-de-Fonds.

| Date                                                                                                                                                         | Pression<br>barométrique | Température | N° 2209<br>échappement à<br>ancres, spiral plat<br>Phillips |                   | N° 2205<br>échappement à<br>ancres, spiral plat<br>Phillips |                   | N° 2199<br>échappement à<br>ancres, spiral plat<br>Phillips |                   | N° 2216<br>échappement à<br>ancres, spiral plat<br>Phillips |                   | Sans N°<br>échappement à<br>bascule, spiral cyl.<br>à 2 courbes Ph. |                   | Observa-<br>tions |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                              |                          |             | Marche<br>diurne                                            | Variat.<br>diurne | Marche<br>diurne                                            | Variat.<br>diurne | Marche<br>diurne                                            | Variat.<br>diurne | Marche<br>diurne                                            | Variat.<br>diurne | Marche<br>diurne                                                    | Variat.<br>diurne |                   |
| 1888<br>Sept. 20-21                                                                                                                                          | mm<br>723                | 16,9        | 0,0                                                         | + 0,9             | 5,1                                                         | + 0,4             | 2,0                                                         | - 0,4             | 0,6                                                         | + 0,6             | 12,8                                                                | 0,0               |                   |
| 21-22                                                                                                                                                        | 724                      | 16,8        | + 0,9                                                       |                   | 4,7                                                         |                   | + 1,6                                                       |                   | + 1,2                                                       |                   | 12,8                                                                |                   |                   |
| 22-23                                                                                                                                                        | 80                       | 17,2        | - 8,7                                                       |                   | 13,0                                                        |                   | - 13,6                                                      |                   | 7,8                                                         |                   | 6,0                                                                 |                   |                   |
| 23-24                                                                                                                                                        | 721                      | 17,6        | + 0,8                                                       | + 0,4             | 3,4                                                         | - 0,1             | 2,5                                                         | + 0,1             | 3,8                                                         | - 0,1             | 15,0                                                                | + 2,1             |                   |
| 24-25                                                                                                                                                        | 718                      | 17,9        | + 1,2                                                       |                   | 3,5                                                         |                   | 2,4                                                         |                   | 3,7                                                         |                   | 17,1                                                                |                   |                   |
| 25-26                                                                                                                                                        | 47                       | 17,7        | - 10,4                                                      |                   | 13,3                                                        |                   | - 17,7                                                      |                   | 8,5                                                         |                   | 6,4                                                                 |                   |                   |
| 26-27                                                                                                                                                        | 35                       | 17,7        | - 10,5                                                      |                   | 12,7                                                        |                   | - 18,5                                                      |                   | 6,1                                                         |                   | 3,7                                                                 |                   |                   |
| 27-28                                                                                                                                                        | 722                      | 17,3        | + 1,2                                                       | 0,0               | 3,1                                                         | - 0,2             | 3,9                                                         | - 0,7             | 6,3                                                         | + 1,0             | 9,6                                                                 | + 2,0             |                   |
| 28-29                                                                                                                                                        | 721                      | 17,2        | + 1,2                                                       |                   | 3,3                                                         |                   | 4,6                                                         |                   | 7,3                                                         |                   | 11,6                                                                |                   |                   |
| Moyenne de la<br>pression atmosph.                                                                                                                           | 722                      |             | + 0,9                                                       |                   | 3,9                                                         |                   | - 1,6                                                       |                   | 7,6                                                         |                   | 13,2                                                                |                   |                   |
| Pression moyenne<br>sous cloche                                                                                                                              | 54                       |             | - 9,9                                                       |                   | 13,0                                                        |                   | - 16,6                                                      |                   | 7,5                                                         |                   | 5,4                                                                 |                   |                   |
| La comb. de la m. }<br>« sous cloche » avec }<br>les m. envir. donne }<br>1 <sup>er</sup> essai }<br>2 <sup>e</sup> » }<br>p = + 0,016<br>+ 0,016<br>+ 0,017 |                          |             | + 0,016                                                     |                   | 0,014                                                       |                   | + 0,022                                                     |                   | 0,023                                                       |                   | 0,012                                                               |                   |                   |
| Moyenne définitive                                                                                                                                           |                          |             | + 0,016                                                     |                   | 0,014                                                       |                   | + 0,022                                                     |                   | 0,020                                                       |                   | 0,012                                                               |                   |                   |

VIII. — Chronomètre de poche de M. Ed. Barbezat, à Neuchâtel.  
Echappement ressort à détente, spiral cylindrique.

| Date          | Pression<br>baro-<br>métrique | Tempé-<br>rature | Marche<br>diurne | Variat.<br>diurne | Observations |
|---------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------|
| 1888          | mm                            | °                | s                | s                 |              |
| Novembre 7- 8 | 716                           | 12,9             | + 3,8            | + 0,4             |              |
| 8- 9          | 717                           | 12,9             | + 4,2            | 0,0               |              |
| 9-10          | 716                           | 12,6             | + 4,2            |                   |              |
| 10-11         | 16                            | 12,3             | — 5,1            |                   | sous cloche  |
| 11-12         | 16                            | 13,4             | — 3,0            |                   | sous cloche  |
| 12-13         | 716                           | 14,2             | + 6,2            | — 1,5             |              |
| 13-14         | 715                           | 13,8             | + 4,7            | + 1,1             |              |
| 14-15         | 725                           | 13,7             | + 5,8            |                   |              |

Moyenne de la press. atmosph. : 718<sup>mm</sup> ; marche moy. : + 4<sup>s</sup>,8  
» press. sous cloche : 16<sup>mm</sup> ; » — 4<sup>s</sup>,1

$$p = + 0^s,013$$

