

Titre : Congrès international de chronométrie tenu à Paris du 7 au 12 septembre 1889. Procès verbaux sommaires

Auteur : Exposition universelle. 1889. Paris

Mots-clés : Exposition universelle (1889 ; Paris) ; Temps\*Mesure\*Congrès

Description : 1 vol. (27 p.) ; 24 cm

Adresse : Paris : Imprimerie nationale, 1889

Cote de l'exemplaire : CNAM 8 Xae 330-17

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE330.17>

11-17

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE  
ET DES COLONIES.

8° 222 330-17

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'EXPLOITATION.

CONGRÈS INTERNATIONAL  
DE CHRONOMÉTRIE,

TENU À PARIS DU 7 AU 12 SEPTEMBRE 1889.

PROCÈS-VERBAUX SOMMAIRES.



PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCG LXXXIX.



MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE  
ET DES COLONIES.

8° Xae 330-17

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'EXPLOITATION.

CONGRÈS INTERNATIONAL  
DE CHRONOMÉTRIE,

TENU À PARIS DU 7 AU 12 SEPTEMBRE 1889.

PROCÈS-VERBAUX SOMMAIRES.



PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXIX.



## COMITÉ D'ORGANISATION.

---

### PRÉSIDENT.

M. FAUQUE DE JONQUIÈRES (le vice-amiral DE), membre de l'Institut.

### VICE-PRÉSIDENT.

M. PHILLIPS, membre de l'Institut.

### SECRÉTAIRE.

M. CASPARI, ingénieur hydrographe de la marine.

### TRÉSORIER.

M. RODANET, directeur de l'École d'horlogerie de Paris.

### MEMBRES DU COMITÉ.

#### MM.

BASSOT (le lieutenant-colonel), du service géographique.

BENOIT, président du syndicat des horlogers de Besançon.

BOUILLET, ingénieur hydrographe de la marine.

BRUNNER, artiste, membre du Bureau des longitudes.

CORNU, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes.

FÉNON, horloger de l'Observatoire de Paris.

GRUEY, directeur de l'Observatoire de Besançon.

MAGNAC (DE), capitaine de vaisseau.

MOUCHEZ (le contre-amiral), de l'Institut, directeur de l'Observatoire de Paris.

ROZÉ, professeur à l'École municipale de physique et chimie industrielles.

ROLLET DE L'ISLE, ingénieur hydrographe de la marine.

WOLF, membre de l'Institut.



### ASSOCIÉS ÉTRANGERS

#### DU COMITÉ D'ORGANISATION.

---

#### MM.

AVILA (le major A. J. D'), pair du royaume de Portugal, délégué à l'Association géodésique internationale, à Lisbonne.

BEUF, directeur de l'Observatoire de Buenos-Ayres.

CAPITANEANO (le colonel), à Jassy (Moldavie).

**MM.**

- CHRISTIE**, directeur de l'Observatoire de Greenwich.  
**CRULS**, directeur de l'Observatoire de Rio-Janeiro.  
**ELLERY**, directeur de l'Observatoire de Melbourne.  
**FOLIE**, directeur de l'Observatoire de Bruxelles.  
**GAUTIER** (le colonel), directeur de l'Observatoire de Genève.  
**GYLDÉN**, directeur de l'Observatoire de Stockholm.  
**HIRN**, correspondant de l'Académie des sciences, à Colmar.  
**IBANEZ**, marquis DE MULHACEN (le général), président de l'Association géodésique internationale, à Madrid.  
**KAISER** (le docteur), vérificateur des instruments nautiques de la marine néerlandaise, à Leyde.  
**KALMAR** (A. von), capitaine de vaisseau de la marine impériale-royale d'Autriche, à Vienne.  
**MAC LEOD**, directeur de l'Observatoire de Montréal.  
**NEWCOMB**, directeur du Nautical-Almanac Office, à Washington.  
**PUJAZON**, directeur de l'Observatoire de San-Fernando.  
**RÜMKER**, directeur de l'Observatoire de Hambourg.  
**SANDE BAKHUYZEN** (VAN DE), directeur de l'Observatoire de Leyde.  
**STRUVE** (O.), directeur de l'Observatoire de Poulkova.  
**TEFFÉ** (le baron DE), contre-amiral de la marine du Brésil, correspondant de l'Académie des sciences.  
**THIBLE** (le professeur), directeur de l'Observatoire de Copenhague.

# CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHRONOMÉTRIE,

TENU À PARIS DU 7 AU 12 SEPTEMBRE 1889.

## PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES.

Première séance. — 7 septembre 1889.

La session du Congrès de chronométrie a commencé le 7 septembre, à 9 heures et demie du matin, à l'Observatoire de Paris.

M. PHILLIPS, vice-président de la commission d'organisation, ouvre la séance en donnant lecture d'une lettre par laquelle M. le vice-amiral de Jonquières, président de cette commission, s'excuse de ne pouvoir assister aux séances du Congrès, et prie M. Phillips de le remplacer et d'exprimer tous ses regrets à l'Assemblée.

M. le président PHILLIPS prononce ensuite une allocution dans laquelle il souhaite la bienvenue aux membres du Congrès. Après avoir rappelé le programme tracé par la commission d'organisation et donné un aperçu des communications annoncées et des rapports préparés, il indique rapidement les progrès réalisés dans ces derniers temps par la chronométrie, et termine en appelant l'attention du Congrès sur les principales questions à l'ordre du jour.

Il invite ensuite l'Assemblée à constituer son bureau.

Sur la proposition de M. DE MAGNAC, le Congrès adopte par acclamation et à l'unanimité la composition du bureau ainsi qu'il suit :

*Président d'honneur.*

M. FAUQUE DE JONQUIÈRES (le vice-amiral DE).

*Président.*

M. PHILLIPS.

*Vice-présidents.*

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| MM. IBANEZ, marquis DE MULHACEN (le<br>général). | MM. BOUQUET DE LA GRYE.<br>RODANET. |
| KAISER (le docteur).                             |                                     |

*Secrétaires.*

MM. CASPARI.  
CELLERIER (Gustave).

| M. GARNIER (Paul).

*Trésorier.*

M. LEPAUTE (Henry).

Après avoir remercié l'Assemblée au nom des membres du bureau pour l'honneur qui leur est fait, M. LE PRÉSIDENT dit qu'une lettre sera écrite à M. le vice-amiral de Jonquières pour l'informer de ce vote.

M. Paul GARNIER présente un rapport général sur l'horlogerie à l'Exposition universelle. Il traite successivement de l'horlogerie de précision, de l'horlogerie civile et de l'horlogerie en blanc, montrant la part des divers pays producteurs, et signalant les principaux progrès qui ont été accomplis.

M. DE MAGNAC donne lecture de son rapport sur le calcul des marches des chronomètres à la mer, sur la manière de dégager les perturbations, et sur le calcul des longitudes. Après avoir montré par l'expérience que l'on peut généralement admettre que la marche est une fonction continue du temps et de la température, il recommande l'emploi de la formule de Taylor, combinée avec la méthode d'interpolation de Cauchy, pour les recherches de précision, et cite les longitudes obtenues par lui, qu'il compare à celles qui ont été déterminées par le télégraphe.

Cette communication donne lieu à diverses observations de la part de MM. BOUQUET DE LA GRYE et CLAUDIUS SAUNIER.

M. ANTOINE présente des considérations sur les différences de marche des chronomètres en mer.

Les causes de perturbation dans les marches des chronomètres embarqués sont diverses. D'aucunes, passagères et inhérentes au mécanisme même d'échappement, se dérobent à l'observation : ce sont les *sauts* et les *arrêts brusques*, en face desquels le constructeur reste désarmé. D'autres, assez fréquentes et dues aux actions du bâtiment, si elles ne se prêtent pas davantage à une appréciation numérique, s'expliquent du moins rationnellement. Si, en effet, on les compare à des percussions de nature à agir sur l'oscillation du balancier, ce qui est leur raison d'être en chronométrie, on est conduit à les rattacher à une loi connue ainsi formulée : *un choc dans le sens de la vitesse du balancier diminue ou augmente ou n'altère pas la durée de l'oscillation, selon qu'il se produit avant ou après le milieu de l'oscillation ou en ce milieu lui-même et inversement.* Ainsi les différences peuvent s'additionner, se retrancher, ou bien encore s'annuler. Et comme aucune périodicité n'est à attendre de ces perturbations, on dit que l'instant où elles se manifestent est tout. Il y a encore les marches voisines défectueuses qui n'affectent que faiblement l'état absolu, mais qui, répétées, ont des effets troublants. Sous l'équateur, où la température est élevée, la fluidité des huiles augmente les amplitudes du balancier et, par suite, la fréquence des accidents. Une orientation prolongée dans le plan du méridien magnétique peut, à la longue, produire un retard sensible. Mais la cause la plus grave et la plus capable, selon nous, de faire donner aux instruments

des indications erronées, réside dans l'inclinaison qu'ils prennent sous les causes extérieures. A chaque secousse, la montre, si peu que ce soit, quitte l'horizontale et change d'état absolu si l'instrument n'est bien réglé aux positions inclinées. Comme anciennement le Dépôt des cartes ne soumettait pas les montres à ce genre d'épreuves, il n'est pas rare de retrouver des montres accusant des retards de 5 à 10 secondes et même davantage. L'amplitude elle-même de 220 degrés ne saurait être une garantie suffisante, attendu qu'elle ne détruit les effets d'excentricité que dans la position verticale. De là, nécessité de réglages soutenus dans les positions plus ou moins inclinées. Des balanciers, dont les lames bimétalliques viendraient à se trouver trop flexibles, doivent être rejetés.

Il est désirable que l'habitable aux chronomètres soit placé le plus possible dans le voisinage du centre de gravité du bâtiment et maintenu à une température constante, celle dite de *réglage*, ainsi que cela s'est pratiqué un moment.

Si la trajectoire des isothermes n'est pas une droite inclinée, l'officier des montres pourra concevoir des doutes sur la régularité de marche de l'instrument.

Les cadrans de secondes n'étant pas toujours rigoureusement divisés, les lectures devront se faire sur le même point, sous peine d'erreur de 0,5 et quelquefois plus.

Le remontage des chronomètres doit se faire tous les jours. Une montre, qui se met à retarder assez régulièrement, est censée avoir un spiral atteint d'oxydation partielle.

M. CASPARI fait ressortir l'intérêt des chiffres présentés par M. de Magnac. Il ressort de ces travaux que par l'application des formules de marche on peut déterminer des longitudes avec une précision comparable à celle que donne le télégraphe électrique, et que c'est là un résultat qui fait honneur à l'art chronométrique. Il cite à l'appui quelques déterminations télégraphiques effectuées avec grand soin et dont les divergences vont pourtant à près de 2 secondes.

Ainsi pour la différence Valparaiso-Panama, le résultat de MM. de Bernardières et Barnaud diffère de 1<sup>s</sup>,55 de celui de MM. Davis, Green et Norris. Pour la différence Shanghai-Nagasaki, il y a un écart de 1<sup>s</sup>,64 entre le docteur Littles et le lieutenant-commander Green. L'écart va à 1<sup>s</sup>,94 pour les longitudes d'Aden déterminées en 1871, puis en 1874.

Or on vient de voir que les bonnes déterminations chronométriques, appuyées sur des états absolus bien observés, ne présentent pas d'incertitudes plus grandes que celles-là.

L'ordre du jour des séances ultérieures est réglé et la séance levée à 10 heures et demie.

Après la séance les membres du Congrès visitent l'Observatoire sous la conduite de M. le directeur MOUCHEZ.

**Séance du lundi 9 septembre 1889.**

La séance est ouverte à 9 heures 40 du matin, sous la présidence de M. PHILLIPS.

M. CASPARI donne lecture du procès-verbal de la séance d'ouverture. Le procès-verbal est adopté sans observations.

M. LE PRÉSIDENT exprime ses regrets que dans la composition du bureau une omission ait été faite et que la Suisse n'y soit pas suffisamment représentée. Il propose, en conséquence, la nomination de M. le colonel GAUTIER, directeur de l'observatoire de Genève, comme vice-président.

A l'unanimité, M. le colonel Gautier est nommé vice-président du Congrès.

M. CASPARI procède au dépouillement de la correspondance.

Il donne lecture d'une lettre de M. Adrien, proposant d'examiner l'intérêt qu'il y aurait à introduire l'étude de l'astronomie, de la cosmographie et de la géodésie dans les écoles d'horlogerie.

Il dépose sur le bureau un mémoire adressé par M. Hainaut, horloger à Rouen, sur les compensations à tringles.

Une série de notes et de mémoires de M. Uhlmann, sur un concours de réglage et de classification des montres, dont l'examen est renvoyé à MM. Gruëy, Bouillet et Rozé.

L'ordre du jour appelant la communication de M. Phillips, M. Phillips cède le fauteuil à M. le docteur KAISER, vice-président.

M. PHILLIPS donne lecture d'un mémoire sur l'isochronisme et la compensation des températures dans les chronomètres. Il présente les appareils à l'aide desquels il a pu faire ses expériences sur les spiraux et sur la résistance des divers métaux et termine en émettant le vœu que l'État prenne à sa charge les frais des essais et des expériences qu'il serait utile de continuer sur ces diverses questions.

Ce vœu est appuyé à l'unanimité par les membres du Congrès. Il sera transmis à M. le Ministre de la marine.

M. l'amiral MOUCHEZ, à propos du rapport de M. de Magnac, présente quelques critiques sur l'application de la série de Taylor à l'étude des marches : les anciens chronomètres, très irréguliers, ne s'y prêtaient pas, et les nouveaux sont assez bons pour n'en avoir pas besoin, comme l'expérience le lui a fait voir au Brésil et en Tripolitaine. Il entre dans quelques détails sur les perturbations : variation de la compensation, accélération, perturbations simultanées ou non, sauts brusques, et conclut qu'il faut alléger la tâche de l'officier des montres en simplifiant les méthodes.

M. BOUQUET DE LA GRYE répond que la méthode développée par M. de Magnac n'est pas destinée à la navigation courante, mais seulement aux recherches de précision, et qu'à ce point de vue elle a produit de très bons résultats. Les longs calculs faits par cet officier ont eu précisément pour objet de démontrer par l'expérience que la marche des chronomètres est en général assez continue pour qu'on puisse la traiter mathématiquement. En cours de

navigation, il suffit évidemment de recourir à des graphiques. Dans l'application de la formule de Taylor, il convient d'ailleurs de s'en tenir aux termes conservés dans la formule de Lieussou.

M. ANTOINE demande qu'une commission soit nommée pour examiner les résultats que fournit l'emploi du palladium substitué à l'acier pour les spiraux et les compensations.

M. PHILLIPS est d'avis que la nomination d'une commission est utile, tout en faisant observer qu'au moyen de ses appareils et avec du fil de palladium de diamètre et de longueur convenables on pourrait faire des essais, étudier les amplitudes des oscillations et se rendre compte de l'allongement maximum.

Le Congrès décide la nomination d'une commission qui est composée de : MM. Bouquet de la Grye, Bouillet, Alexis Favre, Gallier, Th. Leroy, Rozé, Berthoud, Antoine et Fénon.

M. CASPARI donne lecture de son rapport sur le réglage et les perturbations de marche. Après avoir fait ressortir l'appui réciproque que se prêtent la théorie et l'expérience, il étudie successivement :

L'isochronisme du spiral, qui s'obtient avec les courbes terminales dont la théorie a été faite par M. Phillips, mais qu'on peut aussi réaliser sans courbes, d'après la règle de Pierre Leroy et L. Berthoud ;

L'effet des résistances passives et du choc de l'échappement ;

Les perturbations résultant d'un défaut d'équilibrage du balancier.

Il passe en revue les principales perturbations observées à la mer, les causes auxquelles on peut essayer de les rattacher et les moyens employés pour y remédier, insistant notamment sur l'effet des trépidations et sur l'influence de l'humidité.

Il conclut que l'on doit rechercher avant tout la solidité, la bonne exécution et la stabilité de marche, et que le réglage ne doit jamais sacrifier ces qualités essentielles pour obtenir une plus grande uniformité de marche.

Il préférerait un chronomètre médiocrement compensé, mais ayant des coefficients de température bien constants, à une montre moins sensible à la température, mais plus sujette aux perturbations imprévues. C'est ce qui lui fait préconiser l'ancien type de chronomètre à spiral d'acier bien trempé et à balancier circulaire, dont une expérience séculaire a montré les qualités précieuses et qui a donné des résultats d'une grande précision pour la détermination des longitudes.

M. PHILLIPS ne partage pas l'avis de M. Caspari au sujet du balancier. Le balancier circulaire a un vice démontré par la théorie et par l'expérience et que personne ne conteste. Il se déforme sous l'action de la force centrifuge, d'autant plus que les amplitudes sont plus grandes et tend, par conséquent, à donner du retard aux grands arcs. Il ne faut pas pourtant s'en exagérer l'importance, attendu que, entre les amplitudes extrêmes qu'il importe de considérer, ce retard est à peine de 2,5 à 3 secondes par 24 heures. Néanmoins il importe de le corriger. Or la théorie indique que, toutes choses égales d'ailleurs, ce retard diminue rapidement avec le rayon du balancier, fait que l'expérience confirme, puisque ce retard est très notablement moindre pour les chronomètres compteurs ou de poche. Il y aurait donc à tenter une

diminution de ce rayon. D'un autre côté, dans les balanciers à lames rectilignes, cette déformation et la perturbation correspondantes sont bien moindres, ce que la théorie et l'expérience démontrent. De plus, les balanciers à lames rectilignes paraissent plus avantageux au point de vue de la compensation; en ce sens qu'ils diminuent plus le retard aux températures extrêmes que le balancier circulaire, fait que les expériences effectuées jusqu'à présent ont confirmé. De là une seconde solution.

Au point de vue du spiral dans les courbes terminales, M. Phillips observe qu'en déterminant par tâtonnements les points extrêmes pour l'isochronisme, on ne fait pas autre chose que rendre les marches égales pour deux amplitudes extrêmes, et il ne s'ensuit nullement que les marches doivent être les mêmes pour les amplitudes intermédiaires.

Lorsqu'on veut tenter d'appliquer la théorie aux cas des spiraux sans courbes terminales, on se heurte à cette difficulté que le point de départ ne présente pas une exactitude suffisante. En effet, on est obligé de prendre pour le moment des forces élastiques qui s'exercent de part et d'autre d'une section transversale du spiral, la valeur  $EI \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)$  que donne la théorie ordinaire de la résistance des matériaux. Or cette formule est seulement approchée et ne rentre dans la théorie mathématique de l'élasticité, la seule rigoureuse, que dans un seul cas, celui traité par M. Phillips, où les forces qui s'exercent entre le spiral et le balancier se réduisent à un couple. Or, si l'on suppose dans un autre cas quelconque, une erreur de  $\frac{1}{100}$  ou  $\frac{1}{1000}$ , ce qui n'a rien d'exagéré, comme elle porte sur la durée même des oscillations, il pourrait en résulter une erreur de 100 à 1,000 secondes par vingt-quatre heures. Quand il s'agit de calculer, non plus la durée même des oscillations, mais une perturbation quelconque, il n'en est plus de même et l'application de la théorie ordinaire de la résistance des matériaux est légitime, car qu'importe une erreur de  $\frac{1}{100}$  à  $\frac{1}{1000}$  sur une perturbation de quelques secondes par vingt-quatre heures ?

M. Phillips fait en outre observer que quant au spiral sans courbes terminales, s'il arrive que, dans une certaine position, son centre de gravité soit sur l'axe, il s'en éloigne nécessairement pendant le mouvement; de là, des perturbations quand le chronomètre n'est pas dans une position horizontale. Ce fait est confirmé par l'expérience. M. Phillips possède les rapports officiels des trois dernières années des concours des chronomètres à l'observatoire de Neuchâtel. Dans cet observatoire, les chronomètres sont observés dans cinq positions, d'où résultent quatre variations de marche dont on prend la somme. Or cette somme, pour les spiraux à courbe  $Ph$ , est très inférieure à celle relative aux autres spiraux, et, en particulier, pour les spiraux cylindriques à courbe théorique elle n'est pas moitié de ce qu'elle est pour les autres.

M. Phillips, sans se prononcer d'avance sur les avantages de tel ou tel métal, pour spiral ou balancier, est d'avis que des expériences prolongées, à ce point de vue et aussi à celui des divers types de balancier, ne peuvent être que fort utiles.

M. CASPARI tient à affirmer bien haut qu'il n'a jamais eu la pensée de contester la supériorité des spiraux théoriques. Il s'est borné à rappeler qu'on

peut obtenir l'isochronisme sans courbes terminales; la théorie qu'il a présentée n'a été inspirée que par le désir de rattacher à la mécanique rationnelle un fait d'expérience bien acquis et connu depuis longtemps : elle était vérifiée d'avance. Il est loin aussi de méconnaître les inconvénients du balancier circulaire : c'est même pour cela qu'il a travaillé avec Winnerl à trouver un type plus satisfaisant en faisant usage de lames planes. Mais il pense que du moment qu'on emploie des formules de marche (et il le faut toujours si l'on recherche la précision), l'essentiel n'est pas la petitesse des coefficients, mais leur constance qui dépend de la bonne exécution des pièces : il pense qu'on atteindra plus facilement et plus généralement cette perfection avec les lames circulaires qui ont fait leurs preuves et qui sont moins délicates à réussir que les lames planes et autres.

Il pense avec M. Phillips qu'on ne peut pas, en général, demander à la résistance des matériaux des résultats aussi exacts que ceux que fournit la théorie de l'élasticité. Pourtant dans le cas de la flexion simple, qui est sensiblement celui du spiral, M. Résal dit que les deux théories conduisent à des résultats pratiquement équivalents. M. Caspari croit que cela doit être le cas de sa théorie, puisqu'en dernière analyse il n'a calculé que la *perturbation* due à l'angle du spiral sans courbe, perturbation à laquelle la théorie et l'expérience s'accordent à donner une valeur qui, au maximum d'anisochronisme, ne dépasse pas 80 secondes par jour, soit moins de  $\frac{1}{1000}$  en valeur relative.

M. NYRÉN lit sa note sur les variations dans la marche des chronomètres, suivant l'amplitude des oscillations du balancier, et présente un chronomètre pourvu d'une disposition permettant de mesurer très exactement cette amplitude sur un cadran gradué.

La séance est levée à midi.

---

#### Séance du mardi 10 septembre 1889.

La séance est ouverte à 9 heures 35 du matin sous la présidence de M. PHILIPS, assisté de M. CASPARI, secrétaire.

M. Paul GARNIER, l'un des secrétaires, lit le procès-verbal de la séance du 9 septembre, qui est adopté sans observations.

M. CASPARI communique une lettre de M. le général Ibañez, marquis de Mulhacen, président de l'Association géodésique internationale, qui remercie les membres du Congrès de l'avoir choisi comme l'un des vice-présidents du Congrès.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Cornu sur son système de synchronisation des horloges.

M. CORNU expose une méthode géométrique qui permet de calculer d'une manière presque intuitive l'effet d'une force instantanée sur un mobile oscillant selon la loi pendulaire simple. Il en fait l'application au réglage des balanciers de chronomètres en montrant que le choix de l'époque de la restitution peut produire à volonté une avance ou un retard aux petites amplitudes. L'expé-

rience a été essayée sur le balancier d'un chronomètre, à l'aide d'un dispositif spécial : les résultats ont paru assez nets pour que l'auteur engage les chronométriers à répéter les essais en vue de *parfaire* l'isochronisme, sans avoir à retoucher aucune pièce du balancier.

Si la force instantanée est périodique, le régime de l'oscillation *pendulaire simple* devient aussi périodique, mais sans qu'aucun synchronisme stable puisse s'établir en concordance avec la période de la force.

Au contraire, dans le cas des *oscillations amorties* le régime stable s'établit d'autant plus vite que l'amortissement est plus énergique.

Sur ce principe M. Cornu a fondé une méthode générale de synchronisation et l'a appliquée au problème de la liaison synchronique des balanciers de deux horloges astronomiques.

Cette liaison est obtenue au moyen d'un courant électrique, émis périodiquement par l'une des horloges, qui attire tangentiellement le pôle d'un aimant fixé au balancier de la seconde horloge; l'autre pôle est employé à produire l'amortissement de l'oscillation par la réaction électromagnétique d'une bobine ou d'un tube de cuivre dans l'axe duquel ce pôle pénètre.

Deux horloges synchronisées d'après ce système fonctionnent sous les yeux du Congrès.

La communication de M. Cornu donne lieu à un échange d'observations entre M. Wolf et lui, notamment en ce qui concerne, dans ce système, l'emploi d'un seul aimant et celui d'un amortisseur.

M. Wolf fait remarquer que c'est l'emploi d'un *aimant unique* qui a nécessité l'introduction d'un amortisseur spécial dans l'appareil de M. Cornu. Or l'usage de l'amortisseur peut présenter de graves inconvénients dans la pratique, tel que l'arrêt de toutes les pendules synchronisées au cas où le courant cesserait de passer.

Dans l'appareil de Jones, où il y a nécessairement deux aimants distincts, comme dans l'appareil de Vérité tel qu'il a été établi à l'Observatoire, l'amortissement est produit par l'appareil de réglage lui-même; le balancier ne pourrait dépasser les limites de son amplitude normale, sans y être ramené par l'action des bobines ou des électro-aimants. L'action régulatrice se fait sentir d'ailleurs à l'extrémité de l'oscillation, c'est-à-dire au moment où la vitesse étant presque nulle, le balancier est le plus sensible à une action extérieure.

Il est vrai qu'il peut résulter de là une différence de phase entre le balancier de l'horloge conductrice et ceux des horloges réglées. De plus, il peut intervenir aussi une période dans le réglage; mais cette période, dans les conditions ordinaires d'un bon réglage, est très longue et le plus souvent insensible. D'ailleurs, ni la différence de phase ni sa variation ne sont à considérer dans l'emploi du réglage électrique pour l'horlogerie et l'astronomie. Plusieurs horloges, fussent-elles réglées par une horloge conductrice de façon que tous les balanciers soient constamment ensemble à la même phase de leur oscillation, ne battraient pas cependant la seconde au même instant, en raison des différences de leurs échappements et du rapport variable de l'arc de levée à l'arc supplémentaire. Il est donc illusoire, au point de vue chronométrique, de chercher à réaliser l'identité des oscillations des balanciers. Ce qu'il faut obtenir, c'est la même marche de toutes les pendules, avec des différences impossibles à éviter dans leur état absolu. Si l'on veut que la seconde soit battue

au même instant physique dans toutes les salles d'observation d'un observatoire, il faut nécessairement la faire battre par des parleurs animés tous par le même courant qui sert à régler la marche des diverses horloges, celles-ci ne servant, dans l'usage ordinaire, qu'à nombrer l'heure, la minute et la seconde.

M. CORNU répond que l'*amortisseur* n'est pas, comme paraît le supposer M. Wolf, une sorte de tampon ou de butoir chargé de limiter l'amplitude du balancier qui tend à croître sous l'action énergique du courant : c'est un organe délicat destiné à introduire une *force retardatrice proportionnelle à la vitesse*.

Grâce à cette force additionnelle, l'oscillation du balancier, naturellement *pendulaire simple*,

$$x = A \sin 2\pi \frac{t - t_0}{T},$$

change de nature : elle prend la forme

$$x = Ae^{-at} \sin 2\pi \frac{t - t_0}{T}$$

et devient une oscillation amortie. C'est la condition *nécessaire* pour que le synchronisme entre la force périodique et l'oscillation puisse s'établir : on démontre en effet aisément que la stabilité du régime synchronique croît avec la grandeur du coefficient  $\alpha$  d'amortissement.

M. Cornu n'admet pas qu'on synchronise une horloge de précision ; la synchronisation est faite pour les horloges médiocres.

A la suite de cette communication, M. Rozé donne lecture du rapport de la Commission nommée pour l'examen comparatif des spiraux en acier et en palladium.

Après une discussion minutieuse et intéressante dans laquelle tous les membres ont successivement et à plusieurs reprises apporté leur contingent de faits expérimentaux et de considérations théoriques, la Commission a reconnu à l'unanimité qu'il n'y avait pas lieu quant à présent de préconiser l'emploi d'un métal ou d'un alliage quelconque ; que tout au contraire il convenait de proposer au Congrès d'émettre les vœux suivants :

1° Qu'il soit institué des essais comparatifs et méthodiques portant sur l'acier, les alliages de palladium et telles autres substances douées de propriétés les rendant propres à constituer un spiral de chronomètre ;

2° Que les chronomètres munis de spiraux en acier et ceux munis de spiraux en alliage de palladium continuent à être admis, comme par le passé, à prendre part aux épreuves et concours.

La Commission, ainsi d'accord sur les conclusions à prendre en l'état actuel de la question, a pensé devoir les soumettre de suite à l'approbation du Congrès chronométrique.

M. PHILLIPS appuie les conclusions du rapport, qui, mises aux voix, sont adoptées par le Congrès.

M. Rozé a la parole pour présenter quelques considérations sur les services que la science peut rendre à l'horlogerie.

L'art chronométrique, créé et édifié par le concours incessant des savants

et des artistes, est arrivé à ce point que l'on peut désormais fixer les limites des conditions de réalisation en vue de la perfection de la marche et de sa conservation. De plus, il est possible de supprimer entièrement les longs et pénibles tâtonnements du réglage.

I. La qualité des résultats dépend essentiellement de l'état du système régulateur, spiral et balancier.

En ce qui concerne le spiral et l'isochronisme, diverses causes conduisent à distinguer l'isochronisme théorique et celui pratique. Ces causes : masse du spiral, déformations dynamiques du balancier, résistance de l'air, influence de l'échappement, etc., peuvent être réduites de manière que l'effet résultant soit assez petit. D'ailleurs, elles peuvent concourir en partie à assurer le réglage comme cela semble avoir lieu pour la flexion des lames bimétalliques, qui paraît devoir faciliter l'établissement de chacun des états d'équilibre correspondant aux diverses températures.

Le spiral peut être réalisé de manière à obtenir une homogénéité complète assurant la conservation de son état moléculaire initial ; il suffit de l'amener d'un seul coup à sa forme définitive par un procédé qui est en même temps plus simple et moins dispendieux que ceux en usage.

La construction du balancier est susceptible de modifications du même genre qui paraissent avoir pour cet organe, et au même point de vue, une importance bien autrement grande. Le procédé qui s'ensuit présente, en outre, l'avantage précieux d'assurer l'identité des conditions de construction.

II. Le réglage comporte toute une série d'opérations délicates, longues et pénibles dont les difficultés absorbent toute l'attention, tous les soins de l'artiste.

Cependant, par application immédiate des formules connues, la compensation peut être obtenue *a priori* sans aucune observation et ensuite seulement de quelques mesures et calculs simples, ces derniers pouvant encore être réduits par l'emploi de tables préparées à l'avance. L'approximation obtenue dépasse toute attente et est telle que l'on peut, d'un seul couple d'observations, conclure la correction nécessaire pour obtenir l'état définitif. Cet état s'établit d'ailleurs, à coup sûr, par l'emploi de la balance et sans aucun déplacement des masses, si on le juge bon.

A défaut de certaines données relatives à la construction du balancier, deux opérations successives, au lieu d'une seule, sont nécessaires et suffisantes.

Le réglage des positions se prête à l'emploi de procédés non moins sûrs et économiques.

De tels procédés seraient inapplicables si les constantes physiques étaient susceptibles de prendre des valeurs différentes selon l'état des substances employées, conformément à une opinion très répandue. De nombreuses expériences et applications montrent au contraire que ces valeurs sont, dans la pratique, toujours comprises entre des limites très étroites.

La différence secondaire de la compensation dépendant du carré de la température, mais qui n'est pas du second ordre quant à sa grandeur, présenterait la même constance sans l'intervention de causes fortuites.

Tout en réservant expressément dans cette note l'étude de la différence secondaire, on doit remarquer que la théorie est actuellement assez avancée pour

que la recherche de diverses solutions simples, réellement pratiques, puisse être poursuivie méthodiquement sans avoir à recourir à aucun des moyens empiriques si péniblement établis en dehors de la théorie.

III. L'échappement à détente n'a pas d'influence bien appréciable sur le réglage et la conservation de la marche, mais on sait qu'il faut toute l'habileté et l'expérience des artistes pour tirer aussi bon parti d'un organe qui ne satisfait pas aux indications les plus élémentaires de la mécanique. Son emploi dans les chronomètres de poche a été à peu près abandonné. Certains changements brusques dans l'état de quelques chronomètres de la marine, pourtant bien construits, ont témoigné antrefois de la délicatesse de cet échappement; il s'ensuit un doute fâcheux sur la sécurité des marches, parce que de tels sauts pourraient échapper s'ils se produisaient par unités isolées dans des circonstances d'ailleurs assez rares, même à la mer.

Un type nouveau d'échappement à détente, réalisé dès 1867, d'une exécution et d'un ajustement incomparablement plus faciles, d'une sécurité absolue, offre en outre l'avantage d'augmenter la précision des fonctions et, par suite, la liberté du système régulateur. L'axe de la détente est placé entre le repos et la petite levée, hors la tangente à la roue; l'extrémité du petit ressort est en dehors du plan des axes et son point de flexion est du même côté, assez éloigné; une levée de sûreté obligerait, en cas d'accident, la dent à s'arrêter sur le repos; enfin l'ensemble est équilibré autour de l'axe et a d'ailleurs un moment d'inertie moindre que la détente ordinaire. M. Grossmann a imaginé depuis un échappement dit à *courte bascule* qui comporte certaines des dispositions précédentes et a donné à l'usage les meilleurs résultats.

En résumé, les procédés et dispositions énumérés dans cette note permettent de réduire considérablement la somme d'efforts à fournir par l'artiste et lui laissent ainsi toute liberté pour porter son attention sur les très petits défauts qui entachent encore actuellement la marche des chronomètres.

M. CALLIER donne lecture du rapport de la commission chargée d'examiner l'échappement présenté par M. A. Kaiser.

La commission composée de MM. Rodanet, président, Paul Garnier, Brown, Alexis Favre, Leroy, Antoine, Paillard et Callier, a étudié un nouvel échappement présenté par M. Kaiser, ingénieur, membre du Congrès.

Un modèle en grand facilitant l'appréciation des fonctions de cet échappement, des dessins le démontrant théoriquement, et aussi des montres auxquelles il est appliqué, ont permis aux membres de la Commission de juger des qualités diverses de cet échappement; elle a décidé de déclarer qu'il est d'une exécution facile, solide, que la pièce qui donne l'impulsion au balancier peut être faite mécaniquement, qu'il doit être classé au nombre des échappements libres.

La Commission a exprimé le désir qu'une expérience d'une durée suffisante confirme les qualités que son auteur lui attribue.

Les conclusions du rapport sont adoptées.

M. UNGERER présente un système de transmission de mouvement à distance.

Ce système appelé *téléchronomètre* se compose de leviers mobiles réunis deux par deux à leurs extrémités au moyen de fils parallèles entre eux, de manière à former des parallélogrammes se mouvant autour des centres des leviers.

Cet ensemble mobile communique son mouvement de va-et-vient, qui lui est imprimé par le rouage moteur au moyen d'une manivelle et d'une bielle, à des leviers et des fils supplémentaires reliés aux minuteriers des cadrans récepteurs, et fait ainsi à chaque mouvement avancer l'aiguille à minutes d'une division sur le cadran.

M. SERRE a la parole pour une communication relative à une formule de marche des chronomètres en mer. Il résulte de cette communication que les bâtiments devraient être pourvus de trois chronomètres chacun, nombre qui, d'après M. Callier, devrait être porté à quatre. M. Serre propose que le Congrès émette un vœu à cet effet.

Après quelques observations de M. BOUQUET DE LA GRYE, le Congrès émet le vœu : « Qu'à bord des bâtiments chargés de missions lointaines, il y ait trois chronomètres au moins. »

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à midi.

---

#### ANNEXE

#### AU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 10 SEPTEMBRE.

---

*Procès-verbal de la séance de la commission chargée de l'examen comparatif des spiraux d'acier et de palladium.*

M. BOUQUET DE LA GRYE, président de la Commission, a fait connaître d'abord que le service hydrographique a acheté depuis 1878, après concours, 75 chronomètres dont 37 à spiraux de palladium. Ces derniers ont subi des épreuves avec un tel succès que depuis plusieurs années il n'a été acquis aucun chronomètre à spirale d'acier.

Mais d'autre part il résulte de relevés faits par M. Rollet de l'Isle sur les journaux de bord, que 29 des chronomètres à spiraux de palladium ayant été en service, dont 26 pendant une campagne, et 3 pendant deux campagnes, peuvent être classés de la manière suivante : 5 bons; 6 assez bons; 6 médiocres; 12 mauvais, c'est-à-dire arrêtés après des écarts de marche excessifs.

La Commission a entendu avec un vif intérêt M. Paillard, qui a poursuivi depuis l'origine avec autant de persévérance que de succès l'étude d'un grand nombre d'alliages de palladium. Il a exposé que ces études étant réalisées concurremment avec la fabrication des spiraux, ceux-ci ne peuvent être considérés comme identiques entre eux, les derniers bénéficiant des progrès réalisés dans la composition aussi bien que dans les procédés métallurgiques. Ce fait a confirmé la Commission dans cette opinion qu'il est impossible en l'état de la question de porter un jugement définitif sur les propriétés des alliages de palladium.

M. Paillard a encore soumis à la Commission un très bel échantillon du dernier alliage auquel il s'est arrêté. Celui-ci contient 75 p. 100 de palladium et semble devoir par conséquent participer à un haut degré de la propriété

exceptionnellement précieuse de ce métal, qui est d'exiger une compensation relativement très petite.

M. FAVRE a fait valoir tous les avantages que présentent ces alliages, non oxydables, non magnétiques. Il a fait remarquer que leur emploi s'est répandu surtout en Suisse et en France; qu'il semblait donc appartenir aux expérimentateurs de ces deux pays de poursuivre jusqu'au bout l'étude de leurs propriétés. Il a en outre fait connaître que les voyageurs par caravanes en Afrique obtenaient de montres à ancre et à spiraux de palladium des services qu'on ne saurait demander à des chronomètres. Enfin M. Favre insiste sur la conservation du réglage et des marches des chronomètres et des montres à spiraux de palladium.

M. ANTOINE présente diverses remarques aboutissant aux mêmes conclusions.

M. A.-L. BERTHOUD considère que la rouille et l'aimantation du spiral des chronomètres ne se sont manifestées que dans des cas très rares, au moins en ce qui concerne les chronomètres français. Les cas d'aimantation du balancier sont également rares, mais ils pourraient se multiplier lorsque l'emploi de l'électricité à bord se développera. Comme dans ces cas les chronomètres seraient aussitôt hors de service, il semblerait surtout intéressant de composer le balancier de substances non magnétiques.

M. Berthoud considère que les spiraux d'acier et d'or ont fait leurs preuves: qu'ils offrent toute sécurité et possèdent certains avantages incontestables.

M. FÉNON s'associe à cette manière de voir.

M. BOUILLET pense que les spiraux d'acier associés au balancier à lames bimétalliques planes pourraient se trouver dans des conditions aussi favorables, au point de vue des épreuves de concours, que les spiraux en alliages de palladium.

D'ailleurs, au milieu de beaucoup d'autres observations, quelques réserves ont été faites en ce qui concerne la propriété du palladium d'absorber, dans certaines conditions, plusieurs centaines de fois son volume d'hydrogène et aussi sur l'état moléculaire spécial d'un alliage soumis à la *trempe des alliages*, c'est-à-dire qui acquiert ses propriétés élastiques par recuit.

---

#### Séance du mercredi 11 septembre 1889.

La séance est ouverte à 9 heures 40 du matin, sous la présidence de M. PHILLIPS.

M. CASPARI donne lecture du procès-verbal, rédigé par M. Paul Garnier. Le procès-verbal est adopté.

A l'occasion du procès-verbal M. SCHWEBER demande à rectifier une appréciation qu'il a cru entendre émettre à la dernière séance par M. Antoine, relativement à la cause des arrêts brusques de montres à spiral en palladium. Il désire qu'il soit bien établi que cet accident ne saurait être attribué en général à la négligence de l'officier des montres.

D'un échange d'explications entre MM. BOUQUET DE LA GRYE, ANTOINE, BOUILLET, ROZÉ et FAVRE, il résulte que ce n'est en aucune façon dans ce sens qu'il faut entendre la phrase qui a été mise dans le rapport de la Commission qui a examiné la question des spiraux en palladium, et qu'en tout cas les officiers des montres sont hors de cause. Ce qu'on a voulu dire, c'est que les chronomètres dont il était question s'étaient détériorés en cours de navigation et que quelques-uns même s'étaient arrêtés; mais ces avaries graves n'étaient pas imputables aux officiers des montres. Les chronomètres dont il s'agit avaient des spiraux en palladium, mais la Commission n'a pas dit que ces spiraux fussent la cause de ces accidents.

M. ANTOINE présente des observations sur les causes qui peuvent produire l'erreur secondaire de compensation, et plus spécialement eu égard aux balanciers circulaires. Il pense qu'au point de vue de la résistance de l'air ils ont un avantage sur les autres balanciers, et qu'ils offrent l'avantage, très important au point de vue des résistances passives, d'avoir un moment d'inertie maximum pour un poids donné.

M. PHILLIPS dit que les savants ne sont pas fixés sur les lois exactes de la résistance de l'air et que l'expérience peut seule prononcer. Le balancier circulaire a contre lui le défaut grave de se déformer, et il ne croit pas que la différence de poids entre un balancier circulaire et un balancier à lames droites soit assez importante pour qu'il y ait à s'en préoccuper.

M. ROZÉ rappelle que M. PHILLIPS lui a fait faire des expériences sur la résistance de l'air et qu'il a constaté que les effets de cette résistance ont peu d'importance en pratique.

M. CALLIER fait remarquer que M. KULLBERG a expérimenté et construit avec succès des balanciers de forme circulaire formés de lames plates : lui-même en a essayé et a obtenu de très beaux résultats.

M. LE PRÉSIDENT ouvre la discussion sur la question à l'ordre du jour : « Épreuves et concours. » Il annonce que M. GRUEY, chargé du rapport sur les concours de chronomètres de poche, est souffrant et doit retourner chez lui, et qu'il a demandé de retirer la question de l'ordre du jour. Il ne croit pas qu'on puisse obtempérer à ce désir : un rapport sur les chronomètres de marine, rédigé par M. ROLLET DE L'ISLE, est prêt et peut servir de point de départ à la discussion.

M. CASPARI, secrétaire, a la parole pour lire le rapport de M. ROLLET DE L'ISLE, dont l'auteur est retenu en service à la mer. Le rapport analyse comparativement les conditions des concours, tels qu'ils se font en Angleterre, en Allemagne, en Hollande et en France. Il fait ressortir les différences dans les épreuves et dans la manière d'en tenir compte pour le classement, et conclut qu'en somme les exigences des différents services sont sensiblement équivalentes.

M. le docteur KAISER, dans un mémoire très intéressant, indique les détails du service chronométrique des Pays-Bas dont il est directeur, et met sous les yeux du Congrès les résultats des expériences qu'il a entreprises : les courbes de marches et les tableaux de concours. Il entre dans des détails sur la partie matérielle des épreuves et notamment sur la détermination des températures.

M. CORNU applaudit aux efforts faits par le service néerlandais pour une bonne détermination des températures des étuves : il appelle l'attention sur les difficultés que présente la détermination exacte de la température d'un corps placé dans une enceinte.

A ce propos, M. PHILLIPS rappelle les appareils autorégulateurs de la Commission internationale des poids et mesures.

MM. BOUQUET DE LA GRYE et BOUILLET donnent quelques renseignements sur les étuves du service hydrographique et sur le degré de constance de la température dont les variations, notamment dans la glace, ne dépassent pas 1 degré.

M. ROZÉ fait observer qu'il ne s'agit pas ici d'expériences pour lesquelles une détermination rigoureuse de la température est nécessaire, mais seulement d'épreuves qui n'exigent pas la même rigueur.

M. CASPARI fait ressortir les conditions très rigoureuses, très pratiques et très équitables des concours de Greenwich. Pour les températures froides on se contente de la température de l'air extérieur en hiver, qui peut descendre à 5 degrés. Les températures d'étuves vont jusqu'à 37 degrés, mais en été seulement : de plus on ménage la transition en faisant précéder et suivre cette température par des semaines pendant lesquelles l'étuve est maintenue à 27 degrés. Tous les chronomètres subissent ensemble les mêmes températures. Les basses températures de l'hiver, étant des températures ambiantes, ne permettent pas la précipitation d'eau sur les chronomètres. Enfin un chronomètre à balancier non compensé est employé, pour donner d'une façon pratique et comparable, moins la température absolue qu'une mesure de l'influence de la température sur la marche.

M. Caspari remarque encore que le concours tel qu'il se pratique en Hollande semble le mieux fait pour garantir la stabilité à l'usage et la régularité de marche. Comme le fait observer M. le docteur Kaiser, on ne demande pas des instruments raffinés, puisqu'on ne les paye pas cher. Il y a là une indication intéressante. Nos chronométriers doivent aussi travailler pour le commerce, qui paye moins cher que l'État. L'uniformité de type étant une condition de bonne fabrication, et les formules de marche permettant de s'affranchir d'une bonne partie des erreurs résiduelles, n'y aurait-il pas avantage à diriger l'industrie dans cette voie, en rendant les concours plus faciles? Les idées de Licussou sur les concours, résultat d'une expérience très étendue, paraissent être la vérité, mais elles n'ont jamais été appliquées d'une façon complète.

M. le docteur KAISER préfère au chronomètre-thermomètre la lecture de deux heures en deux heures du thermomètre à mercure.

M. ANTOINE est heureux de constater qu'à Greenwich on ne met pas les chronomètres dans la glacière : il estime que cette pratique provoque l'oxydation du spiral, et que l'épreuve est inutile parce qu'en cours de navigation les chronomètres ne doivent jamais se trouver à une température aussi basse que celle de la fusion de la glace.

Il fait ressortir l'intérêt de la méthode qui consiste à calculer une température moyenne par la marche d'une montre non compensée.

Il conclut en demandant que l'Observatoire de Besançon n'impose plus aux montres l'épreuve du passage à la glacière.

M. BOUILLET dit que ce qui a motivé surtout le choix de cette température de 0, c'est la facilité qu'on a à l'avoir constante : dans la caisse de froid au service hydrographique on n'a jamais 1 degré de chaud; d'ailleurs, les artistes n'ont pas formulé de plaintes contre cette pratique.

M. ANTOINE, abordant la question générale des épreuves, voudrait que l'obtention d'un bulletin de marche fût rendue plus difficile, et qu'on supprimât notamment les catégories de bulletins qui ne comprennent pas toutes les faces des épreuves. Il demande aussi qu'on institue des épreuves d'isochronisme.

A une question de M. GALLIER, demandant comment on pourrait observer l'isochronisme dans une montre, et si l'on devrait désarmer le ressort moteur, M. ANTOINE répond que pour lui, il considère les montres à barillet sans fusée, et qu'il étudierait l'isochronisme en vérifiant l'état de la montre à divers instants de la journée, à diverses valeurs de tension du ressort.

M. FAVRE partage cette manière de voir : on ne peut pas désarmer le ressort exactement de la quantité voulue. D'ailleurs, l'effet de changement d'amplitude n'est pas le même si ce changement résulte du ressort désarmé ou de son développement naturel.

M. le colonel GAUTIER fait observer que dans les observatoires, on doit tenir compte des besoins du commerce. Il faut donc y admettre même des montres de qualité inférieure. D'ailleurs, les règlements des concours, à Genève, sont approuvés par le Gouvernement, et il ne se chargerait pas d'appuyer auprès de l'administration un changement de programme dans le sens réclamé par M. Antoine.

La permanence d'un règlement pendant un temps assez long est un élément essentiel de sécurité pour l'industrie et de bonne appréciation comparative des résultats obtenus pendant une série d'années.

M. ANTOINE retire sa proposition.

M. DEFFORGES objecte à la méthode proposée par M. Antoine pour étudier l'isochronisme que l'observation portant sur de petites quantités est très délicate, et que d'ailleurs il y a dans les meilleures horloges de comparaison des incertitudes allant à 0<sup>s</sup>,2 et 0<sup>s</sup>,3 dans des périodes de deux à trois heures.

M. ANTOINE répond que la méthode des coïncidences est suffisamment précise pour cet objet, et que son observation ne porte pas sur des périodes de moins de douze heures.

M. BOUQUET DE LA GRYE regrette de ne pas avoir sous les yeux une note qu'il désirerait lire au Congrès sur les variations diurnes des chronomètres; il la résume ainsi :

Les variations de marche diurne ont été observées par lui sur un grand nombre de montres par la méthode des tops rythmés inscrits sur un chronographe en connexion avec une pendule et à contact électrique. L'approximation de la moyenne des tops est d'environ 2 centièmes de seconde.

Les bons chronomètres ont une variation de marche diurne inférieure à 1 dixième de seconde en plus ou en moins. La comparaison de deux pendules considérées comme très bonnes donne des variations qui, dans des limites un peu plus restreintes, ne paraissent obéir à aucune loi.

Le montage des chronomètres accuse toujours un changement de marche

de quelques centièmes de seconde, qui dépend beaucoup de la manière dont il est pratiqué.

Des chronomètres ayant une bonne marche peuvent avoir des variations diurnes de 0<sup>o</sup>,5.

La variation, due à la roue d'échappement, s'est montrée nulle.

Au delà de vingt-quatre heures, les chronomètres non remontés accusent, pour la plupart, des variations de marche notables.

La conclusion à tirer de ces expériences est la nécessité de remonter très régulièrement les chronomètres toutes les vingt-quatre heures.

La séance est levée à midi.

---

### Première séance du jeudi 12 septembre 1889.

(MATIN.)

La séance est ouverte à 9 heures et demie par M. PHILLIPS, *président*, assisté de M. CASPARI, *secrétaire*.

M. CASPARI donne lecture du procès-verbal de la séance du 11 septembre, qui est adopté sans observations.

M. ANTOINE a la parole pour la lecture de son mémoire sur la construction des pièces chronométriques.

Il présente diverses considérations sur l'influence de l'échappement dans les garde-temps. Il traite de l'échappement des régulateurs astronomiques, de la compensation des balanciers, de la fusée et du ressort moteur.

A son avis, la fusée n'est pas indispensable pour le réglage, et il se demande s'il ne vaudrait pas mieux la supprimer ?

Il parle du spiral, des courbes terminales et particulièrement du spiral plat à une seule courbe; il conclut à ce qu'on ne devrait pas s'écarter du spiral plat à deux courbes.

L'échappement à détente a des inconvénients: il produit des variations dans la marche absolue; il ne le considère pas comme étant le meilleur des échappements, il y aurait lieu d'en chercher un autre.

Il se préoccupe de l'action des grandes masses de fer qui entourent les chronomètres à bord des bâtiments et souhaite que l'emploi des spiraux et des balanciers en palladium se généralise.

Passant aux chronomètres de poche et aux montres de précision, il constate que les réglages, qui jusqu'alors ne se faisaient qu'en Suisse, se font actuellement aussi bien en France, grâce aux observatoires.

Il examine les moyens de production. La manufacture a abandonné la fusée dans les montres. L'échappement à ancre remplace avantageusement l'échappement à détente. Il constate que pour le réglage des montres, les observatoires rendent les plus grands services aux fabricants, mais il pense que les conditions des programmes d'observations pourraient être rajeunies.

L'horlogerie civile de précision s'est augmentée de pièces compliquées qu'on règle aussi bien que les pièces les plus simples, mais comme pour les

chronomètres, il y a lieu de les soustraire, actuellement que les installations électriques se développent de plus en plus, aux effets de l'aimantation. Il termine en passant en revue l'horlogerie commerciale et les pendules de voyage et autres pièces qui emploient l'échappement des montres.

M. SAUNIER demande qu'il soit bien entendu que les observations et affirmations de M. Antoine restent sous sa propre responsabilité. Il a de nombreuses réserves à faire, dit-il, mais il se bornera, vu le peu de temps dont le Congrès dispose, à répondre aux arguments concernant la suppression de la fusée, afin qu'on en finisse avec cette question, discutée depuis plus d'un siècle, sans qu'on ait apporté, pour motiver la suppression de la fusée, autre chose que des affirmations dénuées de raisons probantes à l'appui.

En effet, tout horloger sait, du reste, qu'on peut faire des chronomètres de bord sans fusée. Le premier chronomètre qui donna la longitude en France, celui de Pierre Le Roy, n'avait pas de fusée; les dimensions de l'ensemble du mécanisme étaient celles d'un mouvement de nos pendules ordinaires, mais la faible étendue des arcs d'oscillation de son énorme balancier et le mode de suspension de ce balancier à une lame d'acier, dont l'isochronisme apportait un élément à ajouter à celui du spiral, mettaient ce chronomètre dans des conditions absolument différentes de celles où se trouvent nos chronomètres modernes.

M. Jurgensen a fait un chronomètre à barillet denté (naturellement sans fusée), renfermant un ressort de 11 *pieds de long* et coûtant 55 francs. Le fabricant n'avait pas réussi un premier ressort; il en fit un second, mais en avertissant qu'en cas d'insuccès, il se refuserait à en faire un troisième.

Enfin, de nos jours, Henri Robert refit, mais en petit nombre, des chronomètres à barillet denté.

Il prétendait avoir découvert dans une disposition particulière du ressort moteur une *fusée cachée*. Il n'a pas eu d'imitateurs.

Son chronomètre 80 fut, à peu près, le seul qui fournit une marche assurée pendant quelques années; tous les autres, acquis par la marine de l'État, descendirent promptement au rôle encore utile, mais modeste, de compteurs.

La fusée ne garantit une égalité suffisante de la force motrice qu'autant que l'état moléculaire du ressort-moteur ne change pas (c'est également ce qui a lieu quand on emploie le barillet denté), et c'est l'une des raisons qui expliquent pourquoi les chronométriers experts ne présentent (autant que possible) leurs chronomètres aux concours de la marine qu'après qu'ils ont été soumis un temps suffisant à des températures diverses et capables d'amener le ressort moteur et le spiral à un état moléculaire stable; ce que d'ailleurs P. Le Roy conseillait déjà il y a cent vingt ans.

Les inconvénients d'un changement d'état moléculaire sont communs aux chronomètres ayant ou n'ayant pas de fusée.

Mais ce qu'il faut surtout remarquer en faveur de la fusée, c'est que le grand avantage qu'offre son emploi réside principalement dans ce fait qu'elle permet l'usage du ressort dit *en fouet*, que nos bons fabricants de ressorts savent très bien confectionner. Si ce ressort est armé au point convenable, toutes ses spires sont espacées et leur développement a lieu sans contact entre elles et sans que celles-ci se gonflent ou se jettent de côté de façon à froter

fortement soit contre le fond, soit contre le couvercle du barillet, défaut que présentent les longs ressorts dont on n'utilise qu'un petit nombre de tours.

Il offre bien un défaut, mais qui n'est que relatif : c'est que la force motrice qu'il produit est plus différente du haut en bas de sa bande ou armure, qu'elle n'est avec un ressort d'une égalité parfaite sur toute sa longueur.

Cette différence, qui n'est, comme il vient d'être dit, qu'un défaut relatif, disparaît complètement par l'adjonction de la fusée, et alors le ressort ne présente plus que les qualités énumérées plus haut.

Quant à la rupture possible de la chaîne et à l'économie qui résulte d'une suppression de fusée (10 francs environ sur une pièce du prix de 600 à 1,200 francs), ce n'est vraiment pas la peine de s'en occuper.

M. ANTOINE affirmant de nouveau les avantages de la suppression de la fusée, M. SAUNIER lui répond qu'il a raison, mais avec le ressort de 11 pieds, coûtant 55 francs.

M. Alexis FAVRE, sans combattre l'emploi de la fusée dans les chronomètres de marine, dit que l'on évite facilement les inégalités de développement et les grippements des lames de ressorts moteurs dans les barillets dentés en employant pour ces ressorts les courbes terminales indiquées par M. Phillips pour le spiral réglant. M. Alexis Favre emploie ces courbes avec un plein succès dans les barillets dentés des chronomètres de poche.

M. Alexis Favre présente deux chronomètres de poche de qualité supérieure, de sa fabrication. Ces chronomètres sont accompagnés de bulletins de la catégorie A d'épreuves de l'Observatoire astronomique de Genève, avec mention de marches très satisfaisantes.

Les marches de ces deux chronomètres résistent absolument aux influences de l'aimantation et des machines dynamo-électriques produisant des courants intenses et donnant lieu à de puissants phénomènes d'aimantation.

M. BERTHOUD propose que les programmes des concours pour les chronomètres soient modifiés dans ce sens « que les épreuves d'isochronisme devraient être seulement éliminatoires et ne pas entrer dans le calcul du nombre N servant au classement ». Suivant lui, l'avance aux grands arcs devrait, comme le réglage aux positions, entraîner l'élimination.

M. LEROY fait observer que plusieurs artistes étrangers cherchent de préférence le retard dans les grands arcs.

M. PHILLIPS croit qu'il y aurait intérêt à bien fixer ce point, à savoir : si les épreuves d'isochronisme doivent entraîner l'élimination ou compter dans le classement, et il demande s'il n'y aurait pas lieu que le Congrès émette un vœu à cet égard.

M. CASPARI serait porté à appuyer un vœu tendant à laisser à l'épreuve d'isochronisme un caractère simplement éliminatoire. Étant admis que les chronomètres reconnus les meilleurs à l'usage présentent une légère avance aux petits arcs, ces instruments se trouvent mis au concours dans une position d'infériorité relativement à ceux où l'isochronisme est absolu.

M. BOUQUET DE LA GRYE pense qu'avant de se prononcer sur cette question, il serait prudent qu'elle fût plus étudiée.

M. BOUILLET présente diverses observations dans le même sens.

Revenant sur la communication faite par M. Antoine, M. RODANET déclare qu'il ne partage pas les idées de M. Antoine au sujet de la fusée; en raison des différences de force que présentent les ressorts, suivant le degré de leur remontage, il y a lieu de les équilibrer, et c'est pour cela qu'on emploie la fusée.

Il rappelle ensuite qu'en 1876, à l'Exposition de Philadelphie, les jurés européens ont constaté le développement considérable de la fabrication mécanique des montres et diverses pièces d'horlogerie en Amérique. Cet exemple a été aussitôt suivi en Suisse et dans quelques centres de fabrication de pièces détachées en France.

Il exprime le désir que la fabrique de Besançon entre dans la même voie par la création de manufactures.

Il estime, en ce qui concerne les chronomètres de marine, que si la fabrication mécanique n'y est pas appliquée, cela tient à ce que la production des chronomètres n'est pas suffisamment importante.

Relativement aux bulletins des Observatoires, il constate qu'ils rendent de véritables services et que c'est grâce à eux qu'on est arrivé à former des régleurs et des repasseurs de première force, mais il pense qu'au point de vue commercial, il y aurait lieu de réglementer d'une façon sérieuse les conditions des bulletins des chronomètres de poche.

M. BOUQUET DE LA GRYE présente les graphiques des marches des chronomètres faisant l'objet de la communication qu'il a faite dans la précédente séance.

M. WOLF fait connaître les travaux qui ont été faits à l'Observatoire de Paris pour l'unification de l'heure tant à l'Observatoire que pour les centres horaires de la ville de Paris, et pour l'envoi de l'heure dans les villes et divers ports de France.

M. CASPARI demande que le bureau soit autorisé, par un vote du Congrès, à faire les dépenses nécessaires pour l'impression des comptes rendus du Congrès, dont les frais seront prélevés sur les sommes versées au trésorier. Le Congrès, à l'unanimité, autorise le bureau à faire les dépenses nécessaires.

Le Congrès décide qu'une séance aura lieu le même jour à 3 heures de l'après-midi pour terminer ses travaux.

La séance est levée à midi.

---

### Deuxième séance du 12 septembre 1889.

(soir.)

La séance est ouverte à 3 heures sous la présidence de M. PHILLIPS.

Le procès-verbal de la séance du matin n'ayant pu être rédigé, et celui de la séance de clôture ne pouvant, en tout état de cause, être soumis à l'approbation du Congrès, M. CASPARI, secrétaire, demande que le Congrès autorise son bureau à approuver ces procès-verbaux.

Cette proposition est adoptée.

M. le commandant DEFFORGES a la parole pour une communication relative au pendule.

Il rappelle d'abord que Borda, Kater et Bessel avaient entrevu l'action perturbatrice que l'élasticité du support d'un pendule peut exercer sur la durée de ses oscillations; ils avaient fait usage de supports très solides et d'appareils destinés à en constater la parfaite immobilité. Depuis, M. Albrecht a constaté que le pendule réversible de Repsold donnait des résultats erronés, et M. Peirce, en 1875, montra que ces erreurs tiennent à la flexibilité du support. Après avoir rappelé les travaux théoriques de MM. Peirce et Charles Cellier, les expériences de M. Plantamour, M. Defforges montre la théorie aboutissant à deux modes différents de concevoir cette action, selon qu'on se place au point de vue statique ou dynamique. L'expérience seule pouvait prononcer entre les deux : elle a été faite, en 1883, par M. Defforges, avec une grande précision, au moyen de méthodes optiques indiquées par M. Cornu. Il en résulte :

1° Que le mouvement oscillatoire d'un pendule se communique à son support, dont les déplacements alternatifs réagissent à leur tour sur le pendule lui-même et augmentent la durée d'oscillation.

2° Que le coefficient élastique dont dépend cette altération doit être mesuré non par les écarts mêmes du support observés pendant le mouvement, mais par une expérience statique : il n'est jamais absolument négligeable. L'altération en question, dans les conditions ordinaires d'application du pendule à l'horlogerie, peut dépasser une seconde de marche diurne.

3° Qu'on peut trouver dans ce fait l'explication de certaines anomalies de marche de pendules de précision, et en conclure la nécessité de faire usage de piliers très solides pour l'installation des pendules d'observatoire. M. Defforges suggère qu'on pourra peut-être aussi en déduire une méthode pratique pour le réglage en marche des pendules de voyage, en prenant pour support de tout le mécanisme une verge élastique dont on peut faire varier la longueur active.

A propos de cette communication, écoutée avec un vif intérêt, M. WOLF fait observer que les premières expériences dans lesquelles on a constaté l'influence de la mobilité des supports ne sont pas celles de Repsold, mais celles de Laugier et Winnerl.

M. ROZÉ rappelle les courtes et importantes observations échangées dans la précédente séance entre MM. Bouquet de la Grye, le colonel Bassot et le commandant Defforges, au sujet de petites variations dans la marche des pendules et des chronomètres, se manifestant incessamment et appréciables dans l'intervalle de quelques heures. Il propose de demander à M. le commandant Defforges de vouloir bien ajouter à la communication qu'il vient de faire quelques détails sur la nature de ces anomalies.

M. DEFFORGES répond qu'elles peuvent aller à 0<sup>o</sup>,2 et 0<sup>o</sup>,3, dans la période diurne, en dehors, bien entendu, des défauts de compensation.

M. ROZÉ pense qu'il y a lieu, quant aux chronomètres tout au moins, de rapprocher ces phénomènes des variations périodiques de l'amplitude, signalées dans la communication de M. Nyren. Sans vouloir préjuger des causes, on peut néanmoins soupçonner que le rouage et en particulier les engrenages

y figurent pour une part. En effet, en horlogerie, les rapports de vitesses ne sont guère moindres de 5 ou 4,5 ; par suite, les pignons étant peu nombrés, il résulte des inégalités bien connues dans la transmission du travail. On pourrait atténuer beaucoup ces inégalités en renonçant à la symétrie des dents, comme on a déjà sagement renoncé à la réciprocité des engrenages ; les pignons pourraient, en effet, être plus nombrés pour une même solidité des dents et on réduirait ainsi l'arc de conduite. A cause de la petitesse des efforts en jeu, on trouverait sans doute avantage à adopter le profil en développante de cercle.

M. ANTOINE préférerait aussi les engrenages à développante, mais il trouverait une difficulté à tailler les roues.

M. RICHARD décrit le modèle de chronographe astronomique construit par lui. Le régulateur employé est celui de Foucault, modifié pour accroître le champ de régulation et faciliter le réglage. Le pointage se fait électriquement ou pneumatiquement ; ce dernier mode est préférable pour les voyages scientifiques : expérimenté au Sahara par M. Léon Teisserenc de Bort, il a donné de bons résultats.

M. Richard décrit ensuite les nouveaux indicateurs absolus de vitesse qu'il construit et qui se composent essentiellement de deux plateaux tournant parallèlement en sens inverse l'un de l'autre, entre lesquels est comprimée une roulette fixée à une tige munie d'une vis sans fin. Celle-ci engrène avec une roue qui tourne en fonction de l'espace parcouru par le mobile qu'on veut étudier, tandis que les plateaux tournent uniformément en fonction du temps : la position d'équilibre prise par la roulette peut donc donner une mesure de la vitesse. Le mode d'application du principe varie avec les appareils ; et la vitesse peut se lire sur un cadran, s'apprécier par des moyens optiques ou s'enregistrer sur un cylindre. L'enregistrement peut se faire en commandant directement l'appareil par le mobile, ou en lui transmettant le mouvement à distance par l'électricité : c'est ainsi qu'on enregistre à l'Exposition les indications de l'anémomètre placé au sommet de la tour Eiffel. C'est sur le principe de cet appareil qu'on a pu établir un mouvement d'horlogerie, à vitesse variable, pour donner au cylindre sur lequel se fait l'enregistrement telle vitesse qu'on veut.

M. Richard décrit enfin la plume traçante qu'il a imaginée : elle agit par capillarité, est très petite et écrit fort longtemps sans qu'on ait à renouveler l'encre.

L'ordre du jour étant épuisé, M. LE PRÉSIDENT, avant de clore la séance, rappelle que c'est grâce à M. le Ministre de l'instruction publique et à M. le Directeur de l'Observatoire que les séances ont pu se tenir à l'Observatoire : il propose de leur voter des remerciements pour la faveur faite au Congrès. L'assemblée s'associe, à l'unanimité, à la proposition de M. Phillips.

M. REDIER. De tout temps les savants se sont associés aux efforts des horlogers, les ont assistés de leurs conseils, et c'est à cet heureux concours que sont dus les progrès incessants de l'art chronométrique.

Ces liens intimes entre la science et l'application vont en se développant. Jamais ils n'ont été plus complets, plus efficaces qu'aujourd'hui. Aussi peut-on

espérer que les solutions attendues sortiront bientôt de cette heureuse association.

Je propose donc d'offrir à tous les savants, et plus particulièrement aux savants étrangers qui ont bien voulu quitter leurs travaux, leurs recherches et consacrer un temps précieux à ajouter de nouvelles lumières sur les sujets qui nous intéressent, je propose, dis-je, de leur offrir l'hommage de notre reconnaissance et de proclamer l'expression de notre dévouement le plus entier et le plus désintéressé.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Redier : les remerciements doivent être réciproques, car les savants ne peuvent que gagner à entendre l'avis des praticiens.

M. ROZÉ. Messieurs, il me semble que nous ne pouvons nous séparer sans adresser nos remerciements à MM. les membres du bureau, plus particulièrement à M. Caspari, qui avec le dévouement le plus méritoire, sans compter son temps et ses peines, a assumé, comme secrétaire, les soins de la préparation et de l'organisation; nous avons tous pu constater le succès remarquable de l'œuvre accomplie.

Je propose donc d'adresser, par acclamation, à MM. les membres du bureau, à M. Caspari, l'expression de toute notre gratitude.

M. CASPARI répond qu'il est profondément touché de l'expression de ces sentiments et qu'il s'estime très heureux d'avoir pu contribuer pour sa modeste part à la réussite du Congrès.

M. LE PRÉSIDENT déclare close la session du Congrès.

La séance est levée à 6 heures.

---

## VISITES.

Le mardi 10 septembre, les membres du Congrès ont visité l'école d'horlogerie de la rue Manin, dont les honneurs leur ont été faits par M. RODANET, président du conseil d'administration.

Le vendredi 13 septembre, à 9 heures du matin, ils ont visité l'exposition de la classe 26 au Champ-de-Mars : MM. les exposants s'étaient mis très obligeamment à la disposition des membres du Congrès pour leur donner toutes les explications désirables.

