Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 36 (1908-1909)

Artikel: L'observation des chronomètres et le calcul des résultats à l'Observatoire de Neuchâtel

Autor: Stroele, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-88545

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.08.2025

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

L'OBSERVATION DES CHRONOMÈTRES

ET

LE CALCUL DES RÉSULTATS

à l'Observatoire de Neuchâtel [1]

PAR H. STRŒLE, ASTRONOME-ADJOINT

Il existe à l'observatoire astronomique cantonal de Neuchâtel un service chronométrique chargé de contrôler l'état de réglage des meilleurs produits de notre industrie horlogère. Je me propose de donner ici un aperçu de son organisation [2]. Je joindrai à cet exposé quelques remarques personnelles destinées à signaler les points qui me paraissent encore susceptibles d'amélioration.

L'observation des chronomètres.

Tous les chronomètres déposés à l'observatoire y sont remontés et observés chaque jour, toujours approximativement à la même heure. Le mode d'observation est différent suivant qu'il s'agit de chronomètres de marine ou de chronomètres de poche.

[1] Il serait intéressant de comparer l'organisation du service chronométrique de Neuchâtel à celle d'autres institutions analogues; mais un tel travail d'ensemble m'entraînerait beaucoup trop loin. Je me contente de renvoyer le lecteur que ces questions intéressent à l'ouvrage très documenté de M. RAOUL GAUTIER, professeur à l'Université et directeur de l'observatoire de Genève, intitulé: *Le service chronométrique à l'observatoire de Genève* (1894). Ce travail est tenu à jour dans les *Rapports annuels sur les concours de chronomètres* (Genève) du même auteur.

Cet ouvrage ne s'occupe que des chronomètres de poches; pour les chronomètres de marine il n'existe malheureusement pas, à ma connaissance, une telle étude d'ensemble, et on est obligé de recourir aux publications spéciales des observatoires maritimes des divers pays.

[2] Les points principaux de cette organisation sont définis par le *Règlement pour l'observation des chronomètres et des pendules à l'Observatoire astronomique cantonal* (Neuchâtel) *du 23 mai 1905*. L'adjonction d'une deuxième classe pour les chronomètres de marine et de dispositions relatives aux pendules mise à part, ce règlement ne diffère pas sensiblement de celui du *27 décembre 1901*.

Consultez aussi: *Journal suisse d'horlogerie*, t. XXVI, p. 276, et Dr L. ARNDT, *Rapport du directeur de l'Observatoire cantonal* (Neuchâtel) *pour 1902*. (Annexe au *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXI.)

Les *chronomètres de marine* sont comparés par le chronographe[1] à l'une des pendules fondamentales de l'observatoire. L'observateur se borne à fermer un circuit électrique, à l'aide d'un manipulateur, à l'instant précis du battement du chronomètre; cette observation est répétée six fois de suite à deux secondes d'intervalle, c'est-à-dire qu'on enregistre, par exemple, les battements du chronomètre aux secondes 20, 22, 24, 26, 28, 30. Le relevé des chronogrammes ainsi obtenus se fait à l'aide d'une échelle graduée sur verre, qui donne directement les dixièmes de seconde (représentés par des millimètres); les centièmes de secondes (= dixièmes de millimètre) sont simplement taxés par l'observateur. La moyenne des résultats de ces six comparaisons, combinée à l'état (ou correction) de la pendule fondamentale, donne immédiatement l'état de chaque chronomètre.

Cette méthode de comparaison ne laisse rien à désirer; elle permet d'obtenir en très peu de temps des résultats extrêmement exacts.

Les *chronomètres de poche* sont comparés sans l'aide du chronographe. L'observateur suit mentalement les battements d'un compteur actionné par la pendule normale de l'observatoire (remise à l'heure exacte immédiatement auparavant), il observe le chronomètre à la loupe et note en secondes et dixièmes de seconde son indication quand le compteur bat 0^s, 10^s, 20^s, 30^s, 40^s, 50^s. Il y a donc, ici aussi, six observations successives; la moyenne des résultats de ces six comparaisons donne sans autre l'état du chronomètre, car ici l'état de la pendule de comparaison est nul.

Les observations sont donc réparties régulièrement tout autour du cadran; de cette façon, les erreurs produites par l'excentricité du cadran sont complètement éliminées; il en est de même de celles dues à un éclairage oblique projetant l'ombre de l'aiguille à côté de celle-ci. De plus, la répétition des observations atténue dans une large mesure l'effet des erreurs de division du cadran (erreurs parfois très notables), et des erreurs accidentelles d'observation.

Mais cette méthode n'est pas sans présenter aussi quelques désavantages. Elle est fort semblable à l'ancienne méthode d'observation des passages au méridien par l'œil et l'oreille, et donne lieu comme elle à des *équations personnelles* d'une grandeur inattendue (jusqu'à une demi-seconde de différence entre deux observateurs!). Lorsqu'il y a changement d'obser-

[3] Je n'ai pas fait rentrer dans le cadre de cette note la description des instruments et des installations du service chronométrique.

vateur, on doit donc en tenir compte. D'ailleurs, cette équation personnelle est différente suivant l'échappement du chronomètre; elle varie probablement aussi avec la nature du cadran et de l'aiguille; enfin, il se peut qu'elle varie légèrement d'un jour à l'autre pour un même observateur, et peut-être même le même jour, au cours de la comparaison, par suite de la fatigue. On voit donc qu'il y a là une cause d'incertitude des observations qu'on ne retrouve pas pour le mode de comparaison des chronomètres de marine: on n'a pas pu y constater jusqu'ici de différences personnelles.

Mais le grand inconvénient du système d'observation des chronomètres de poche, c'est qu'il prend trop de temps. On doit consacrer une minute entière à l'observation d'un seul chronomètre; si on ajoute à cela le temps nécessaire au remontage, puis à la consultation du registre et éventuellement au changement de position ou de température du chronomètre, c'est bien près de deux minutes qu'on doit consacrer ainsi à chaque pièce; et lorsqu'on a deux cents chronomètres en observation (chiffre atteint l'an dernier), on voit que ces opérations prennent à elles seules près de sept heures chaque jour. Conclusion: ce mode d'observation, qui était excellent autrefois, alors que le service chronométrique n'était pas encore très développé, présente aujourd'hui un inconvénient tel qu'il est urgent de le modifier.

Il semble que le chronographe pourrait ici aussi rendre service. Il suffirait d'enregistrer, à deux reprises pour chaque chronomètre, le passage de l'aiguille sur un trait déterminé, la seconde 15, par exemple. Le relevé des chronogrammes pourrait se faire sans échelle, puisqu'il ne s'agit ici que de dixièmes de seconde; l'opération est ainsi plus expéditive et bien moins fatigante. On bénéficierait d'un autre avantage de la méthode d'enregistrement: c'est qu'on peut conserver les chronogrammes et les consulter à nouveau si on suppose qu'une erreur a été commise; un tel contrôle n'est pas possible actuellement. Mais il est bien entendu qu'il faut à tout prix conserver l'exactitude actuelle de la comparaison, si possible même l'augmenter, tout en faisant une économie précieuse de temps et de peine. C'est là en tous cas une question qui mérite d'être étudiée.

Les *états des chronomètres* (obtenus comme nous venons de l'expliquer), sont *provisoires* au même titre que ceux des pendules de comparaison, obtenus par extrapolation. Dès qu'une nouvelle détermination de l'heure intervient, on calcule par interpolation les *états définitifs* des diverses pendules; et il y a

alors lieu d'appliquer une même correction à tous les états de chronomètres observés le même jour.

Il est indispensable de procéder ainsi si l'on veut (comme c'est le cas pour les chronomètres de marine), atteindre à la plus grande précision possible. Mais on pourrait peut-être s'épargner cette peine pour les chronomètres de poche. Il suffirait pour cela, lorsqu'on remet la pendule normale à l'heure, de viser non pas à un *état nul,* mais à une *marche nulle.* En d'autres termes : lorsque la détermination de l'heure montrerait que la pendule normale n'est pas à l'heure juste, mais avance, par exemple, on laisserait subsister cette avance, ou tout au moins on ne la corrigerait que peu à peu, insensiblement. La différence des états définitifs de la pendule, d'un jour à l'autre, serait ainsi insignifiante et on pourrait ne pas en tenir compte pour les chronomètres de poche. Il n'est même pas certain qu'on augmenterait de ce fait l'erreur de l'état du chronomètre ; car une autre cause d'erreur disparaîtrait : celle qui provient de ce que les corrections qu'on applique actuellement sont arrondies au dixième de seconde (l'erreur commise de ce fait peut donc atteindre $0^s,05$).

J'ajoute que cette même question de la remise à l'heure de la pendule normale se pose encore à propos du signal d'heure donné chaque jour par l'observatoire. Ici aussi, une marche nulle ou aussi petite que possible est à désirer bien plus qu'un état nul ou minimum. Cette question assez délicate mérite une étude particulière ; qu'il me suffise de l'avoir signalée ici.

Les programmes d'épreuves.

Les chronomètres restent en observation un temps déterminé, qui varie d'une classe à l'autre :

Marine,	Ire classe	. . .	63 jours.
»	IIme »	. . .	35 »
Bord	. . . . .	. . .	65 »
Poche,	Ire classe	. . .	46 »
»	IIme »	. . .	29 »
»	IIIme »	. . .	15 »

Il s'agit d'utiliser le temps disponible de manière à mettre le mieux possible en évidence les défauts de réglage du chronomètre.

Les épreuves auxquelles sont soumis les chronomètres sont destinées à étudier :

1° La *régularité* de leur marche, quand la température et la position ne changent pas;

2° La *stabilité* de cette marche, à la température moyenne et dans la position horizontale;

3° Le réglage aux *températures;*

4° Le réglage aux *positions* (sauf pour les chronomètres de marine, qui sont munis d'une suspension à la Cardan et qui restent donc en pratique toujours à peu près horizontaux).

Il y a bien encore d'autres causes qui font varier la marche d'un chronomètre, par exemple la variation de la pression atmosphérique, ou aussi la variation du champ magnétique. Mais, dans la grande majorité des cas, les effets de ces variations sont bien moins importants que ceux des précédentes; c'est donc avec raison que les épreuves réglementaires n'en tiennent pas compte et que l'étude de ces effets est renvoyée à des épreuves supplémentaires facultatives.

Voici maintenant les programmes d'épreuves actuels:

MARINE		BORD	POCHE		
Ire classe	IIme classe		Ire classe	IIme classe	IIIme classe
7 j 32°	7 j 32°	4 j H	4 j	4 j	7 j
7 25°	7	4 G	5 4°	2 4°	7 H
7	7 4°	4 D	5	2	1 H 32°
7 11°	7	4 b	5 32°	2 32°	
7 4°	7 32°	4	5	5	
7 11°		5 32°	1 H 32°	1 H 32°	
7		5 25°	5 H	5 H	
7 25°		5	4 G	4 H	
7 32°		5 11°	4 D	4	
		5 4°	4 b		
		5 11°	4		
		5			
		5 25°			
		5 32°			
63 jours	35 jours	65 jours	46 jours	29 jours	15 jours

Dans ce tableau, la longueur de chaque période est indiquée en jours. Les lettres H, B, G, D, b, indiquent respectivement les positions: pendant en haut, en bas, à gauche, à droite, et cadran en bas; l'absence de lettre indique la position horizontale, cadran en haut. Quand la température n'est pas indiquée, il s'agit de la température moyenne 18°. L'inégalité apparente des périodes vient du fait qu'on ne compte pas

dans le calcul des résultats le jour qui suit immédiatement un changement de température. Les jours qui comptent sont donc au nombre de six par période pour les chronomètres de marine et de quatre pour presque toutes les périodes des chronomètres de poche.

On remarque immédiatement que, pour les deux classes de chronomètres de marine, les épreuves sont *symétriques*. Le but de cette disposition est d'éliminer aussi bien que possible l'effet d'un changement progressif régulier dans la marche du chronomètre. Même si un tel changement se produit, on pourra déduire de ces observations des résultats exacts en ce qui concerne la compensation aux températures, ce qui est important en pratique.

On pourrait toutefois renoncer sans inconvénient à cette disposition symétrique des épreuves, et adopter, par exemple, l'ordre suivant : pour les I^res^ classes, 18°, 11°, 4°, 11°, 18°, 25°, 32°, 25°, 18°, et pour les IImes classes, 18°, 4°, 18°, 32°, 18°. On voit que le nombre de périodes reste le même. L'avantage de cette modification du programme serait que le changement de marche pendant toute la durée des épreuves (reprise de marche) s'obtiendrait par la différence de marches à la température moyenne 18°, et non pas de marche à 32°, ce qui est vraiment un peu anormal. La reprise de marche serait donc déterminée dans de meilleures conditions ; on pourrait même séparer dans cette reprise l'effet des épreuves au chaud de celui des épreuves au froid ; et il suffirait, en tenant compte de ces deux reprises partielles, de réduire à l'époque de la période du milieu les marches des autres périodes, pour que les résultats relatifs à la compensation thermique soient aussi exacts qu'avec un programme symétrique (ils le seraient même un peu plus). En outre, par cette petite modification de programme, le nombre de périodes à la température moyenne serait augmenté, celui des périodes à 32° diminué, on serait donc dans de meilleures conditions pour déterminer la régularité moyenne de la marche à des températures normales.

La même remarque s'applique naturellement aux épreuves thermiques des chronomètres de bord ; ici, la modification mentionnée permettrait de calculer la reprise de marche pour toute la durée des épreuves, alors qu'elle ne concerne actuellement que les épreuves thermiques.

Les programmes d'épreuves des chronomètres de poche prévoient, tout comme ceux des marines, des *périodes égales*. On peut regretter, toutefois, que ce système des périodes ne soit pas appliqué d'une façon encore plus conséquente et

uniforme. *Le jour pendant en haut, à l'étuve*, qui figure dans les programmes des trois classes de chronomètres de poche, ne signifie rien. On ne peut, en effet, déduire d'un seul jour de marche aucun résultat sûr; et, puisque partout ailleurs, le jour qui suit un changement de température est négligé dans les calculs, il doit naturellement en être de même de cette période d'un jour. Il faut noter encore qu'en Ire et IIme classes, ce jour marque à la fois un changement de température et un changement de position, et que, assez souvent, la marche du chronomètre en est fortement éprouvée jusque dans la période suivante. Il y a donc lieu de supprimer complètement cette période. Non pas que des épreuves thermiques dans d'autres positions que la position horizontale, cadran en haut, présentent peu d'intérêt; mais il faudrait vraiment leur consacrer un peu plus de temps, si l'on veut qu'elles soient concluantes. On peut fort bien faire subir aux chronomètres de telles épreuves en supplément du programme obligatoire.

Le jour pendant en haut, à l'étuve, dans la IIIme classe, devrait être remplacé par une période plus longue, position horizontale, à l'étuve. D'ailleurs, le programme entier de la IIIme classe n'est pas en harmonie avec ceux des classes supérieures; cela provient du fait que la IIIme classe n'avait été maintenue que provisoirement dans le règlement actuel. Ce provisoire dure depuis sept ans, et ne paraît pas près de disparaître; il aurait vraiment valu la peine de remanier plus complètement ce programme; on devrait en particulier prévoir, ici aussi, une donnée, si incertaine soit-elle, relative à la stabilité de marche (reprise).

Il serait bon, pour des motifs analogues, que les *périodes thermiques de la IIme classe* soient allongées. Dans ces périodes, tout le calcul de la compensation thermique est basé sur un seul jour d'observation à chaque température; cela est insuffisant, et les résultats qu'on en déduit sont souvent très fortement affectés par les variations accidentelles de la marche ou par des reprises. Il y aurait lieu d'introduire des périodes thermiques de durée égale à celle des périodes non thermiques.

D'autres modifications paraissent encore désirables. Tout d'abord l'introduction d'une période *pendant en bas* dans les classes de bord et de poche Ire classe[1]. Les épreuves de positions seraient ainsi heureusement complétées; et on pourrait

[1] On donnerait ainsi satisfaction à un vœu émis par le dernier congrès chronométrique. Voir : *Congrès international de chronométrie, Comptes rendus*, etc., Paris 1902, p. 155.

bien mieux qu'actuellement en déduire des indications utiles à la théorie du réglage.

Enfin, on pourrait aussi songer à introduire une troisième position dans le programme de la IIme classe des chronomètres de poche, le mieux un pendant de côté, le pendant à droite, par exemple. De cette façon, il n'y aurait vraiment plus double emploi entre les diverses classes prévues au règlement : chacune d'elles correspondrait bien à un niveau distinct. Dans la IIIme classe on se contenterait, comme épreuve thermique, d'une période à l'étuve, et pour les positions, d'une épreuve pendant en haut ; c'est le strict nécessaire pour s'assurer qu'un réglage est intervenu. En IIme classe, la glacière prendrait place à côté de l'étuve, permettant de se rendre compte de l'erreur secondaire de la compensation ; le pendant en haut serait complété par un pendant de côté, ce qui permettrait déjà d'affirmer si la pièce est approximativement réglée pour toutes les positions. En Ire classe, ce serait les mêmes épreuves thermiques qu'en IIme, mais les épreuves de position seraient complètes. En bord, enfin, ces épreuves de position complètes se combineraient à des épreuves thermiques à cinq températures.

Mais les trois dernières innovations mentionnées ci-dessus ne pourraient se faire qu'en augmentant la durée des épreuves des diverses classes ou en diminuant la longueur des périodes. La première alternative se heurterait à de grosses résistances ; c'est que la longueur des épreuves est trop bien entrée dans l'habitude ; elle était déjà la même pour les diverses classes sous l'ancien règlement ; elle est pour ainsi dire classique. Par contre, la longueur des périodes (quatre jours qui comptent) pourrait être ramenée à trois jours sans grand inconvénient ; ce changement permettrait en outre d'intercaler dans le programme des épreuves de position (en bord et en Ire classe) une nouvelle période en position horizontale : ce serait un repère de plus pour mieux tenir compte de la reprise et éliminer son effet dans le calcul des résultats.

Il est un autre desideratum dont il faudrait tenir compte dans la mesure du possible. Il faudrait que les programmes d'épreuves des diverses classes, du moins de celles à limites différentes (Ire, IIme et IIIme de poche), se contiennent ou s'emboîtent l'un dans l'autre, de sorte que, si un chronomètre échoue dans une classe, on puisse néanmoins lui donner un bulletin de la classe inférieure, s'il le mérite. Une telle mesure rendrait grand service à bon nombre de déposants. Sur ce point, le règlement actuel est moins avantageux que l'ancien.

Notons enfin que l'échelle des températures pourrait être, elle aussi, légèrement retouchée. Les températures extrêmes devraient être distantes de 30°, chiffre généralement admis. On pourrait donc adopter les températures suivantes :

2°,5 10° 17°,5 25° 32°,5.

En coordonnant toutes ces remarques, on aboutirait aux programmes d'épreuves suivants (la température non indiquée est 17°,5) :

MARINE		BORD	POCHE		
A	B		Ire classe	IIme classe	IIIme classe
7 j	7 j	3 j	3 j	3 j	3 j
7 10°	7 2,°5	3 H	4 2°,5	4 2°,5	4 32°,5
7 2°,5	7	3 D	4	4	4
7 10°	7 32°,5	3	4 32°,5	4 32°,5	3 H
7	7	3 b	4	4	
7 25°		3 G	3 H	3 H	
7 32°,5		3 B	3 D	3 D	
7 25°		3	3	3	
7		4 10°	3 b		
		4 2°,5	3 G		
		4 10°	3 B		
		4	3		
		4 25°			
		4 32°,5			
		4 25°			
		4			
63 jours	35 jours	56 jours	40 jours	28 jours	14 jours

Les résultats.

Une fois les chronomètres observés suivant les programmes d'épreuves réglementaires, on établit le tableau des marches diurnes, puis on résume en quelques chiffres les résultats obtenus :

Les *marches diurnes* sont les différences de deux états consécutifs ; on leur donne le signe — quand le chronomètre avance, le signe + quand il retarde. Le choix de ces signes se justifie de la façon suivante :

Dans la pratique des observations d'astronomie ou de navigation, lorsqu'on a observé l'instant d'un phénomène à l'aide d'un chronomètre, il importe le plus souvent d'obtenir l'heure

exacte à partir de l'indication du chronomètre; on le fait en appliquant à celle-ci une correction, et on se rend compte immédiatement que cette correction nécessaire pour passer du temps indiqué par le chronomètre au temps juste est positive quand le chronomètre retarde et négative quand il avance. Ainsi s'explique le signe donné aux états des chronomètres.

Quant à la marche d'un chronomètre, elle est employée le plus souvent pour déduire d'un état à un moment donné, un état postérieur. Si, par exemple, on connaît l'état d'un chronomètre un jour donné, à midi, on aura souvent à calculer son état pour le jour suivant, à midi également, et on convient de donner à la marche diurne un signe convenable pour que cette opération soit une addition algébrique. D'une façon plus générale, cela revient à dire que, si E_0 désigne l'état d'un chronomètre à une époque t_0, si m est la marche diurne, l'état E à une époque quelconque t exprimée en jour sera :

$$E = E_0 + m\,(t - t_0).$$

Il est facile de voir que cette convention revient à donner à la marche le signe + quand le chronomètre a retardé, le signe — quand il a avancé. Ce choix des signes n'est donc pas arbitraire; il n'est qu'une application d'une règle, très générale en astronomie pratique, qui veut que les défauts ou erreurs d'instruments soient toujours précédés d'un signe tel qu'on n'ait qu'à ajouter (algébriquement) ces erreurs ou corrections aux données de l'observation pour obtenir les valeurs réelles.

Les marches étant ainsi calculées et munies de leurs signes, on calcule pour chaque période la marche diurne moyenne, puis on calcule dans chaque période l'écart de chaque marche diurne avec la marche moyenne de la période. La moyenne de tous les écarts diurnes ainsi obtenus s'appelle l'*écart moyen de la marche diurne*. C'est le résultat le plus important des observations; il donne une mesure très exacte de la régularité de la marche du chronomètre quand la température et la position ne changent pas.

La stabilité de la marche est caractérisée par la *reprise de marche* (différence de marches des deux périodes extrêmes, sauf en bord : différence entre la sixième et la dernière). J'ai déjà dit plus haut que, pour les marines et les bords, une modification du programme serait désirable à ce sujet. J'ajoute ici que, comme la reprise ne tient compte que de deux

périodes, elle dépend passablement du hasard et n'est pas toujours la meilleure mesure possible de la stabilité de marche. Il arrive assez fréquemment que la marche d'un chronomètre s'écarte de sa valeur initiale au cours des épreuves, puis y revient à peu près exactement à la dernière période; la reprise est alors à peu près nulle, alors même que la stabilité n'est pas idéale. On remédierait à cet inconvénient en calculant, non pas une simple différence des marches de deux périodes, mais l'écart moyen de toutes les périodes à la position horizontale et à la température moyenne. De plus, on éviterait ainsi des faits assez curieux: dans la IIme classe des chronomètres de poche, par exemple, la marche de la cinquième période est sans influence sur les résultats des épreuves!

Les résultats relatifs à la *compensation thermique* qui figurent au bulletin sont le coefficient thermique et l'erreur moyenne de la compensation. On suppose que la variation de marche avec la température est proportionnelle au changement de celle-ci, c'est-à-dire qu'on peut représenter la marche m_t à diverses températures t, par une expression de la forme:

$$m_t = m_0 + c\,(t - t_0)$$

où m_0 représente la marche à une température initiale quelconque t_0. La quantité c est le *coefficient thermique;* c'est donc la variation moyenne de la marche diurne pour une augmentation moyenne de température de 1° centigrade. La valeur des constantes qui figurent dans cette formule (c et m_0) est déterminée par la méthode des moindres carrés. Cela revient à dire que l'on considère les différences entre les marches observées et celles calculées par une telle formule linéaire comme dues uniquement au hasard (erreurs d'observation ou variations accidentelles de marche). La moyenne de ces différences (au nombre de cinq pour les marines Ire classe et pour les bords, de trois pour les autres classes), a reçu le nom de *erreur moyenne de la compensation.* Cette quantité représente donc la partie *non linéaire* de l'erreur de compensation[1].

Le terme de erreur moyenne de la compensation ne paraît pas heureusement choisi; il prête à toutes sortes d'équivo-

[1] Il est inutile que je reproduise ici les prescriptions détaillées pour le calcul des divers résultats, avec exemples à l'appui. On les trouve dans l'article déjà cité: *Journal suisse d'horlogerie,* t. XXVI, p. 276. Je note simplement que les coefficients provisoires de classement qui y figurent ont été remplacés dès le début par d'autres. Voir p. 25 de la présente communication.

ques. C'est *erreur secondaire*, ou *erreur résiduelle de la compensation* qu'il faudrait. Mais je n'insiste pas sur cette question de mots. On peut faire une objection plus importante à toute cette méthode de calcul : c'est que les écarts qui subsistent ne sont pas dus au hasard ; en d'autres termes, il existe une erreur secondaire bien réelle pour la plupart des chronomètres (et ce fait est connu depuis très longtemps), de sorte qu'on devrait ajouter à la formule ci-dessus un terme proportionnel au carré de la différence de température. Il arrive même très souvent que les variations de marche dues à ce terme quadratique, dans l'intervalle de température de 30°, sont plus importantes que celles dues au terme contenant c. On voit par là que les résultats calculés sont incomplets et ne peuvent guère être utilisés par la suite, une fois que les chronomètres ont quitté l'observatoire. Il serait donc préférable d'adopter pour toutes les classes (marine, bord et poche Ire et IIme classes) une formule de la forme :

$$m_t = m_0 + c\,(t - t_0) + d\,(t - t_0)^2.$$

On calculerait donc pour chaque chronomètre deux coefficients thermiques : le premier, c, correspondrait au coefficient thermique actuel, le second, d, caractériserait l'erreur secondaire de la compensation.

Il y a lieu de remarquer encore que, lorsque les observations portent sur trois températures seulement (marine IIme classe, poche Ire et IIme classes), il est vraiment inutile de recourir à la méthode des moindres carrés, quelle que soit d'ailleurs la formule qu'on adopte (linéaire ou quadratique). Quand les trois températures sont également espacées, et c'est toujours à peu près le cas, on obtient une valeur identique du coefficient thermique en divisant simplement la différence des marches aux températures extrêmes par la différence des températures correspondantes. En effet, les équations générales de condition sont :

$$\begin{aligned} m_1 &= m_0 + c\,(t_1 - t_0) \\ m_2 &= m_0 + c\,(t_2 - t_0) \\ m_3 &= m_0 + c\,(t_3 - t_0) \end{aligned}$$

Supposons les intervalles de température égaux. Posons $t_0 = t_2$ et appelons Δ l'intervalle des deux températures extrêmes :

$$\Delta = t_3 - t_1$$

on aura :

$$t_1 - t_0 = -\frac{\Delta}{2}$$
$$t_2 - t_0 = 0$$
$$t_3 - t_0 = \frac{\Delta}{2}$$

et les trois équations de condition se réduisent à :

$$m_1 = m_0 - c\,\frac{\Delta}{2}$$
$$m_2 = m_0$$
$$m_3 = m_0 + c\,\frac{\Delta}{2}$$

La méthode des moindres carrés donne simplement, pour les deux inconnues :

$$m_0 = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}$$
$$c = \frac{m_3 - m_1}{\Delta} \qquad \text{C Q F D}$$

Quant à l'erreur moyenne de la compensation, on peut l'obtenir très facilement par la règle suivante : partant des marches du chronomètre aux deux températures extrêmes, on calcule par interpolation la marche qu'il devrait avoir à la température moyenne si la variation était proportionnelle. L'écart entre cette marche calculée et la marche observée était désigné dans l'ancien règlement par le terme excellent d'*écart de proportionnalité* à la température moyenne. Il suffit de prendre les $^4/_9$ de cet écart pour obtenir l'erreur moyenne de la compensation. En effet, dans l'hypothèse ci-dessus, les écarts entre les observations et la formule linéaire calculée plus haut ont pour valeurs :

$$m_1 - m_0 + c\frac{\Delta}{2} = m_1 - \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} + \frac{m_3 - m_1}{2} = \frac{m_1}{6} - \frac{m_2}{3} + \frac{m_3}{6}$$
$$m_2 - m_0 = m_2 - \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} = -\frac{m_1}{3} + \frac{2m_2}{3} - \frac{m_3}{3}$$
$$m_3 - m_0 - c\frac{\Delta}{2} = m_3 - \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} - \frac{m_3 - m_1}{2} = \frac{m_1}{6} - \frac{m_2}{3} + \frac{m_3}{6}$$

On voit que le premier et le troisième écarts sont égaux et de même signe et ont pour valeur

$$\frac{1}{6}(m_1 - 2m_2 + m_3).$$

Le deuxième est égal au double de cette quantité, mais de signe contraire. L'erreur moyenne de la compensation est par définition la moyenne arithmétique de ces trois quantités; elle est donc, au signe près, égale à

$$^2/_9\,(m_1 - 2m_2 + m_3).$$

D'autre part, l'écart de proportionnalité est par définition égal à

$$\frac{m_1 + m_3}{2} - m_2.$$

On voit qu'on a bien :

Erreur moyenne de la compensation $= {}^4/_9$ écart de proportionnalité.

On démontre de même que le second coefficient thermique d, dans la seconde formule, est une fraction déterminée de ce même écart de proportionnalité. Les équations à satisfaire sont ici :

$$\begin{aligned} m_1 &= m_o + c\,(t_1 - t_o) + d\,(t_1 - t_o)^2 \\ m_2 &= m_o + c\,(t_2 - t_o) + d\,(t_2 - t_o)^2 \\ m_3 &= m_o + c\,(t_3 - t_o) + d\,(t_3 - t_o)^2 \end{aligned}$$

ou bien, en supposant les températures également espacées (Δ étant l'intervalle des températures extrêmes) et en posant de nouveau $t_o = t_2$:

$$\begin{aligned} m_1 &= m_o - c\,\frac{\Delta}{2} + d\,\frac{\Delta^2}{4} \\ m_2 &= m_o \\ m_3 &= m_o + c\,\frac{\Delta}{2} + d\,\frac{\Delta^2}{4}. \end{aligned}$$

Ici le nombre des équations est égal à celui des inconnues et il n'y a pas lieu d'appliquer la méthode des moindres carrés. La méthode usuelle de résolution donne, comme dans le cas précédent :

$$c = \frac{m_3 - m_1}{\Delta}$$

et de plus :

$$m_o = m_2$$

et :

$$d = \frac{\frac{m_1 + m_3}{2} - m_2}{\left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} = \frac{\text{écart de proportionnalité}}{\left(\frac{\Delta}{2}\right)^2}$$

Pour la valeur actuelle $\Delta = 28$ on aurait donc :

$$d = \frac{\text{écart de proportionnalité}}{196}$$

et pour $\Delta = 30^o$:

$$d = \frac{\text{écart de proportionnalité}}{225}$$

C Q F D

Le fait que les écarts entre les observations et la formule linéaire ne sont pas accidentels, mais systématiques, entraîne une autre conséquence : c'est que l'erreur moyenne de la compensation actuelle n'est pas comparable dans la classe de bord et dans les classes des chronomètres de poche, de même que dans les deux classes de chronomètres de marine. En effet, cette quantité est la moyenne de cinq écarts pour les marines Ire classe et pour les bords, de trois seulement pour les marines IIme classe et pour les poches. Or, les deux écarts qui ne figurent pas dans ces dernières classes sont ceux à 11° et à 25°. Il est facile de voir qu'à ces deux températures l'écart entre la formule linéaire et la formule de second degré est plus faible qu'à la température moyenne et aux deux températures extrêmes. De sorte que l'erreur moyenne sera en général plus faible dans la Ire classe des marines et dans celle des bords que dans la IIme classe des marines et dans les classes de poche, pour une même compensation.

On peut se demander aussi pourquoi, dans les Ire et IIme classes des chronomètres de poche, c'est la marche de la période intermédiaire entre celle à la glacière et celle à l'étuve qui intervient seule dans le calcul de la compensation comme marche à la température moyenne. A quoi bon encadrer les épreuves thermiques par deux autres périodes à la température moyenne, si on n'en tient ensuite aucun compte? On néglige de cette façon la moitié des données fournies par les observations. On pourrait, grâce à ces périodes, éliminer en

bonne partie l'effet perturbateur de la reprise de marche : il suffirait de s'en servir pour réduire à l'époque de la période intermédiaire les marches de celles à la glacière et à l'étuve.

Les défauts du réglage aux positions sont résumés par l'*écart moyen* correspondant à un changement *de position*. Pour l'obtenir, on prend les marches des périodes aux cinq positions du programme, on en calcule la moyenne, on forme les écarts des marches de chaque période avec cette moyenne, puis on prend la moyenne arithmétique des écarts ainsi obtenus.

Ici, rien à remarquer, sinon une différence inexplicable entre le calcul pour les chronomètres de bord et celui pour les chronomètres de poche Ire classe. Pour les chronomètres de bord, on ne tient compte que des marches aux cinq premières périodes (dans les cinq positions), tandis que pour les chronomètres de Ire classe on joint à ces cinq mêmes périodes (qui sont ici les cinq dernières) les trois périodes position horizontale et température moyenne qui accompagnent les épreuves thermiques. On comprend facilement que de ce fait l'écart de position n'est pas parfaitement comparable dans ces deux classes. Cette différence est vraiment curieuse parce que, dans la classe de bord aussi, on pourrait tenir compte encore des deux périodes horizontales à 18° qui figurent dans les épreuves thermiques. Mais il est évidemment plus rationnel de ne prendre que les cinq périodes aux cinq positions différentes ; ainsi, on ne mélange pas inutilement à l'effet des changements de position, celui des changements de température et celui de la reprise de marche.

On fait aussi figurer au résumé des bulletins *la variation de marche du plat au pendu* et *la variation de marche du cadran en haut au cadran en bas*. Pour le calcul de la première de ces quantités, dans la IIme classe des poches, il faudrait prendre pour la marche au plat, au lieu de la moyenne des marches de la première et de la dernière périodes, la moyenne des marches de la cinquième et de la dernière périodes.

Je rappelle ici que l'introduction d'une période pendant en bas permettrait d'étudier de façon plus complète et plus précise le réglage aux positions.

Il me semble qu'il y aurait quelque intérêt à introduire encore dans les résumés des bulletins une autre quantité qu'on pourrait appeler l'écart moyen des marches moyennes de périodes différentes, ou en abrégé *l'écart de périodes*. On prendrait les marches moyennes de toutes les périodes, aux diverses températures et aux diverses positions indistincte-

ment, on en calculerait la moyenne, puis les écarts de ces quantités avec cette moyenne, enfin la moyenne arithmétique de ces écarts. Cet écart de période, dont nous reparlerons plus loin, ferait pendant à l'écart moyen des marches diurnes de mêmes périodes, en abrégé *écart diurne*. Il résumerait à lui seul les défauts de stabilité de marche, de réglage aux températures et de réglage aux positions.

Pour donner une idée de la grandeur de cet écart de périodes E dans les diverses classes, j'ai calculé cette quantité tout d'abord pour dix chronomètres de chaque classe, pris au hasard parmi ceux déposés en 1908. J'ai calculé ensuite le rapport E/*e* de cet écart de période E à l'écart diurne *e*. Voici les moyennes des résultats ainsi obtenus :

	E/*e*
Marine, Ire classe	3,6
» IIme »	3,0
Bord.	3,2
Poche, Ire classe	4,3
» IIme »	3,4
Moyenne E/*e* =	3,5

On voit que ce rapport est en moyenne à peu près constant dans les diverses classes; si on voulait le représenter par un seul chiffre, on pourrait hésiter entre 3 et 4. J'ai répété ces mêmes calculs pour les dix chronomètres les meilleurs de chaque classe (en 1908 également), ces pièces présentant un intérêt tout particulier, et j'ai obtenu les résultats suivants :

	E/*e*
Marine, Ire classe	2,9
» IIme »	3,0
Bord.	3,3
Poche, Ire classe	3,3
» IIme »	4,0
Moyenne E/*e* =	3,3

Ces valeurs moyennes du rapport E/*e* s'accordent fort bien entre elles et avec les précédentes. On voit aussi que c'est la valeur E/*e* = 3 qui se rapproche le plus de la moyenne générale. La concordance de ces résultats est assez remarquable, vu le petit nombre des pièces considérées; il semble qu'il n'y a pas de différences systématiques importantes d'une classe à l'autre, malgré la grande différence des programmes. On peut donc conclure qu'en moyenne l'écart de périodes est actuellement environ trois fois plus grand que l'écart diurne. Nous verrons plus loin l'utilité de cette donnée.

Tels sont les divers résultats qu'on tire des observations. Il est tout naturel de se demander jusqu'à quelle décimale on doit les calculer. L'étude de cette question conduit bien vite à la constatation suivante: pour les chronomètres de poche, les bulletins officiels contiennent beaucoup de chiffres absolument inutiles, n'ayant aucune signification réelle. Il résulte d'un travail de M. le Dr Arndt [1] que l'effet des erreurs d'observation sur chaque écart diurne, ou plus exactement l'erreur moyenne d'un tel écart, est de $\pm$ 0s,1. Pourquoi dès lors calculer chaque écart jusqu'au centième de seconde? On ne peut pas, pour justifier tout cet étalage de chiffres, dire qu'on calcule ces centièmes de seconde uniquement pour ne pas accumuler les erreurs et pour obtenir une valeur exacte de l'écart moyen de la marche diurne: car il est bien facile de se rendre compte que l'arrondissement de tous les écarts au dixième est sans influence notable sur leur moyenne générale. D'ailleurs, si cette raison était bonne, on devrait être logique et faire figurer partout les centièmes de seconde, dans les états provisoires qui sont des moyennes de six observations, dans la correction de la pendule de comparaison, dans les états définitifs et dans les marches diurnes; et l'on se rendrait alors mieux compte de l'inutilité de ce gros surcroît de travail. On devrait donc se contenter de dixièmes de seconde, pour les écarts comme pour les marches.

J'irais même plus loin et je me contenterais aussi des dixièmes dans les marches moyennes de chaque période. Il est vrai qu'ici l'effet des erreurs d'observation est déjà moindre, $\pm$ 0s,05 à $\pm$ 0s,06. Mais par contre ces marches moyennes sont affectées par une autre cause d'incertitude: les variations accidentelles de la marche. Leur effet sur la marche moyenne de chaque période est généralement beaucoup plus considérable que celui des erreurs d'observation elles-mêmes. Donc, ici aussi, les dixièmes de seconde suffisent.

En résumé, on voit qu'on devrait calculer les divers résultats avec le même degré d'exactitude que celui des observations (centièmes de seconde pour les marines, dixièmes pour les bords et les poches). Seuls l'écart diurne, le coefficient thermique, et peut-être aussi l'écart de position font exception à cette règle et doivent être calculés avec une décimale de plus.

Je crois bien qu'une telle simplification rallierait tous les suffrages. Les bulletins officiels n'y perdraient certes rien de

[1] Dr L. Arndt. « Sur le degré de précision des résultats déduits des observations de chronomètres de poche. » *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXXI, p. 340.

leur valeur : allégés de tous ces chiffres superflus, ils y gagneraient en clarté, ils seraient plus facilement compris de chacun, ils inspireraient, je crois, plus de confiance. Le prestige de l'observatoire n'en souffrirait pas non plus, bien au contraire : ce serait même un acte de probité scientifique que de faire disparaître de documents officiels des chiffres qui ne correspondent à rien dans la réalité. Enfin, on réaliserait par cette petite réforme une belle économie de temps et le personnel de l'observatoire ne s'en plaindrait pas.

Les limites.

Les bulletins de marche de l'observatoire ne sont pas délivrés à tous les chronomètres observés. Il faut, pour qu'une pièce obtienne un bulletin, que ses défauts de réglage ne dépassent pas certaines limites fixées au règlement. Ces limites concernent, elles aussi, la régularité de la marche à l'intérieur des périodes, la stabilité de la marche durant toutes les épreuves, le réglage aux températures et le réglage aux positions. Les voici, réunies en tableau :

	MARINE	BORD	POCHE		
	Ire et IIme cl.		Ire cl.	IIme cl.	IIIme cl.
	s	s	s	s	s
Ecart moyen de la marche diurne.	0,25	0,50	0,75	1,00	—
Différence entre deux marches diurnes consécutives dans les périodes de 11° à 25°	2,00	2,00	2,00	2,50	3,00
Reprise de marche.	2,00	3,00	3,00	4,00	—
Coefficient thermique.	0,15	0,15	0,15	0,25	—
Erreur moyenne de la compensation	1,00	1,50	2,00	3,00	—
Différence entre la marche à l'étuve et la marche moyenne à la position verticale, pendant en haut .	—	—	—	—	8,00
Ecart moyen correspondant à un changement de position.	—	2,50	2,50	—	—
Variation du plat au pendu	—	4,00	4,00	6,00	10,00
Variation du cadran en haut au cadran en bas	—	4,00	4,00	—	—
Limite de la marche diurne moyenne	5,00	6,00	6,00	8,00	8,00

Ajoutons que, pour les chronomètres à complication (répétition, chronographe, etc.) il est accordé une tolérance du 25 % de ces limites.

Remarquons que les limites sont les mêmes pour les chronomètres de marine en Ire et en IIme classe ; c'est dire que ces deux épreuves sont également difficiles et ne diffèrent que par leur durée ; dès lors, les termes Ire et IIme classes ne sont pas très bien choisis ; ils font supposer des bulletins d'inégale valeur, comme c'est le cas pour les chronomètres de poche ; on devrait ne distinguer ces épreuves qu'en mentionnant leur durée ou en les appelant, par exemple, catégories A et B. D'autre part, les limites des bords et des poches Ire classe ne diffèrent que par quelques points sans importance pratique ; on pourrait fort bien les unifier complètement.

On voit de plus que pour chaque classe deux des limites concernent la régularité de la marche : celle prévue pour la variation diurne (différence entre deux marches consécutives d'une même période) et celle posée pour l'écart moyen de la marche diurne. On voit, en outre, qu'il n'y a pas, dans chaque classe, une même relation entre ces deux chiffres. Il n'est dès lors pas étonnant que, pour les marines, par exemple, il n'y a guère d'échecs qu'à l'écart moyen, tandis que la limite prévue pour la variation diurne n'intervient presque jamais. Les poches, au contraire, n'échouent jamais ou presque jamais à l'écart moyen, mais très souvent à la variation diurne.

On pourrait facilement simplifier et régulariser cette affaire en ne prévoyant qu'une seule limite relative à la régularité de marche. On poserait, par exemple, pour condition d'obtention du bulletin, que la différence entre deux marches quelconques d'une même période ne doit pas dépasser une valeur donnée. On pourrait prendre par exemple les nombres inscrits à la première ligne du tableau suivant ; ces valeurs correspondent à peu près aux limites pratiques actuelles, avec un petit resserrement pour les bords et les poches Ire classe. Il semble qu'il n'y a guère d'inconvénient à rendre cette limite un peu plus rigoureuse pour ces deux classes, afin de mieux marquer la différence avec les classes inférieures. Il serait logique de faire intervenir aussi ces limites pour les périodes aux températures extrêmes, ce qui rendrait naturellement les conditions un peu plus sévères.

Une remarque analogue s'impose au sujet de toutes les autres limites : elles sont choisies bien arbitrairement et n'ont pas de relations entre elles. Il en résulte que les chronomètres échouent très souvent à certaines d'entre elles, et presque jamais à d'autres. On éviterait complètement cet inconvénient en remplaçant toutes les limites relatives à la stabilité de marche, à la compensation thermique et au réglage de posi-

tion par une seule, fixée pour la différence entre les marches moyennes de deux périodes absolument quelconques. Remarquons de plus que ces nouvelles limites ne devraient pas être indépendantes de celles mentionnées ci-dessus pour la différence de deux marches diurnes quelconques d'une même période. Dans chaque classe, le rapport de ces deux limites devrait être le même; et on se rend facilement compte qu'on peut prendre pour ce rapport la valeur $\frac{E}{e} = 3$ approximativement, rapport de l'écart de période à l'écart diurne. Ces deuxièmes limites seraient donc triples des premières. (Voir le tableau ci-dessous.)

Il faut enfin prévoir une limite pour la marche diurne elle-même. Le mieux est de poser que dans aucune période la marche ne doit dépasser une limite donnée. Si on voulait à peu près faire correspondre ces limites aux actuelles, il faudrait prendre les valeurs suivantes: 6^s, 8^s, 10^s, 12^s. Mais on pourrait ici resserrer notablement les limites; les régleurs prendraient vite l'habitude de mieux approcher leurs marches. Les limites figurant à la troisième ligne du tableau suivant semblent très admissibles.

Les limites se réduiraient donc à ceci :

	Marine A et B	Bord et Poche Ire cl.	Poche	
			IIme cl.	IIIme cl.
Différence entre deux marches diurnes quelconques d'une même période . . .	s 1,50	s 2,0	s 3,0	s 4,0
Différence entre les marches moyennes de deux périodes quelconques	4,50	6,0	9,0	12,0
Limite de la marche moyenne pour une période quelconque	4,50	6,0	9,0	12,0

Les avantages que présenterait un tel système relativement aux conditions actuelles sont les suivants:

1° Les limites ainsi déterminées sont *beaucoup moins arbitraires*, puisqu'elles sont moins nombreuses et que, de plus, elles sont en relation entre elles.

2° Ces limites sont *beaucoup plus simples* à appliquer; les déposants peuvent, sans calculs préalables, voir si les marches qu'ils ont observées satisfont aux conditions de l'une ou l'autre classe. Il n'en est pas de même actuellement: Si, par exemple,

un régleur observe une forte erreur secondaire, il devra calculer l'erreur moyenne de la compensation par la méthode des moindres carrés (ou mieux par la méthode abrégée indiquée ci-dessus) pour voir si la limite prévue au règlement n'est pas dépassée.

3° Ce système de limites permettrait d'éliminer les chronomètres tôt après qu'ils ont échoué. Actuellement, certaines conditions, celle de la marche moyenne, celle du plat au pendu (pour les poches), celle de l'écart moyen, par exemple, obligent à attendre la fin des épreuves pour décider définitivement, alors même que souvent, dès le milieu des épreuves, il est extrêmement probable (mais non absolument certain) que la pièce échoue.

4° Ce système est *plus élastique* que le système actuel, et c'est son grand avantage. Actuellement, il arrive quelquefois qu'un chronomètre très bien réglé n'échoue que pour l'une des limites, qui se trouve légèrement dépassée, tandis que d'autres pièces, médiocres sur tous les points et de valeur certainement inférieure à la précédente, réussissent tout juste à passer partout. Avec le système proposé, c'est l'ensemble du réglage aux positions et aux températures et de la constance de marche qui est jugé, et non plus chacune de ces quantités séparément.

Reste à étudier la question des *tolérances*. Faut-il accorder le bulletin si la pièce ne dépasse que légèrement une ou plusieurs de ces limites, et combien peut-on tolérer? Il me semble que de telles tolérances n'offrent que des inconvénients; en les appliquant, on ne fait que déplacer légèrement la limite, et remplacer une valeur simple par un nombre plus compliqué. Mais on ne peut invoquer aucun argument sérieux en faveur de cette pratique. Il est vrai qu'il peut arriver quelquefois que la limite n'est dépassée que par l'effet d'erreurs d'observation qui se sont accumulées et que dans ce cas là le chronomètre mériterait en réalité le bulletin. Ce cas peut se produire particulièrement fréquemment si on calcule les divers résultats avec un nombre de décimales trop grand, comme c'est le cas actuellement. Mais il est absolument impossible en pratique de distinguer ces cas-là de ceux où la limite est bien réellement dépassée. Le véritable remède en cette affaire consiste à ne pas calculer les résultats trop loin, à ne pas inscrire au bulletin des centièmes de seconde absolument factices. On peut alors se passer complètement d'un tel système de tolérances.

Le classement.

La tâche de l'observatoire consiste non seulement à délivrer des bulletins aux chronomètres qui en méritent, mais encore à classer suivant leur qualité les chronomètres qui en obtiennent. La méthode employée dans ce but est, avec la méthode de calcul de la compensation, la seule partie vraiment originale de notre règlement : ces deux points en sont aussi les plus contestés.

La qualité de chaque chronomètre est représentée par un *nombre de classement* A [1], qu'on calcule de la façon suivante. Les défauts du chronomètre sont résumés par cinq quantités : l'écart moyen diurne E, la reprise de marche R, le coefficient thermique C, l'erreur moyenne de la compensation D, et (pour les bords et les poches) l'écart de position P (remplacé en IIme classe par le plat au pendu). On multiplie chacune de ces cinq quantités par un coefficient approprié, *e*, *r*, *c*, *d*, *p*, qui varie d'ailleurs d'une classe à l'autre et qui dépend de la grandeur relative de ces cinq quantités, ainsi que de l'importance relative qu'on leur attribue. Voici ces coefficients [2] :

COEFFICIENT DE	MARINE	BORD	POCHE	
	Ire et IIme cl.		Ire cl.	IIme cl.
	s	s	s	s
l'écart moyen diurne . . . . . *e* =	40,0	20,0	13,3	11
la reprise de marche . . . . . *r* =	5,0	1,7	1,7	1,25
le coefficient thermique . . . . *c* =	33,3	13,3	13,3	8
l'erreur moyenne de la compensation . . . . . *d* =	5,0	2,0	1,5	1
l'écart de position . . . . . *p* =	—	4,0	4,0	1,5

On additionne pour chaque chronomètre les cinq produits ainsi obtenus, ce qui donne ce qu'on peut appeler la somme des défauts du chronomètre. Le nombre de classement s'obtient en en prenant l'inverse, ou plus exactement en divisant le nombre 100 par cette somme. On a donc la formule :

[1] Des prix sont attribués aux chronomètres dont le nombre de classement dépasse une limite déterminée pour chaque classe au début de l'exercice.

Le règlement prévoit en outre des prix de séries pour les groupes de six chronomètres de bord et de poche première classe dont le nombre de classement moyen dépasse une limite donnée.

[2] Les chronomètres de poche troisième classe sont encore classés simplement d'après la variation diurne moyenne, comme sous l'ancien règlement.

$$A = \frac{100}{eE + rR + cC + dD + pP}.$$

On voit qu'avec un tel système le nombre de classement peut varier entre O, qui correspondrait au pire des réglages, et ∞, l'idéal jamais atteint d'un chronomètre absolument parfait.

L'avantage de cette formule, et il est très réel, c'est qu'elle tient compte de la difficulté croissante de perfectionner le réglage à mesure que celui-ci est déjà parfait. En d'autres termes, une diminution donnée d'un des défauts du chronomètre a beaucoup plus d'effet dans le nombre de classement pour un bon chronomètre que pour un mauvais. La formule actuelle répond donc à une idée fort juste.

Mais on a remarqué bien souvent déjà, et on remarquera sans doute encore plus dans la suite, qu'avec la formule actuelle le taux de cet accroissement est vraiment trop grand. Quand le chronomètre est très bien réglé, c'est à pas de géant, quelquefois par sauts fabuleux que croit le nombre de classement. Et il n'est pas douteux que cet accroissement n'est nullement proportionné à la difficulté des progrès réalisés et à la valeur réelle des chronomètres ainsi réglés. Un exemple le fera mieux comprendre. En 1902, les deux prix de série décernés le furent à des séries de six chronomètres, dont le nombre de classement moyen était 15. L'année dernière, en 1908, les trois premiers des prix de séries dépassent le nombre de classement 22. Il est évident que cet accroissement de 50 % exagère les progrès, d'ailleurs très réels, constatés dans ce court laps de temps. Il suffit, pour s'en rendre compte, de se dire que le nombre de classement 15 marque à lui seul tous les progrès de l'horlogerie et du réglage depuis l'origine de cette industrie jusqu'en 1902, tandis que plus de sept unités, de 15 à 22, correspondent aux progrès réalisés dans les six dernières années seulement. On peut prétendre, sans diminuer en rien le mérite des fabricants et des régleurs actuels, que c'est vraiment leur faire la part trop belle !

Ce manque de concordance entre la formule et les faits est évident. Et il n'est pas étonnant dès lors que la formule actuelle de classement déroute l'esprit, puisqu'elle est contraire à toutes nos habitudes. (Dans tout autre domaine on se sert de formules linéaires pour le classement des résultats.)

Mais cette formule actuelle présente encore deux autres inconvénients. Plus le nombre de classement est grand, plus

il est incertain, car plus les erreurs d'observation et aussi et surtout les variations accidentelles de marche du chronomètre ont d'effet sur lui. Tandis que les nombres de classement peu élevés sont assez sûrs, les gros nombres de classement le sont très peu. Pour un nombre de classement de 20 ou 30, par exemple, l'effet du hasard est déjà très grand : il porte sur plusieurs unités ; de sorte qu'il pourrait fort bien arriver qu'un même chronomètre, déposé deux fois de suite et dont le réglage n'aurait pas varié dans l'intervalle, obtienne tout d'abord 20 points, puis 30 points, par le seul effet du hasard. Or ce manque d'homogénité dans l'exactitude des nombres de classement est très gênant ; car on est habitué à regarder comme également exactes, ou à peu près, des données d'un même type.

De plus, cette formule des inverses donne, dans le calcul des prix de séries, trop d'importance au meilleur ou aux deux meilleurs chronomètres. C'est aller à l'encontre du but même de ces prix de séries. On peut dire à ce propos que les nombres de classement, par leur nature même d'inverses de quantités observées, se prêtent mal à être réunis en moyenne arithmétique. Si on voulait, tout en conservant la formule actuelle, calculer pour des séries le nombre de classement moyen, c'est sur les défauts des chronomètres, c'est-à-dire sur les inverses des nombres de classement qu'il faudrait opérer et prendre la moyenne arithmétique. En d'autres termes, il faudrait prendre la moyenne harmonique des nombres de classement des chronomètres de la série ; les résultats ainsi obtenus sont parfois sensiblement différents des valeurs actuelles.

Cette façon de procéder serait déjà beaucoup plus rationnelle ; il semble toutefois que la solution la plus simple et la meilleure serait d'employer une formule linéaire. On éviterait ainsi tous les inconvénients signalés.

Indépendamment de cette question de principe, on peut faire au sujet de la formule de classement actuelle des remarques de détail. Tout d'abord les coefficients acceptés semblent avoir été fixés assez arbitrairement. On pourrait soutenir, par exemple, que l'influence de la reprise est exagérée, car cette quantité dépend en une forte mesure du hasard. Cet inconvénient serait atténué déjà, si, comme nous l'avons dit plus haut, on remplaçait la reprise par l'écart moyen des marches de périodes similaires.

D'autre part, les nombres de classement dans les diverses classes ne sont nullement comparables, car les coefficients

sont différents. La grandeur absolue de ceux-ci a été déterminée de telle sorte que, dans chaque classe, le nombre de classement d'un chronomètre qui se trouve partout aux limites est de $3\,^1/_3$. Ce point de départ du nombre de classement correspond dans les diverses classes à des chronomètres de valeur inégale, puisque les limites n'y sont pas les mêmes. Un chronomètre donné obtiendra plus facilement un haut classement en IIme classe qu'en Ire, et en Ire qu'en bord. C'est ce qui explique pourquoi les meilleurs résultats obtenus jusqu'ici sont 22,5 en bord, 31,6 en Ire classe et 57,3 en IIme classe de poches. Il y a là une disproportion bien regrettable.

Il résulte encore de cette différence des coefficients d'une classe à l'autre qu'on est obligé de calculer, pour les chronomètres de bord, deux nombres de classement différents, l'un servant au classement individuel, l'autre au classement des séries. Ajoutons que, malgré tout, les résultats ne sont point comparables dans ces deux classes, parce que, comme nous l'avons vu plus haut, certaines quantités, par exemple l'erreur moyenne de la compensation, l'écart de position, et aussi dans une certaine mesure la reprise de marche, sont déterminées dans des conditions différentes.

On pourrait fort bien réduire cet arbitraire au minimum en ne considérant plus que *deux critères :* l'écart moyen diurne *e,* et l'écart de périodes E que nous avons défini plus haut. La seule quantité à fixer arbitrairement serait leur importance relative, car, comme nous l'avons vu, leur grandeur relative peut être déduite des observations ($= {}^1/_3$). Je proposerais pour ma part de donner à ces deux critères une égale importance. De cette façon, on augmenterait de nouveau un peu l'effet de l'écart diurne sur le classement. (Dans l'ancien règlement, c'est la quantité analogue, la variation diurne moyenne qui était la base unique du classement.) Je crois que cette mesure serait parfaitement justifiée, car l'écart diurne est sans contredit l'élément le plus stable et la donnée la plus caractéristique de la qualité d'un chronomètre.

Voici comment on pourrait construire sur ces bases une *formule de classement linéaire.* On choisirait tout d'abord comme maximum ou limite irréalisable un nombre suffisamment grand pour qu'on n'ait jamais besoin de faire figurer des fractions au nombre de classement, pas même dans les moyennes de séries ; on prendrait par exemple 1000. De ces 1000 points, on en attribuerait donc 500 à l'écart diurne, et 500 à l'écart de périodes. Enfin, on noterait que, vu les limites fixées plus haut, l'écart moyen, même en IIIme classe, ne pourrait jamais

dépasser $2^s,00$, et l'écart de périodes $6^s,00$. (Il est bien entendu qu'en réalité les quantités observées seront toujours de beaucoup inférieures à ces limites.) Si on convient que le nombre de classement devra s'annuler pour ces deux limites, on obtient la formule :

$$A = 250\,(2 - e) + 83\,{}^1/_3\,(6 - E).$$

Cette formule extrêmement simple s'appliquerait à toutes les classes et donnerait toujours des nombres de classement compris entre O et 1000. On pourrait, pour le calcul, lui donner la forme plus avantageuse :

$$A = 1000 - 1000 \times \frac{1}{3}\left(e + \frac{E}{3}\right).$$

Les quelques essais que j'ai faits de cette formule aussi simple et aussi peu arbitraire que possible ont donné des résultats très satisfaisants [1].

[1] Si l'on estime que l'importance ainsi donnée à l'écart diurne est exagérée, on pourrait attribuer 400 points à cet écart et 600 à l'écart de périodes. On obtient alors la formule :

$$A = 200\,(2 - e) + 100\,(6 - E)$$

qu'on peut aussi écrire :

$$A = 1000 - 100\,(2\,e + E)$$

Cette formule, encore plus simple que celle ci-dessus, donne aussi d'excellents résultats.