Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 8 (1926)

Artikel: Influence de la pression sur la marche des monstres : expériences de contrôle à la montagne

Autor: Jaquerod, A. / Mügeli, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-742398

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: 14.07.2025

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

INFLUENCE DE LA PRESSION

SUR

LA MARCHE DES MONTRES

Expériences de contrôle à la montagne

PAR

A. JAQUEROD et H. MÜGELI

(Avec 2 fig.)

L'un de nous a publié dernièrement dans ce journal [1] une étude de laboratoire concernant l'influence de la pression sur la marche des montres. Il nous a paru important de vérifier ces résultats en pleine nature. Les facteurs qui entrent en jeu auront-ils la même influence ? ou plutôt des influences perturbatrices ne seront-elles pas prépondérantes de façon à masquer l'effet cherché ?

Lorsqu'on transporte en effet des montres à différentes altitudes, soit à la montagne, soit en avion, les circonstances sont bien différentes de celles qu'on réalise dans les laboratoires. Au lieu de les maintenir dans une immobilité aussi complète que possible, les montres, durant leur transport, ou parfois même durant leur observation, sont soumises à des mouvements

[1] *Archives*, (5), 8, p. 93 (1926).

compliqués qui influent nécessairement peu ou prou sur leur marche. De plus, la température, au lieu de rester pratiquement constante, subit des variations qui peuvent être considérables. Enfin, et même si les différences de niveau sont grandes, les changements de pression n'atteignent que rarement une demi-atmosphère, alors qu'au laboratoire, ainsi qu'on l'a vu, il est facile d'utiliser des variations de pression de plusieurs atmosphères. Les différences de marche que l'on peut attendre seront donc relativement faibles dans les expériences en plein air, et la précision notablement moindre; les causes perturbatrices agiront de façon d'autant plus sensible.

Il est assez remarquable que, malgré ces conditions défavorables, le contrôle que nous avons effectué a fourni, toutes réductions faites, des résultats positifs, de sorte que l'on peut prévoir, par des expériences de laboratoire, ce qui se passera à l'altitude, à condition, bien entendu, de corriger les résultats bruts obtenus dans ces dernières circonstances.

Les expériences ont été conduites de la façon suivante: un certain nombre de montres de divers types ont été tout d'abord observées au laboratoire (altitude 430 m) durant une semaine environ à la pression ordinaire et à température sensiblement constante. Puis, ces montres furent transportées pour une période de temps équivalente à l'altitude de 3130 m dans la cabane J.-J. Dupuis, située au-dessus de Champex (Valais). Leurs marches ont été de nouveau suivies jour par jour dans ces nouvelles conditions. Dans une troisième période de huit jours environ, elles furent finalement observées au laboratoire dans les conditions primitives. Nous appellerons dans la suite ces périodes I, II et III.

Les montres utilisées pour ces déterminations étaient les unes propriété du laboratoire de recherches horlogères de Neuchâtel, les autres obligeamment mises à notre disposition par la fabrique « Les Longines ». Leurs dimensions variaient de celles des chronomètres de marine jusqu'au diamètre de 21 mm.

Voici les caractéristiques de ces montres:

N°	Marque	Diamètre extr. de la serge du balancier	Grandeur du mouvement	Observations
		mm	mm	
1	Nardin	32	—	Chronomètre de marine.
2	Nardin	15,9	54	Chronomètre de bord; échappement à force constante.
3	Longines	18,3	54	Chronomètre de bord.
4	Longines	20	54	»
5	Longines	18	54	»
6	Longines	19,35	58	»
7	Vacheron & Constantin	14,2	41	Chronomètre de poche avec chronographe.
8	Longines	15,25	41	Chronomètre de poche.
9	de M. Pellaton-Schild	14,8	43	Echappement à force constante.
10	Longines	12,65	32	Petit format.
11	Longines	10,75	27	»
12	Longines	7,7	21	»

Manière d'opérer au laboratoire durant les périodes I et III.

La pendule de comparaison est une horloge astronomique dont le balancier, à tige d'invar, est muni d'un contact électrique permettant d'inscrire la seconde sur un chronographe enregistreur. Sa marche est contrôlée chaque jour à l'aide des signaux de T. S. F. de Paris. La variation diurne ne dépasse que très rarement le dixième de seconde. Les montres sont placées dans une caisse spécialement aménagée en vue du transport subséquent et leur marche comparée à celle de la pendule, tous les jours à 10 ½ h.

La température moyenne diurne de cette caisse est déterminée de deux façons différentes:

1° à l'aide d'un thermomètre lu quatre fois par jour;

2° au moyen d'une « montre thermomètre », c'est-à-dire d'une montre non compensée dont le balancier est un anneau d'acier. La marche de cette montre thermomètre avait été déterminée au préalable à différentes températures; elle présentait un retard de 10,5 sec. environ par degré. Comme la

variation est à très peu près linéaire, cette montre donne directement, par sa marche moyenne, la température moyenne correspondant à un intervalle de temps déterminé.

Avant les expériences dont nous parlons, cette montre avait subi une étude spéciale qui lui avait fait parcourir plusieurs fois des cycles de température compris entre 0° et 100°; elle était donc stabilisée de façon aussi parfaite que possible.

Les températures moyennes, obtenues chaque jour par les deux méthodes, ont toujours concordé à un dixième de degré. C'est une précision plus que suffisante puisque les montres étudiées étaient compensées et leurs variations de marche par degré par conséquent très faibles.

Le baromètre était lu chaque jour de façon à fixer la pression barométrique moyenne correspondant à la période.

Transport.

La veille du départ, le 2 septembre 1924, les observations au laboratoire ont été faites une dernière fois, puis les montres ont été enfermées dans la caisse et le chronomètre de marine placé dans son coffret particulier.

Le trajet s'est effectué en train jusqu'à Orsières. De là, les montres ont été transportées à dos d'homme, le même soir jusqu'à la cabane d'Orny, et le lendemain matin à la cabane Dupuis où elles sont arrivées en bon état à six heures. Un seul accident à déplorer: la glace qui ferme le coffret contenant le chronomètre de marine était cassée, mais le mouvement était intact.

Avant l'heure des signaux de la tour Eiffel, nous eûmes le temps de poser une antenne de fortune entre un rocher et la cabane, et d'installer un poste rudimentaire de réception. Tout était prêt pour 10 ½ h. et la première détermination put se faire immédiatement.

Observation en montagne. — IIme période.

Les montres étaient placées dans un petit réduit de la cabane à l'abri des curieux. Nous avions d'ailleurs choisi une époque où

la montagne est peu fréquentée, de façon à être tranquilles pour nos observations.

La marche des montres a été déterminée comme suit : le chronomètre de marine Nardin était comparé directement aux signaux de Paris, en estimant à l'oreille le dixième de seconde. Les montres étaient ensuite comparées elles-mêmes au chronomètre de marine et le dixième de seconde obtenu de nouveau par estime.

Il va sans dire que la précision de ces comparaisons est un peu moindre que celle atteinte au laboratoire où nous disposions d'un chronographe enregistreur ; elle paraît cependant, comme on le verra d'après l'exposé des résultats, parfaitement suffisante. La méthode d'observation correspond d'ailleurs bien aux conditions dans lesquelles nous étions placés et à celles que l'on rencontre ordinairement dans une expédition quelconque, et nous avons cru bien faire en ne recherchant pas une précision dénuée d'intérêt.

Les températures ont été déterminées exactement comme au laboratoire, d'une part par le moyen d'un thermomètre observé quatre fois par jour, d'autre part à l'aide de la montre thermomètre dont la marche était suivie en même temps que celle des autres montres, et qui donnait directement la moyenne des 24 heures. Les indications de cette montre ont été corrigées pour tenir compte de la différence de pression existant entre le laboratoire et la cabane.

Il est clair que, durant cette deuxième période, les variations de température ont été beaucoup plus grandes qu'au laboratoire.

La pression atmosphérique était déterminée à l'aide de deux baromètres anéroïdes dont l'un, spécialement construit pour les mesures d'altitude, fut étalonné sous la cloche pneumatique par comparaison avec un manomètre à mercure. Nous ne sommes cependant pas très sûrs des indications de ce baromètre qui semblait présenter des retards d'élasticité notables, et qui de plus avait un coefficient thermique appréciable et un peu incertain ; nous avons donc après coup cherché à déterminer la pression moyenne correspondantà la période II d'une autre manière.

Grâce aux renseignements obligeamment fournis par

M. R. Gautier, directeur de l'Observatoire de Genève, nous avons calculé, pour cette même période, la moyenne des pressions barométriques de Genève et du Grand Saint-Bernard. Connaissant leur altitude ainsi que celle de la cabane Dupuis, il a été facile de déterminer, au moyen de la formule de Laplace, la pression barométrique moyenne à la cabane. Effectivement, la pression calculée de la sorte a présenté un écart de 6 mm avec celle déterminée directement à l'aide de l'anéroïde. Nous n'avons pas pris la moyenne des deux pressions, mais préféré la seconde pour les raisons indiquées plus haut. La différence d'ailleurs est minime et ne correspondrait, pour les montres en expérience, qu'à une différence de marche comprise entre 0,05 sec. pour les chronomètres de bord et au maximum 0,15 sec. pour les plus petites montres.

Après huit jours d'observation, les montres ont été ramenées au laboratoire par les mêmes moyens de transport qu'à l'aller. Comme on le verra plus loin, la descente, par suite des secousses plus violentes de la marche, paraît avoir agi davantage que la montée, tout au moins en ce qui concerne le chronomètre de marine qui a présenté une brusque avance de 6 min. 46,6 sec.

La troisième période d'observation, faite au laboratoire, a été conduite comme la première. Dans le calcul des moyennes, nous avons considéré une période intermédiaire de deux jours comme période transitoire, destinée à permettre aux montres de reprendre leur marche régulière.

Résultats expérimentaux.

1. *Résultats bruts.*

Si nous supposons une montre parfaite, c'est-à-dire parfaitement compensée thermiquement, et ne présentant aucune imperfection de marche due au mécanisme, elle aurait été soumise, dans les circonstances précédemment décrites, uniquement à l'influence des changements de pression. Comme dans chacune des trois périodes dont il a été question, les variations de pression barométrique ont été faibles, le graphique représentant pour

cette montre les résultats expérimentaux aurait eu une apparence très simple que nous avons indiquée en haut de la figure 1 (n° 0). En réalité, on doit s'attendre à des graphiques plus compliqués.

Les figures 1 et 2, courbes 1 à 12, montrent qu'il en est bien ainsi. Les dates sont portées en abscisse, et en ordonnée les marches diurnes, c'est-à-dire l'écart en 24 heures sur le temps moyen présenté par les différentes montres; nous n'indiquons que les valeurs *relatives*, seules intéressantes. L'équidistance des droites horizontales est de 5 sec.; il est donc possible de lire sur ce graphique les marches relatives à un dixième de seconde près; ces graphiques nous dispensent de longs tableaux numériques. Les droites verticales pointillées séparent nettement les différentes périodes.

Nous avons donné ci-dessus les caractéristiques des différentes montres utilisées; faisons remarquer que, sur la figure 1, une courbe représente les résultats correspondant au chronomètre de marine (n° 1) et les cinq autres (n°s 2 à 6) ceux relatifs aux chronomètres de bord. Sur la figure 2, on a représenté les observations concernant les montres plus petites. On voit immédiatement que la régularité de marche est plus grande pour la figure 1 que pour la figure 2.

Il est difficile de reconnaître dans ces courbes capricieuses l'allure schématique relative à la montre parfaite (n° 0). Elle apparaît cependant assez nettement pour la courbe n° 1; elle est encore visible avec un peu de bonne volonté pour les courbes 3, 4, 5, 11 et 12.

En construisant ces graphiques, nous avons d'abord cru qu'il ne serait guère possible d'en tirer parti, quant à l'influence de la pression, et de les comparer avec les résultats obtenus au laboratoire sous la cloche pneumatique; nous avons reconnu cependant qu'en effectuant les corrections dues aux variations de température, l'établissement de moyennes fait apparaître très nettement l'influence de l'altitude.

En outre, ces graphiques font voir que le transport a agi de façon très variable sur les différentes pièces en expérience. Le chronomètre de marine présente à la montée une variation nette quoique relativement faible; à la descente, il s'est produit

l'énorme variation de 6 min. 46 sec. dont il est question plus haut, due à ce que l'échappement à détente a « pris le galop »

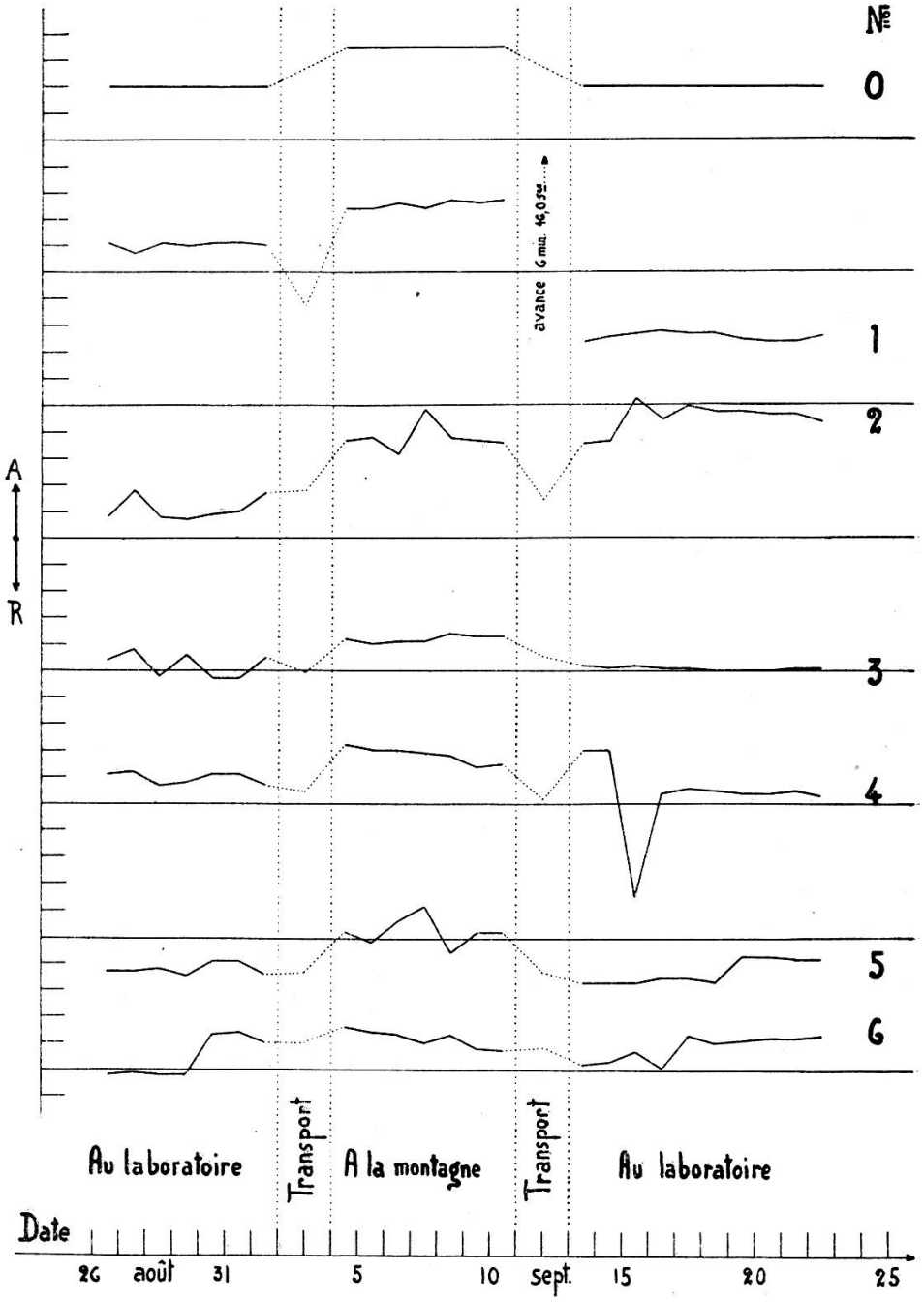

Fig. 1.

suivant l'expression des horlogers; dans certaines circonstances, si l'échappement à détente n'est pas muni d'un dispositif spécial, il peut se produire deux impulsions pendant la même

demi-oscillation, ce qui produit une avance, correspondant bien à ce que nous avons enregistré. Qui eût vu le pauvre instru-

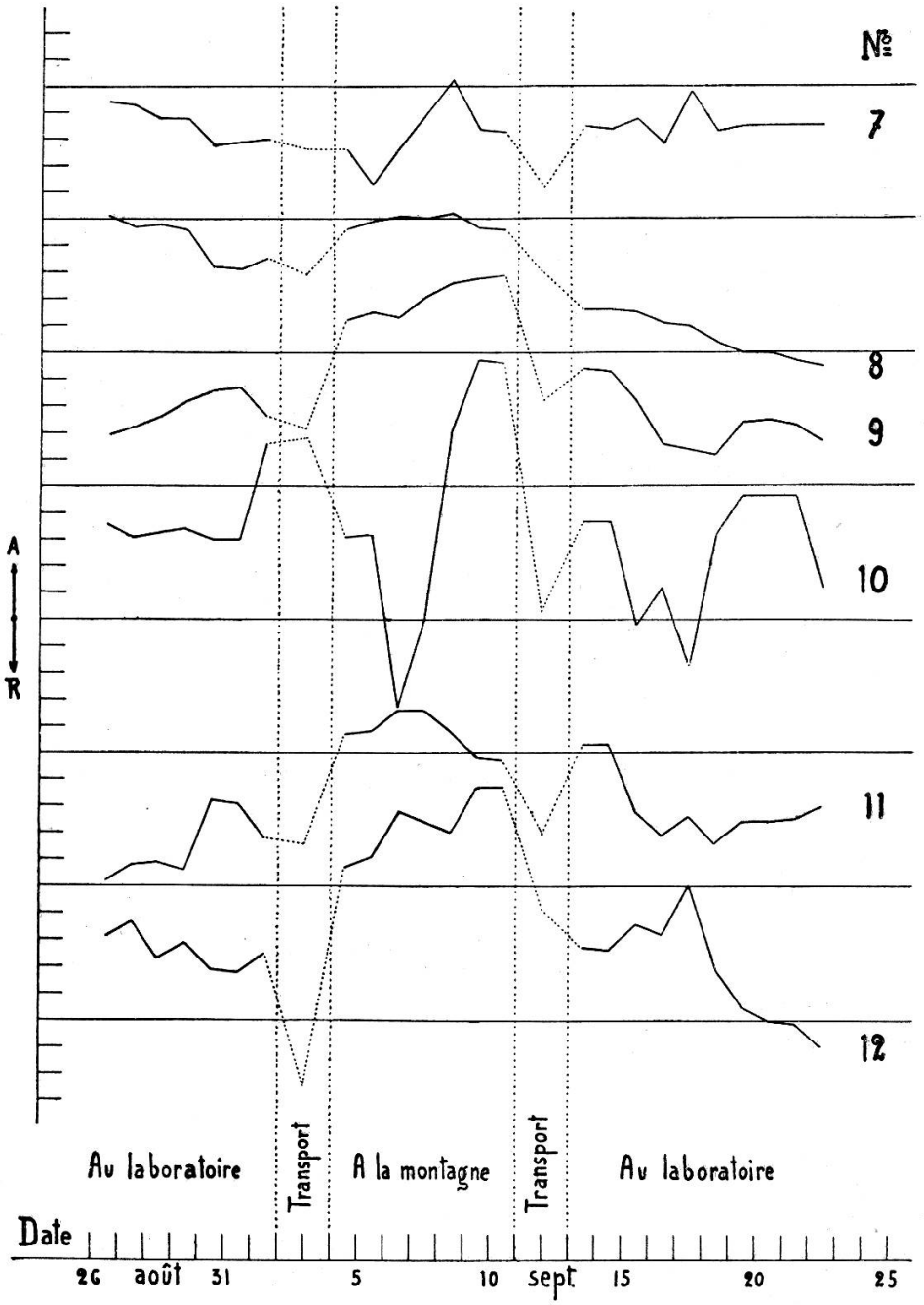

Fig. 2.

ment sur notre dos, alors que nous dévalions sur Champex, poursuivis par la pluie, n'en aurait pas été autrement surpris.

Au retour, durant la troisième période, il a pris une marche

régulière, quoique notablement différente de celle de la première période.

Les montres plus petites ne semblent par contre guère influencées par le transport.

2. *Réduction des observations.*

Afin d'utiliser ces observations à une comparaison de l'effet de pression constaté en plein air avec celui déterminé au laboratoire, il est nécessaire de faire subir aux mesures brutes un certain traitement, dont nous allons maintenant nous occuper.

La première chose à faire est de prendre les moyennes des marches correspondant aux différentes périodes. On obtient de cette façon trois marches, m_1, m_2 et m_3, la première et la troisième correspondant au laboratoire, et la seconde à la montagne. L'effet brut du changement de pression sera alors donné par l'expression:

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

Cette différence donnerait *l'effet de pression* si la montre était parfaitement compensée. Comme en réalité elle présente toujours un certain coefficient thermique, il est nécessaire de ramener les moyennes de chaque période à une même température. A cet effet, nous avons choisi la température moyenne entre les périodes I et III, c'est-à-dire la température moyenne du laboratoire (17°,2).

Pour obtenir le coefficient thermique, les montres ont subi de nouvelles épreuves; elles ont été observées à zéro degré, dans une glacière, lors d'une quatrième période de cinq jours, puis finalement à la température ordinaire pendant une cinquième période de cinq jours également.

Nous avons admis, pour faire l'interpolation nécessaire, que la marche à pression constante est une fonction linéaire de la température. Ceci n'est pas absolument vrai, et pour être rigoureux il eût fallu déterminer la marche à trois températures au moins. Comme cependant la plupart des montres étaient munies de balanciers Guillaume ne présentant presque pas

d'erreur secondaire, cette complication était vraiment inutile; pour les montres de petit format, la précision obtenue est trop faible pour que la détermination de la courbe exacte présente de l'intérêt.

Le tableau suivant donne les indications relatives aux moyennes des observations durant les trois périodes, aux coefficients thermiques $\frac{\Delta m}{\Delta \Theta}$ et aux observations à la montagne, ramenées à la température de 17°,2. Les avances sont précédées du signe + et les retards du signe —.

TABLEAU I.

N° de la montre	Marches moyennes au laboratoire I m_1	Marches moyennes au laboratoire III m_3	$\frac{m_1 + m_3}{2}$ $\Theta = 17°,2$	A la montagne II $\Theta = 6°,6$	$\frac{\Delta m}{\Delta \Theta}$	A la montagne, marche ramenée à 17°,2 m_2 (corr.)
1	+ 1,01	— 2,43	— 0,71	+ 2,55	+ 0,134	+ 3,97
2	+ 1,10	+ 4,75	+ 2,92	+ 3,83	+ 0,244	+ 6,41
3	— 4,79	— 4,91	— 4,85	— 3,83	— 0,020	— 3,62
4	+ 0,96	+ 0,36	+ 0,66	+ 1,84	+ 0,006	+ 1,90
5	—1,21	— 1,28	— 1,25	+ 0,23	+ 0,048	+ 0,74
6	+ 0,43	+ 0,84	+ 0,64	+ 1,16	+ 0,065	+ 1,85
7	— 6,43	— 6,44	— 6,44	— 6,79	+ 0,461	— 1,90
8	— 0,86	— 4,36	— 2,61	— 0,13	+ 0,130	+ 1,25
9	— 7,17	— 7,49	— 7,33	— 2,96	— 0,106	— 4,08
10	— 1,30	— 2,80	— 2,05	— 0,80	+ 0,324	+ 2,63
11	+ 1,51	+ 2,97	+ 2,24	+ 5,71	+ 0,187	+ 7,69
12	— 2,40	— 3,15	— 2,78	+ 2,34	— 0,067	+ 1,64

COMPARAISON AVEC L'EFFET DE PRESSION MESURÉ AU LABORATOIRE.

Pour toutes les montres utilisées, la courbe représentant l'influence de la pression sur la marche à température constante a été déterminée par la méthode exposée dans le travail cité plus haut. Certaines de ces montres avaient été déjà complètement étudiées entre 15 mm et 1500 mm ou même entre 15 mm et 3000 mm de pression. Pour les autres, nous avons observé la marche sous trois pressions (environ 15 mm, 400 mm et

800 mm) ou encore, pour les montres dont la marche était assez irrégulière et pour lesquelles une grande précision n'était pas de rigueur, nous avons fait seulement deux observations à des pressions voisines de 500 et 730 mm et utilisé une interpolation linéaire. Sur les graphiques on a lu directement la différence de marche correspondant au passage de la pression de 726 mm (moyenne des périodes I et III) à la pression de 521 mm correspondant au séjour à la cabane.

Le tableau suivant permet de comparer les résultats obtenus. Au laboratoire, il ne nous a malheureusement pas été possible de déterminer l'effet de pression sur la marche du chronomètre de marine, faute d'un outillage suffisant pour ses grandes dimensions.

TABLEAU II.

Différence de marche entre montagne, $H_0 = 521$ mm
et laboratoire, $H_0 = 726$ mm.

N° de la montre	Différences brutes	Différences corrigées de l'effet thermique	Effet de pression observé au laboratoire entre 726 et 521 mm
1	+ 3,26	+ 4,68	—
2	+ 0,91	+ 3,49	+ 2,94
3	+ 0,98	+ 1,23	+ 1,20
4	+ 1,18	+ 1,24	+ 1,37
5	+ 1,48	+ 1,99	+ 1,77
6	+ 0,52	+ 1,21	+ 1,13
7	— 0,35	+ 4,54	+ 3,70
8	+ 2,48	+ 3,88	+ 2,60
9	+ 4,37	+ 3,23	+ 3,29
10	+ 1,25	+ 4,68	+ 4,22
11	+ 3,47	+ 5,45	+ 4,42
12	+ 5,12	+ 4,42	+ 5,00

DISCUSSION DES RÉSULTATS.

La lecture du tableau II fait immédiatement ressortir les deux faits suivants.

1° La correction nécessitée par la différence de température entre la montagne et le laboratoire est absolument indispensable; pour certaines montres, en effet, elle se monte à

plusieurs secondes (ex. n°s 7, 10, 11). Elle est même si forte pour la montre n° 7, que l'effet brut correspond à un retard à l'altitude, tandis que l'effet corrigé correspond bien à une avance, voisine de celle trouvée sous la cloche pneumatique.

2° Les différences de marche, ainsi corrigées, observées entre la plaine et la montagne, coïncident avec celles déterminées sous la cloche pneumatique, non pas exactement, mais d'une façon très satisfaisante et que l'aspect des graphiques ne faisait certes pas prévoir. Ainsi, pour les chronomètres de bord 3, 4, 5 et 6, la différence ne dépasse nulle part 0,22 sec., et ne présente pas de signe systématique. Pour les montres plus petites, la différence peut monter à 0,5 et même 1 sec., tantôt positive, tantôt négative. Ces écarts sont bien ceux que laisse prévoir la précision des marches; ils sont même plus faibles, ainsi que nous le disions, qu'on aurait pu le craindre.

Si, en effet, on examine les graphiques I et II, on fera les constatations suivantes. Pour certains chronomètres la marche de la période III ne s'est pas trouvée la même que celle de la période I. Il semble qu'il y ait eu une sorte d'effet résiduel dû au transport à la montagne; ceci est particulièrement visible sur le n° 1 (chronomètre de marine), pour lequel la différence de marche après et avant la montagne dépasse 3 sec. Ce phénomène est-il dû à une modification provenant de la différence de température ? Cela ne nous paraît pas probable, vu sa grandeur; il faudrait plutôt l'attribuer, semble-t-il, à une cause mécanique résultant d'un dérangement provoqué par les secousses de la descente. Pour le chronomètre n° 2, la différence de marche entre les périodes I et III semble due à une lente modification soit du spiral, soit du balancier, modification qui se poursuivrait peut-être dans la suite dans des conditions ordinaires.

Le n° 8 présente une modification du même genre, mais en sens inverse. On distingue même nettement, sur le graphique, que durant les périodes I et III le retard a été continuellement en croissant.

D'une manière générale, il ne semble pas que la marche à la montagne ait été beaucoup moins régulière qu'au laboratoire, sauf peut-être pour le n° 10. Pour le n° 4 même, la marche au laboratoire a présenté des sauts beaucoup plus grands; nous

attirons particulièrement l'attention sur une variation brusque de plus de 5 sec. dans la période III.

Ces sautes de marche souvent considérables et absolument inattendues, comportant souvent plusieurs secondes, montrent bien que les déterminations quotidiennes faites à l'estime avec une précision de un à deux dixièmes de seconde sont largement suffisantes.

En ce qui concerne les variations de marche provoquées par le transport à la montagne ou par la descente à la plaine, on remarquera qu'à part le cas déjà cité du chronomètre de marine, qui s'explique très bien, ces variations ne sont nulle part plus grandes que celles qui se produisent accidentellement pour une montre immobilisée. Une constatation qui peut avoir son intérêt est la suivante: le transport a presque toujours produit un retard dans la marche. Ces retards sont surtout visibles sur le transport de retour; les secousses plus grandes à la descente qu'à la montée nous paraissent suffire à expliquer cette particularité.

En résumé, ces observations nous permettent, semble-t-il, d'affirmer que la détermination de l'effet de pression, faite au laboratoire, permet de prévoir de façon certaine ce qui se produira à l'altitude, à condition de tenir compte des variations de température et de faire éventuellement les corrections nécessaires. Pour cela, le coefficient thermique des chronomètres doit être déterminé avec précision. Les secousses, enfin, que subit la montre peuvent provoquer des variations de marche, mais elles ne sont normalement pas supérieures aux variations accidentelles qui se produisent pour les meilleurs mouvements.

Laboratoire de physique.

Université de Neuchâtel, septembre 1926.