Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 25 (1896-1897)

Artikel: L'invar métal à dilatation presque insensible
Autor: Hirsch, Ad.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-88400

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: 16.07.2025

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

Séance du 17 juin 1897

L'INVAR

MÉTAL A DILATATION PRESQUE INSENSIBLE

PAR LE Dr AD. HIRSCH

Directeur de l'Observatoire de Neuchâtel

Il ne fallait pas être seulement le directeur-gérant de la *Revue des Deux Mondes*, il fallait surtout ne pas être de son monde et de son époque pour avoir le courage d'écrire, à la fin du XIXme siècle, la fameuse phrase, qui serait absurde si elle n'était ridicule : *La Science n'a pas tenu ses promesses.*

En effet, comment ose-t-on soutenir une pareille thèse en face du réseau des *centaines de mille kilomètres de chemins de fer* dont la Terre a été couverte en moins d'un siècle et qui, combiné avec les *magnifiques flottes de vapeurs* qui sillonnent toutes les mers, permet de faire le tour du Globe en quelques mois? ou en présence du réseau encore bien plus serré *des câbles, des fils télégraphiques et téléphoniques* qui permettent aux habitants du moindre village de correspondre en quelques heures avec le reste du monde?

Est-il permis d'écrire une telle phrase, lorsque, grâce aux sciences et aux arts techniques qu'elles inspirent, l'homme a non seulement *vaincu l'espace et le temps*, mais *décuplé sa force productrice*, en remplaçant les fatigants et insuffisants efforts des muscles de

l'ouvrier par la merveilleuse puissance de la *vapeur*, et celle plus mystérieuse encore de *l'électricité?* Lorsque l'eau qui coule ou le charbon noir sont transformés en *lumière brillante,* qui éclaire nos villes et jusqu'à nos moindres hameaux de montagne, ou en *force,* qui actionne les locomotives et les petites machines proprettes et silencieuses, que l'artisan ou l'ouvrier place sur la table de sa chambre pour l'aider dans son travail?

Est-ce que la science a menti, lorsque les *courants à haute tension,* qui transportent la force partout où l'on en a besoin, mais qui peuvent être mortels quand ils sont manipulés imprudemment, sont transformés, par des découvertes récentes, en courants à *haute fréquence* qui, au lieu de tuer, grâce à leurs 10 000 volts, permettent de guérir, grâce à des millions d'alternances par seconde, les maladies les plus réfractaires aux anciennes médications?

La science est-elle restée au-dessous de sa mission, lorsque les monstres les plus cruels qui ont décimé autrefois le genre humain ont été domptés par les infatigables études des savants qui, courbés sur leurs microscopes, ont révélé l'existence de tout un monde d'organismes infiniment petits, que le génie des Jenner, des Pasteur, des Koch, des Roux, etc., a su rendre non seulement inoffensifs, mais dont ils ont tiré les sérums qui préservent et qui guérissent les épidémies.

Non, la science n'a pas menti à ses promesses! elle les remplira toujours plus brillamment et plus fructueusement pour le progrès du genre humain.

Je vous en apporte aujourd'hui une preuve nouvelle qui, si elle ne peut pas être classée parmi les grands

faits que je viens de mentionner et qui ont complètement transformé la vie humaine, ne manque cependant nullement d'importance pour le développement des industries de précision, et en particulier, j'en suis persuadé, de notre industrie horlogère, à laquelle elle promet de fournir un métal dont la dilatation est sinon nulle, du moins presque insensible et pratiquement négligeable, et qui offre en outre d'autres qualités aussi intéressantes au point de vue scientifique que précieuses pour son emploi en horlogerie.

J'ai pensé que la réunion de notre Société des sciences au centre principal de l'industrie horlogère se prêtait tout naturellement à une communication sur un sujet qui intéresse à la fois les savants par des faits curieux de physique moléculaire, et les horlogers, qui peuvent espérer n'avoir presque plus à s'inquiéter de l'action de la température sur les organes les plus sensibles, les balanciers et les spiraux des chronomètres et des montres soignées. Vu le temps restreint dont chacun de nous dispose, c'est surtout le dernier point de vue, technique, que je tâcherai de développer rapidement devant vous.

Je compte d'autant plus sur votre intérêt bienveillant, que le mérite d'avoir découvert et surtout étudié de près les qualités du *nickel-acier,* revient à un de nos compatriotes, fils d'horloger et élève de l'Académie de Neuchâtel, M. le Dr Charles-Edouard Guillaume, de Fleurier, jeune savant très distingué, qui, par ses travaux remarquables, surtout dans la thermométrie, qu'il a réformée complètement, s'est déjà acquis une grande réputation dans le monde scientifique.

Vous savez probablement que, depuis 1875, vingt

Etats, parmi lesquels la Suisse, ont conclu la *Convention du Mètre*, et ont fondé à frais communs à Paris (au Pavillon de Breteuil, dans le parc de Saint-Cloud) un *Bureau international des Poids et Mesures*, qui a rendu déjà de nombreux services à la métrologie, en réformant et développant le Système métrique et en fournissant, il y a bientôt dix ans, à tous les Etats concordants, des *prototypes* identiques et invariables du mètre et du kilogramme, en *platine iridié*.

Ce métal, que nous avons choisi, après de longues et minutieuses études, pour la construction des prototypes métriques, en raison de ses grandes qualités chimiques et physiques qui l'ont fait adopter du reste aussi dans la chronométrie, la pendulerie, l'industrie électrique, etc., présente malheureusement l'inconvénient d'être très cher, ce qui le rend impropre à la confection des étalons secondaires de précision, dont il s'agit de doter en grand nombre les services nationaux des Poids et Mesures, les ateliers de construction, les institutions scientifiques, etc. Pour ce motif, le *Comité international* a chargé, il y a cinq ans, le Bureau des Poids et Mesures d'études spéciales sur les métaux et alliages qui offriraient les plus grands avantages pour la construction des étalons métrologiques. C'est en poursuivant ces recherches, qui ont porté surtout sur le nickel et ses alliages, que M. Guillaume, adjoint du Bureau international, a été amené à découvrir les intéressantes et précieuses propriétés des aciers au nickel à différents titres, dont il a rendu compte dans un rapport détaillé au Comité international lors de sa session du printemps dernier, et que nous allons publier prochainement dans nos « Procès-Verbaux ». Pour la communication d'aujourd'hui,

faisant abstraction des nombreux et curieux détails qui intéressent grandement la métrologie, la physique moléculaire et la métallurgie, je m'attacherai surtout à résumer brièvement les résultats que M. Guillaume a obtenus sur les variations extraordinaires de dilatation montrées par les aciers au nickel, suivant qu'on augmente la teneur en nickel de ces alliages.

Il y a deux ans déjà, M. le Dr Benoît, directeur du Bureau international, avait remarqué par hasard que la dilatation d'une barre d'acier-nickel non magnétique, à 22 % de nickel, était de l'ordre de celle des laitons et des bronzes (18 à 19), tandis que la dilatation de l'acier (10,3) et du nickel (12,5) seuls sont beaucoup plus faibles. Cette anomalie étrange gagnait singulièrement en importance, lorsque, au mois de mai 1896, M. Guillaume, examinant une autre barre d'alliage plus riche en nickel et magnétique, s'aperçut que sa dilatation était au contraire sensiblement plus faible (6 fois environ) que celle des deux métaux constituants et d'un tiers plus faible que celle du platine (8,8). Ces deux anomalies positive et négative de la dilatation justifiant la supposition qu'on rencontrerait peut-être, pour d'autres proportions de nickel, des dilatations encore plus faibles, ont encouragé M. Guillaume à poursuivre cette étude systématiquement, ce qui lui a été facilité par la grande obligeance avec laquelle les aciéries d'*Imphy*, de la Société de *Commentry-Fourchambault*, se sont empressés de lui fournir les alliages acier-nickel aux différents titres, en se conformant exactement à ses indications. Grâce au concours de cette grande usine métallurgique et aux magnifiques comparateurs et

appareils du Bureau international, M. Guillaume a pu étudier de près *17* alliages différents d'acier au nickel, à partir de 5 % jusqu'à 44,4 % de nickel, non seulement au point de vue de leur *dilatation,* mais aussi de la *densité,* de *l'élasticité* et du *magnétisme.*

Les deux tableaux qui suivent font voir les principaux résultats obtenus par M. Guillaume, ainsi que les coefficients de dilatation de quelques métaux usités en horlogerie :

Tableau des résultats observés par M. Guillaume sur les alliages d'acier au nickel

Alliages en pour cent de nickel	Densité à 0°	Modules d'élasticité en tonnes par mm²	Coefficients de dilatation moyenne entre 0° et T°
0 %	7,84	22,0	$(10,354 + 0,00523 \times T) \times 10^{-6}$
5	7,787	21,7	$10,529 + 0,00580$
12,4	7,892	19,0	$11,714 + 0,00508$
16,8	7,892	18,3	$11,436 + 0,00170$
19,0	7,913	17,7	$11,427 + 0,00362$
21,8	8,034	19,7	$17,097 + 0,00974$
24	—	19,3	$17,484 + 0,00711$
26,2	8,096	18,5	$13,103 + 0,02123$
28	—	18,1	$11,288 + 0,02889$
30,8	8,049	16,0	$4,570 + 0,01194$
31,4	8,008	15,5	$3,395 + 0,00885$
34,6	8,006	15,1	$1,373 + 0,00237$
36,1	**8,098**	**14,7**	**$0,877 + 0,00127$**
36,4	8,082	14,9	$1,058 + 0,00320$
36,6	8,086	15,0	$1,144 + 0,00171$
37,5	8,005	14,7	$3,457 - 0,00647$
39,4	8,076	14,9	$5,357 - 0,00448$
44,4	8,120	16,4	$8,508 - 0,00251$
100,0	8,28	21,6	$(12,514 + 0,00674 \times T)$

Données comparatives pour quelques autres métaux

	Densité à 0°	Modules d'élasticité en tonnes par mm²	Coefficients de dilatation moyenne entre 0° et T°
Fer	7,20 — 7,79	20,8 — 21,0	11,560 — 12,205
Bronze	8,45 — 9,20	7,6 — 9,0	18,167 — 19,083
Laiton	7,30 — 8,65	9,3 — 9,4	18,782
Argent	10,512	7,36	19,780
Or	19,26	8,13	14,010
Platine	21,45	15,5 — 17,0	8,842
Iridium	22,40	—	6,83
Platine iridié à 10 % . . .	—	21,4	8,82
Palladium . .	12,05	9,8 — 11,8	10,000

Je vous rends surtout attentifs aux premiers chiffres de la *troisième colonne, celle de la dilatation;* ces chiffres indiquent les millionièmes dont ces alliages se dilatent par degré centigrade, ou, si vous voulez, le nombre de *microns* dont 1^{m} d'acier-nickel s'allonge. Cette dilatation, qui est donc 10,35 environ pour les aciers, s'accroît rapidement, au fur et à mesure que le pourcentage de nickel augmente, jusqu'à atteindre son maximum de 17$^{\mu}$,48 pour 24 % de nickel. A partir de ce point, la dilatation des aciers-nickels diminue encore plus rapidement qu'elle n'était montée; entre 24 % et 26,2 %, elle a déjà baissé de 17$^{\mu}$,484 à 13$^{\mu}$,103; elle atteint son minimum absolu de *0$^{\mu}$,877* pour une teneur de 36 % de nickel. A partir de ce point, la courbe se relève de nouveau rapidement, pour atteindre 8$^{\mu}$,12 pour 44,4 % de nickel, tandis que le nickel pur a une dilatation de 12$^{\mu}$,5.

Bien que ces dilatations capricieuses promettent sans doute de fournir d'importantes révélations sur les ondulations de chaleur et les mouvements moléculaires qui les font naître, — ce qui vous intéressera surtout, c'est le fait d'avoir trouvé un alliage qui se dilate non seulement 10 à 12 fois moins que ses métaux constituants, mais 12 à 13 fois moins que les fers, 18 à 19 fois moins que les laitons et les bronzes; sa dilatation est 15 fois plus faible que celle de l'or, 20 fois plus faible que celle de l'argent, 11 fois plus faible que celle du palladium; 7 fois plus faible que celle de l'iridium, et 10 fois plus faible que celle du platine iridié.

Cet alliage est donc bien le métal qui a la plus faible dilatation connue, qualité pour laquelle M. Guillaume lui a donné le nom bien trouvé de *Invar*. Il se dilate si peu qu'on doit entrevoir la possibilité de simplifier à l'avenir considérablement les balanciers compensés, puisque son coefficient est environ 20 fois plus faible que celui du laiton, et non seulement 2 fois plus petit, comme c'est le cas pour l'acier. Mais, même on pourra, pour les bonnes montres, employer un simple balancier non coupé, fait en cet alliage, puisque l'influence de la température sur leur marche sera à peine le $^1/_{20}$ de celle que subissent les balanciers en laiton.

Et là ne se bornent pas encore les particularités de cet alliage, ni les avantages qu'il offre à l'horlogerie; ainsi son module d'élasticité, quoique plus faible que pour l'acier ou le nickel pur, diminue et augmente ensuite avec le nickel; et chose principale, son module d'élasticité est encore notablement plus fort (même dans son minimum, 14,7) que celui du palladium, qu'on emploie cependant avec succès à la fabrication des

spiraux de chronomètres; ce qui justifie l'espoir qu'on pourra faire aussi des spiraux en acier-nickel, d'autant plus que vous verrez parmi les échantillons apportés, des fils assez fins qui ont été tirés à froid. En général, on affirme que cet alliage se prête parfaitement aux différentes opérations métallurgiques; il se martelle et il s'écrouit; il se rabote (voyez plutôt les buchilles que je fais circuler), il s'étire et il se polit admirablement. On le dit enfin bien moins accessible aux actions oxydantes de l'atmosphère que le fer ou l'acier. Sous tous ces rapports, ce nouveau métal mérite donc que le monde horloger essaie ses qualités.

Je n'ai plus que quelques mots à ajouter, d'abord au sujet du *magnétisme* de ces alliages. Certains alliages paraissent fortement magnétiques, alors que d'autres ne présentent que de faibles traces de magnétisme. En regardant de près, on trouve que les premiers sont réversibles, les autres irréversibles. Jusque vers 25 % de nickel, les alliages étudiés perdent leurs propriétés magnétiques à une température élevée, comprise entre le rouge sombre et le rouge cerise. Lorsqu'on les laisse refroidir, ils repassent par les mêmes températures, *sans reprendre leur magnétisme,* et ne retrouvent leurs propriétés premières qu'à une température d'autant plus basse que l'alliage est plus riche en nickel. Ainsi, pour l'alliage à 5 %, la transformation se produit au rouge très sombre; pour l'alliage à 24 % elle a lieu au-dessous de 0° et n'est complète que vers — 60°.

Et les alliages des plus fortes teneurs en nickel sont *réversibles en ce sens qu'ils perdent et reprennent leur magnétisme aux mêmes températures.* Donc, vous voyez, au

point de vue du magnétisme également, l'alliage se comporte très convenablement : il est attiré par l'aimant, en ne conservant que des traces d'aimantation, de sorte que, ni pour les spiraux, ni pour les balanciers en acier-nickel, du moins pour ceux à faible dilatation, il n'y a non plus rien à craindre de leur magnétisme.

Enfin, pour terminer, je dirai encore quelques mots au sujet des changements de longueur permanents ou lents que subissent ces alliages avec le temps; ces petites variations sont activées beaucoup par des recuits convenablement dirigés et se trouvent ensuite sensiblement atténués. Dans les moins dilatables, elles atteignent 1 à 2^{μ} dans le premier mois qui suit le recuit à 100°; dans le mois suivant, elles sont encore de 1^{μ} environ, après quoi elles deviennent difficilement perceptibles. Les observations des aciers-nickels sont encore trop récentes pour pouvoir affirmer dès à présent qu'on parviendra à faire disparaître entièrement ces variations lentes. M. Guillaume a cependant trouvé que ces changements sont d'autant plus petits qu'on est plus éloigné de la température de transformation magnétique, en d'autres termes que la stabilité moléculaire de l'alliage augmente avec la distance à cette transformation. Il lui semble donc probable que ces variations, qui se produisent aux températures ordinaires dans une règle préalablement recuite, se maintiendront dans les limites de tolérance que l'on doit admettre pour les étalons de second ordre et même pour les règles géodésiques. A plus forte raison elles ne dépasseront pas les limites exigibles pour les petits organes de la montre.

En tout cas, ces changements permanents sont

compensés et au delà par la faible dilatation de ces alliages, qui rendent les effets de température 20 fois moins importants que pour le laiton et dix fois plus que pour l'acier.

Puisse l'un ou l'autre de nos horlogers tenter de contribuer à la conquête de cet alliage; il rendrait service à la science, en même temps qu'il agirait dans l'intérêt de notre industrie nationale.