

Pile thermo-électrique de MELLONI (ou thermopile de NOBILI)

Fonction

➤ A surtout été utilisée pour la mise en évidence, voire la mesure, de la chaleur rayonnante.

Principe

➤ Cette pile utilise l'**effet SEEBECK**⁽¹⁾, l'un des trois⁽²⁾ effets de la Thermoélectricité et qui concerne l'apparition d'une force électromotrice, donc d'un courant électrique, dans un circuit métallique fermé formé de **deux métaux** différents et dont les deux soudures sont à des **températures différentes**.

(1) *SEEBECK Thomas Johann (1770-1831) : physicien allemand qui découvrit, entre autres, à l'Université de Berlin, l'effet qui porte son nom.*

(2) *Les deux autres effets étant ceux de PELTIER et THOMSON.*

Quelques éléments de physique et d'histoire des sciences

➤ **La découverte de l'effet.**

SEEBECK remarqua, en 1821, que l'aiguille d'une boussole est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de natures différentes et dont les jonctions ne sont pas à la même température T .

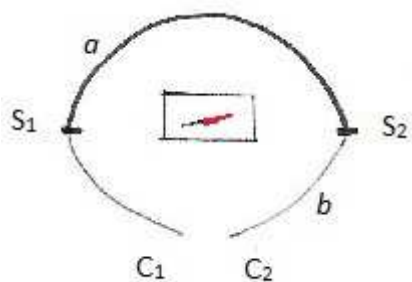


Figure 1. *Expérience de SEEBECK.*

L'expérience peut être réalisée avec un circuit formé de deux lames, a et b , de cuivre et de bismuth, soudées ensemble et recourbées de manière à laisser entre elles un espace vide dans lequel sera placée une aiguille aimantée sur pivot (**Figure 1**). Si l'on chauffe l'une des soudures, la déviation de l'aiguille correspond à un courant électrique qui circule de la soudure chaude à la soudure froide dans le cuivre ou de la soudure froide à la soudure chaude dans le bismuth. Si l'on chauffe l'autre soudure et refroidit celle que l'on avait échauffée précédemment, le courant circule encore, mais dans l'autre sens.

SEEBECK essaya d'interpréter ces faits en supposant l'apparition d'un champ magnétique. Ce n'est que bien plus tard que fut comprise l'origine électrique du phénomène, avec l'apparition d'une force électromotrice à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température.

L'ensemble de deux métaux soumis à une différence de température, capables de transformer directement de la chaleur en énergie électrique, porte le nom de **couple thermoélectrique** ou **thermocouple**. Dès le XIX^{ème} siècle, en réunissant en série plusieurs de ces couples, on parlait de **pile thermoélectrique** ou **thermopile**.

➤ **Le coefficient SEEBECK.**

Pour de faibles différences de température, on peut considérer la force électromotrice d'un couple et par suite l'intensité du courant produit comme proportionnels à cette différence.

Les deux soudures S_1 et S_2 , entre les deux métaux a et b , étant portées aux températures T et $T + dT$, soit dV la différence de potentiel qui apparaît entre les points C_1 et C_2 . En circuit ouvert, le coefficient SEEBECK, noté S_{ab} , du couple de matériaux ou **pouvoir thermoélectrique**, est défini par la relation :

$$S_{ab} = \frac{dV}{dT} = \frac{V_{C_1} - V_{C_2}}{T_{S_1} - T_{S_2}}. \quad \text{Si pour } T_{S_1} > T_{S_2}, \text{ la différence de potentiel}$$

est telle que $V_{C_1} > V_{C_2}$, alors S_{ab} est positif.

Le coefficient SEEBECK de chacun des matériaux est lié au coefficient du couple par la relation : $S_{ab} = S_b - S_a$. Il s'exprime en $V.K^{-1}$ (ou plus généralement en $\mu V.K^{-1}$, compte tenu des valeurs de ce coefficient dans les matériaux usuels.)

➤ **Mesure du coefficient SEEBECK.**

« Dans la pratique, le coefficient SEEBECK ne peut être mesuré que pour un couple de matériaux. Il est donc nécessaire de disposer d'une référence. Ceci est rendu possible par la propriété des matériaux supraconducteurs d'avoir un coefficient Seebeck S nul. En effet, l'effet Seebeck est lié au transport d'entropie par les porteurs de charge au sein du matériau (électrons ou trous), or ils ne transportent pas d'entropie dans l'état supraconducteur. Historiquement, la valeur de S_{ab} mesurée jusqu'à la température critique de Nb_3Sn ($T_c=18K$) pour un couple $Pb-Nb_3Sn$ permet d'obtenir S_{Pb} jusqu'à 18K. La mesure de l'effet Thomson jusqu'à la température ambiante permet ensuite d'obtenir S_{Pb} sur toute la gamme de température, » (extrait de l'article sur l'effet SEEBECK de Wikipedia. Voir la netographie) ce qui confirma le statut de matériau de référence du plomb qui lui avait été attribué dans le courant du XIX^{ème} siècle.

En effet, les premières mesures des pouvoirs thermoélectriques des métaux ont été effectuées en 1823 par Antoine-César BECQUEREL. Elles sont rapportées dans le Cours de Physique de 1837 à l'École Polytechnique, par Gabriel LAMÉ. On y trouve notamment un classement des différents métaux dans une **série dite thermoélectrique** où ils sont rangés dans un ordre tel que chaque métal de la série étant associé à l'un quelconque des suivants donne un courant qui va du premier au deuxième, en passant par la source chaude. Les métaux cités sont, dans l'ordre :

Bismuth Platine Plomb Étain Cuivre Or Argent Fer Zinc Antimoine.

On vérifie ainsi que pour le couple cuivre-bismuth les sens des courants observés dans l'expérience de SEEBECK décrite ci-dessus, sont conformes au classement de la série thermoélectrique.

On retrouve cette même série, dans l'ouvrage de Jean-Baptistin BAILLE, « Production de l'électricité », publié en 1890. Le classement y diffère un peu de celui de BECQUEREL mais surtout, elle affiche les pouvoirs thermoélectriques des différents métaux (Voir en

Annexe) établis en prenant pour point de comparaison le plomb qui y figure avec un pouvoir nul.

Les tables les plus récentes sont établies en prenant le Hafnium comme métal de référence et donc avec un coefficient de SEEBECK fixé à zéro. Le coefficient du plomb est alors égal à $-0,58$.

➤ **Les applications directes.**

L'utilisation la plus connue de l'effet SEEBECK est la mesure des températures. Cet effet est également à la base de la génération d'électricité par effet thermoélectrique.

La première pile thermoélectrique a été construite par OERSTED et FOURIER. Elle se composait de quelques barreaux de bismuth et d'antimoine alternés et soudés les uns aux autres. Les points de soudure étaient portés de deux en deux, à des températures différentes.

NOBILI⁽³⁾ a réalisé, en 1830, une pile de ce genre. En associant cette pile à un galvanomètre, MELLONI⁽⁴⁾ obtint un appareil thermométrique d'une très grande sensibilité auquel il donna le nom de **thermo-multiplicateur**.

La pile de NOBILI et MELLONI est un instrument de laboratoire. Des piles, telles que celles de MARCUS, de CLAMOND ou encore de NOË, ont été construites au XIX^{ème} siècle pour une utilisation industrielle. Mais leur force électromotrice étant très faible, leur emploi dans l'industrie ne s'est pas généralisé.

(3) NOBILI Leopoldo (1784-1835) : physicien italien et inventeur de plusieurs instruments essentiels aux expériences de thermodynamique et d'électrophysiologie dont la pile thermoélectrique qui porte son nom et un galvanomètre astatique.

(4) MELLONI Macedonio (1798-1854) : physicien italien, connu pour ses recherches sur la chaleur rayonnante et la réalisation du thermomultiplicateur.

➤ **Où en est-on aujourd'hui ?**

Par la suite, même si certains résultats prometteurs avaient été obtenus, par exemple la découverte en 1950, par un académicien et chercheur russe IOFFÉ, des propriétés thermoélectriques des semi-conducteurs, la recherche scientifique en matière de thermoélectricité était devenue, à partir des années 1960, pratiquement insignifiante.

Il faudra attendre le milieu des années 1990 pour constater un regain d'intérêt pour ce domaine, confirmé par de très fortes demandes de brevets d'inventions à l'Institut National de la Propriété Industrielle (INPI).

La hausse du coût de l'énergie, les exigences environnementales et la possibilité de convertir un flux de chaleur en courant électrique à partir de sources de chaleur perdue comme les pots d'échappement des automobiles, les cheminées d'incinérateurs, les circuits de refroidissement des centrales nucléaires... expliquent en partie cette accélération des recherches. Les systèmes de conversion utilisant l'effet thermoélectrique ont cependant des rendements faibles ce qui limite, pour l'instant, les thermopiles à quelques applications pour lesquelles la fiabilité et la durabilité sont plus importants que les coûts et le rendement, dans le domaine spatial notamment.

Description

➤ La force électromotrice de la pile est d'autant plus grande que les thermocouples qui la composent sont plus nombreux. Leur agencement est donc réalisé de façon que le volume occupé par un nombre donné de couples soit le plus petit possible.

Chaque couple de cette pile est constitué d'un barreau de bismuth et d'un barreau d'antimoine soudés ensemble. La pile est composée d'une série de couches de couples, soudés alternativement les uns aux autres et repliés en accordéon (**Figure 2**), le dernier barreau de bismuth de la première couche étant relié électriquement au premier barreau d'antimoine de la seconde couche, et ainsi de suite.

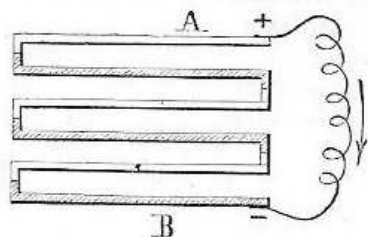


Figure 2. Montage des couples. GANOT 1884.

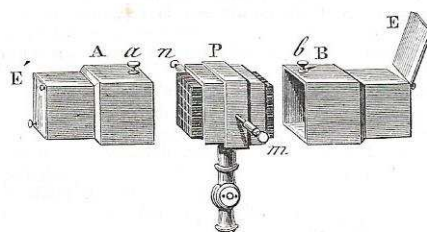


Figure 3. Dessin de la pile de MELLONI. GANOT 1884.

➤ Cet ensemble de couches, disposées parallèlement, les unes à côté des autres, est logé à l'intérieur d'un boîtier parallélépipédique en cuivre P, de façon que les soudures seules, paires d'une part, impaires d'autre part, apparaissent au dehors. Les diverses couches de barreaux sont isolées les unes des autres par des bandes de papier verni. Enfin, sur les côtés de l'appareil sont fixées deux bornes *m* et *n*, reliées l'une au premier antimoine, l'autre au dernier bismuth : ce sont les deux pôles de la pile (**Figures 3 et 4**). Pour protéger les deux séries de soudures, deux étuis rectangulaires A et B, se fixent par des vis de pression *a* et *b*, sur la pièce P. On peut fermer ces deux pavillons au moyen de deux carrés de laiton E et E'.



Figure 4. Pile de MELLONI.

L'ensemble est supporté par un pied orientable.

Procédure

➤ La pile est reliée à un galvanomètre qui, compte tenu de la petitesse de la force électromotrice, doit être de faible résistance interne, un galvanomètre de Nobili par exemple : l'ensemble constitue alors le **thermomultiplicateur de Melloni** (**Figure 5**). La source de chaleur que l'on veut étudier est approchée de l'entrée de l'un des pavillons. La différence des températures des soudures qui en résulte et qui peut être très faible, est mise en évidence par la

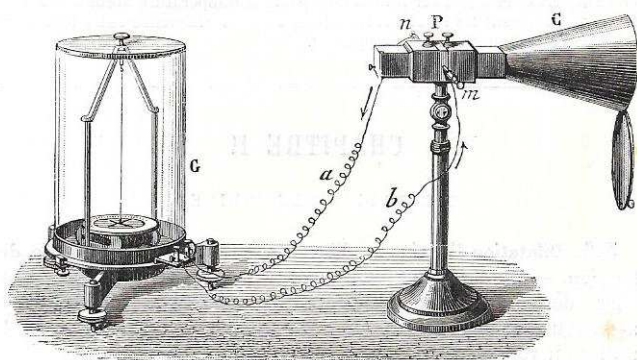


Figure 5. Thermomultiplicateur de MELLONI. Ganot 1884.

déviations de l'aiguille du galvanomètre.

L'adaptation sur le pavillon utilisé comme entrée du rayonnement, d'un cornet en laiton C, poli à l'intérieur, augmente notablement la sensibilité qui est telle qu'à la distance de un mètre, la chaleur de la main suffit pour provoquer l'apparition d'un courant détectable.

L'étalonnage préalable du thermo-multiplicateur permet la mesure de l'intensité du rayonnement. Mais l'extrême sensibilité du dispositif le rend difficile à graduer.

Phénomènes physiques mis en jeu

Transport de la chaleur par rayonnement et transformation de l'énergie calorifique en énergie électrique par l'effet thermo-électrique.

Applications (au XIX^{ème} siècle) : étude des spectres calorifiques de diverses sources, recherche des lois sur la distribution de chaleur et les variations de température dans les organes des végétaux et des animaux, appréciation des températures élevées...

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

GANOT A., *Traité de Physique*, Hachette, Paris, 1884.

BRUHAT G., *Électricité*, Masson & Cie, Paris, 1963.

BAILLE J.-B., *Production de l'électricité*, Hachette, Paris, 1890.

LAMÉ G., *Cours de Physique de l'École Polytechnique, Volume 3*, BACHELIER, Paris, 1840.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Thermoelectricite>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Seebeck

<http://aviatechno.net/thermo/thermo01.php>

ANNEXE

La série thermoélectrique en 1890

Une des principales données qui président au choix des métaux à employer dans la construction d'une pile de ce genre est le *pouvoir thermoélectrique* des différents métaux. Ce terme désigne la grandeur de la force électromotrice développée entre les soudures de deux métaux par une différence de température de 1 degré centigrade. Dans la table ci-dessous, on a pris comme point de comparaison le plomb ; les métaux dont les noms sont contenus dans cette table sont thermo-positifs par rapport à ceux qui les suivent. Ainsi un couple formé de bismuth et d'antimoine donnerait un courant allant du bismuth à l'antimoine à travers la soudure chaude. Les pouvoirs thermoélectriques sont exprimés en millièmes de volts (microvolts) par degré centigrade, à une température moyenne de 20 degrés centigrades.

Série thermoélectrique (Matthiessen).

Bismuth du commerce		Antimoine pur en fil .	2,8
en fil	97,0	Argent pur	3,0
Bismuth pur en fil . .	89,0	Zinc pur	5,7
Cobalt.	22,0	Cuivre galvanoplastique	5,8
Argent allemand . . .	44,75	Antimoine du commerce	
Mercure	0,418	en fil	6,0
<i>Plomb</i>	0	Arsenic	15,56
Étain	0,1	Fer, fil de piano . . .	17,50
Cuivre du commerce . .	0,1	Phosphore rouge . . .	29,70
Platine	0,0	Tellure	502,00
Or.	1,2	Sélénium	807,00

Si l'on veut connaître, par exemple, le pouvoir thermoélectrique d'un couple bismuth-antimoine, on n'a qu'à faire la somme des valeurs absolues par rapport au plomb ; le résultat sera donc $89,0 + 2,8 = 91,8$ microvolts par degré centigrade.