

Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 12 (1879-1882)

Artikel: Sur la conductibilité calorifique des corps solides
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-88153>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

2. Guide géologique pour le canton de Neuchâtel. Ce travail devait être publié en collaboration avec l'auteur de ces lignes. L'introduction seule est terminée.
3. Aperçu sur les Tenthredinides, lettre aux entomologistes neuchâtelois.
4. Description de diverses larves de Tenthredinides.
5. Observations sur le *Parnassius Appollo* et spécialement sur le *P. Mnemosyne*.

M. le Dr Weber lit le travail ~~suivant~~ suivant :

Sur la conductibilité calorifique des corps solides.

Les pages qu'on va lire font suite à un travail publié dans le Bulletin de la Société des sciences naturelles de Zurich (¹), où j'ai indiqué une méthode qui permet de trouver les coefficients de conductibilité intérieure (*k*) et extérieure (*h*) en valeurs absolues.

La détermination de la conductibilité s'y base sur l'état variable de la température du corps, auquel on donne préalablement une forme sphérique.

La partie théorique du travail part des équations différentielles

$$\frac{dt}{dz} + \frac{k}{cD} \left\{ \frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{dt}{dr} \right\} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dt}{dz} + \frac{h}{k} t = 0 \text{ pour } r = R \quad (2)$$

(¹) Vierteljahrschrift 1878, page 209.

et de leurs intégrales, données par Fourier en 1811 :

$$t = \frac{2hR}{k} C \sum_{i=1}^{i=\infty} \frac{\sin(\beta_i r)}{\beta_i r [\beta_i R \operatorname{cosec}(\beta_i R) - \cos(\beta_i R)]} e^{-\frac{k}{cD} \beta_i^2 z} \quad (3)$$

$$\frac{\beta R}{\operatorname{tg}(\beta R)} = 1 - \frac{hR}{k} \quad (4)$$

expressions dans lesquelles les lettres ont les significations suivantes :

t indique la température, en un temps z , d'un point qui se trouve à la distance r du centre de la sphère ;

R , le rayon de la sphère ;

k et h sont les coefficients de conductibilité intérieure et extérieure ;

D = la densité ;

c = la chaleur spécifique ;

C = une constante d'intégration ;

β_i = les racines de l'équation (4).

En introduisant certaines conditions, je suis arrivé aux relations suivantes :

$$k = \frac{cD}{\beta_1^2 (z_2 - z_1)} \cdot 2,302585. \log. \operatorname{com.} \frac{t_1}{t_2} \quad (5)$$

$$\frac{T_c}{t_0} = \frac{\beta_1 r_0}{\sin(\beta_1 r_0)} = \operatorname{Const.} \quad (6)$$

$$h = \frac{k}{R} \left\{ 1 - \frac{\beta_1 R}{\operatorname{tg}(\beta_1 R)} \right\} \quad (7)$$

Dans ces équations, t_1 et t_2 sont les températures en un même point aux moments z_1 et z_2 respectivement; T_c représente la température au centre de la sphère à un instant où la température à la distance r_0 du centre est t_0 .

L'équation (6) permet de calculer β_1 l'observation fournissant la valeur de $\frac{T_c}{t_0}$. Connaissant β_1 l'équation (5) donne k , et enfin l'équation (7) nous apprend la valeur de h .

La détermination de la densité D , des rayons R et r_0 . par l'expérience, ne présente aucune difficulté.

I. Les **densités** que j'ai trouvées sont les suivantes :

| | | | |
|--------------------|--------|-----------------|--------|
| Gneiss | 2,683 | Amiante | 0,609 |
| Basalte | 3,0144 | Verre de Bohême | 2,4343 |
| Marbre | 2,704 | Sel gemme | 2,161 |
| Terre cuite (fine) | 1,758 | Soufre | 1,951 |
| Paraffine | 0,818 | Hêtre | 0,715 |

II. Quant à la **chaleur spécifique** c , elle demande une détermination très exacte à cause de la grande influence que sa valeur exerce sur k et sur h . A cet effet, j'ai fait usage du calorimètre à eau. Pour toutes les observations, le même procédé fut suivi et les mêmes corrections furent apportées, toutes décrites dans la première partie de ce travail. Il n'y a qu'une différence, c'est que j'ai tenu compte principalement de la valeur en eau qui a été trouvée comme moyenne de plusieurs déterminations expérimentales.

J'ai trouvé de la sorte pour :

le **Gneiss**, entre 0° et 60°

$$c = 0,1723 + 0,00035 t$$

et entre 60° et 120°

$$c = 0,2005 + 0,00025 (t - 60^{\circ})$$

la **Paraffine**, entre -10° et 0°

$$c = 0,5156 - 0,0170 t$$

et entre 0° et $+10^{\circ}$

$$c = 0,5156 + 0,0179 t$$

| le Basalte. | Intervalles de température | <i>c</i> |
|--------------------|--|--------------------------|
| | 17 ^o ,46 à 99 ^o ,18 | 0,1908 |
| | 17,65 à 99,18 | 0,1953 |
| | 17,40 à 98,99 | 0,1969 |
| | 14,69 à 98,78 | 0,1917 |
| Moyenne | <u>16^o,80 à 99^o,04</u> | <u><i>c</i> = 0,1937</u> |
| | 15 ^o ,87 à 189 ^o ,0 | 0,2237 |
| | 17,27 à 189,0 | 0,2246 |
| | 15,49 à 194,6 | 0,2110 |
| | 15,71 à 195,0 | 0,2176 |
| | 15,54 à 205,0 | 0,2219 |
| | 15,04 à 204,8 | 0,2274 |
| Moyenne | <u>15^o,82 à 196^o,2</u> | <u><i>c</i> = 0,2209</u> |

Il en résulte une variation de la chaleur spécifique, qui s'exprime sensiblement par une fonction du premier degré, savoir :

$$c = 0,1610 + 0,00056 t$$

| Marbre. | Intervalles de température | <i>c</i> |
|----------------|---|----------|
| | 15 ^o ,56 à 98 ^o ,83 | 0,2368 |
| | 14,70 à 98,83 | 0,2357 |
| | 14,32 à 98,83 | 0,2389 |
| | 13,86 à 98,84 | 0,2352 |

| | | |
|---------|---|-------------------|
| | 14,28 à 98,84 | 0,2378 |
| | 14,72 à 98,69 | 0,2393 |
| Moyenne | <u>14^o,57 à 98^o,81</u> | <u>c = 0,2373</u> |
| | 14 ^o ,92 à 219 ^o ,25 | 0,2672 |
| | 13,80 à 221,0 | 0,2732 |
| | 13,78 à 221,0 | 0,2655 |
| | 12,59 à 216,5 | 0,2707 |
| | 12,38 à 216,7 | 0,2649 |
| | 12,24 à 219,2 | 0,2632 |
| | 11,28 à 217,1 | 0,2656 |
| | 11,20 à 217,1 | 0,2617 |
| | 11,11 à 228,0 | 0,2657 |
| | 12,02 à 217,9 | 0,2655 |
| | 11,60 à 217,9 | 0,2632 |
| | 11,71 à 217,9 | 0,2629 |
| Moyenne | <u>12^o,39 à 219^o,14</u> | <u>c = 0,2658</u> |

Ces résultats montrent que la *chaleur spécifique du marbre varie avec la température*. Elle s'exprime sensiblement par

$$c = 0,2099 + 0,00048 t$$

| Soufre. | Intervalles de température | <i>c</i> |
|----------------|--|--------------------|
| | 77 ^o ,59 à 16 ^o ,18 | 0,1794 |
| | 77,57 à 16,18 | 0,1791 |
| | 77,43 à 16,63 | 0,1816 |
| Moyenne | <u>77^o,53 à 16^o,33</u> | <u>c = 0,18092</u> |

La température de 77^o,53 est celle de l'esprit de vin bouillant; elle a été déterminée à l'aide d'un thermomètre à mercure très fin.

| | |
|--|--------|
| — 21 ^o ,6 à 12 ^o ,62 | 0,1578 |
| — 21,6 à 12,56 | 0,1571 |
| — 21,6 à 13,64 | 0,1629 |
| — 21,6 à 10,32 | 0,1719 |

| | |
|----------------------------|--------------|
| — 21,6 à 10,66 | 0,1713 |
| — 21,6 à 11,98 | 0,1743 |
| — 21,6 à 11,55 | 0,1678 |
| — 21,6 à 10,97 | 0,1661 |
| Moyenne — 21°,6 à + 10°,97 | $c = 0,1661$ |

Il y a donc aussi *variation de la chaleur spécifique* du soufre *avec la température*, et l'on peut écrire :

$$c = 0,1800 + 0,00002 t$$

Terre cuite (à grain fin).

| Intervalles de température | c |
|----------------------------|--------------|
| 98°,72 à 16°,74 | 0,2185 |
| 98,72 à 16,82 | 0,2234 |
| 98,72 à 16,20 | 0,2226 |
| 98,84 à 13,94 | 0,2122 |
| Moyenne 98°,75 à 15°,92 | $c = 0,2192$ |
| 197°,4 à 15°,22 | 0,2532 |
| 162,7 à 16,92 | 0,2569 |
| 187,0 à 17,48 | 0,2429 |
| 185,0 à 18,00 | 0,2389 |
| 190,5 à 17,89 | 0,2231 |
| 181,5 à 17,80 | 0,2549 |
| Moyenne 184°,0 à 17°,22 | $c = 0,2475$ |

La chaleur spécifique de cette espèce de terre cuite est donc fournie par la relation :

$$c = 0,1851 + 0,0006 t$$

D'après l'analyse de M. le D^r O. Billeter, cette terre se compose de :

Silice 67 %

Alumine 24 % (y compris une petite quantité de fer).

Chaux, etc. 9 %

Amiante. La moyenne de sept déterminations, faites dans l'intervalle de température de 98°,62 à 14°,58, est $c = 0,3639$.

Quatre déterminations, faites dans l'intervalle de 183°,0 à 15°,54, donnèrent $c = 0,3619$, d'où il résulte que :

$$c = 0,3664 - 0,00004 t$$

Verre de Bohême.

| | Intervalles de température | c |
|---------|----------------------------|--------------|
| | 98°,58 à 16°,08 | 0,2318 |
| | 98,58 à 17,46 | 0,2223 |
| | 98,58 à 17,64 | 0,2203 |
| | 98,69 à 12,60 | 0,2254 |
| | 98,69 à 13,84 | 0,2241 |
| | 98,63 à 14,86 | 0,2282 |
| Moyenne | 98°,63 à 15°,41 | $c = 0,2254$ |
| | 190°,5 à 18°,14 | 0,2427 |
| | 181,0 à 13,78 | 0,2479 |
| | 249,2 à 15,64 | 0,2715 |
| | 276,0 à 16,95 | 0,2707 |
| Moyenne | 224°,2 à 16°,13 | $c = 0,2582$ |

La chaleur spécifique du verre de Bohême, à la température t° , est donc :

$$c = 0,1959 + 0,00052 t$$

Sel gemme.

| | Intervalles de température | c |
|---------|----------------------------|--------------|
| | 99°,15 à 15°,72 | 0,2250 |
| | 99,13 à 16,66 | 0,2215 |
| | 99,29 à 15,64 | 0,2306 |
| | 99,29 à 19,00 | 0,2094 |
| | 99,24 à 11,62 | 0,2347 |
| | 99,24 à 17,19 | 0,2235 |
| Moyenne | 99°,22 à 15°,97 | $c = 0,2241$ |

| | | |
|---------|------------------------|--------------------------------|
| | 262,0 à 18°,28 | 0,2325 |
| | 261,0 à 16,62 | 0,2450 |
| | 259,5 à 16,45 | 0,2332 |
| | 279,0 à 13,62 | 0,2352 |
| | 276,0 à 16,60 | 0,2405 |
| | 279,0 à 15,64 | 0,2408 |
| Moyenne | <u>269°,4 à 16°,20</u> | <u>$c = 0,2379$</u> |

La variation de la chaleur spécifique du sel gemme avec la température est donc donnée par la relation :

$$c = 0,2146 + 0,00017 t$$

Dans les recherches auxquelles sa chaleur spécifique donna lieu, le sel gemme fut projeté dans de l'huile d'olive et, pour ne pas introduire dans le calorimètre de l'huile adhérente au sel, le même sel ne fut employé qu'une seule fois.

Cet emploi de l'huile d'olive demandait une détermination soigneuse de la chaleur spécifique de l'huile du calorimètre. Voici comment je m'y pris : je déterminai préalablement la chaleur spécifique d'environ 90 grammes de cuivre, mis sous forme de petits cylindres. La méthode ordinaire me donna, comme moyenne de quatre valeurs très concordantes, pour la chaleur spécifique du *cuivre* :

$$c = 0,0966 \text{ pour } t = 57^\circ$$

Ce cuivre fut ensuite introduit dans le calorimètre qui contenait l'huile d'olive à chaleur spécifique inconnue. Toutes les données nécessaires pour le calcul de cette seule inconnue furent trouvées comme d'ordinaire. La solution de l'équation donna, comme valeur moyenne de trois expériences, la chaleur spécifique de *l'huile d'olive* :

$$c = 0,4743$$

| Hêtre. | Intervalles de température | <i>c</i> |
|---------------|----------------------------|--------------|
| | 98°,74 à 18°,04 | 0,5377 |
| | 98,69 à 15,57 | 0,5271 |
| | 98,57 à 12,98 | 0,5422 |
| | 98,77 à 16,36 | 0,4939 |
| Moyenne | 98°,69 à 15°,74 | $c = 0,5252$ |
| | — 21°,6 à + 14°,9 | 0,3025 |
| | — 21,6 à + 15,7 | 0,2984 |
| Moyenne | — 21°,6 à + 15°3 | $c = 0,3004$ |

La chaleur spécifique du hêtre se trouve donc, pour des températures comprises entre 0° et 100°, à l'aide de l'expression :

$$c = 0,311 + 0,0037 t$$

Il importe d'ajouter que le bois qui a servi à la détermination avait été taillé en petits parallépipèdes de $\frac{1}{4}$ cm³ environ, et bien séché à l'air et au soleil.

Il résulte des recherches qui viennent d'être exposées que, pour tous les corps essayés, *la chaleur spécifique varie avec la température*, et, de plus, que *cette variation est en général proportionnelle à la température*. Parmi les corps étudiés, il n'y a que l'amiante qui semble faire exception, en ce sens que sa chaleur spécifique diminue très faiblement alors que la température augmente.

III. Détermination des températures. Pour la mesure des températures, j'ai fait usage dans tous les cas d'un thermomètre à mercure, divisé en dixièmes de degrés et bien vérifié.

Pour la mesure des températures aux différents

points des boules sur lesquelles les expériences furent faites, j'ai eu recours à une pile thermo-électrique, comme seul moyen pour trouver, à un instant donné, la température variable d'un point.

Ces piles se composaient de trois fils métalliques, l'un de nickel, les deux autres de cuivre ; les trois, de un mètre de longueur environ. Les extrémités du fil de nickel furent soudées chacune à l'une des extrémités d'un des fils de cuivre. L'argent servit de moyen de soudure. A l'exception de ces soudures, les fils n'étaient en contact ni entre eux, ni avec un métal extérieur. Une enveloppe, soigneusement établie avec du fil de soie, tint lieu d'isolateur. Suivant les conditions, ces éléments furent quelquefois imprégnés d'une substance isolante ; quelquefois de petits tuyaux en verre devaient rendre l'isolation plus parfaite ou plus sûre.

En mettant les deux extrémités libres des fils de cuivre en communication avec un galvanomètre de Wiedemann, et en exposant en même temps les deux soudures à des températures différentes, il en résulte un courant électrique qui fait dévier l'aimant du galvanomètre. La force électromotrice du courant, son intensité, et par suite, en troisième lieu, la déviation s , observée dans le miroir sur l'échelle située à une distance de 2^m environ, dépendent de la différence des températures des deux soudures. On trouve comme relation existant entre cette différence des températures et la déviation s :

$$s = A (t_1 - t_2) + B (t_1 - t_2)^2$$

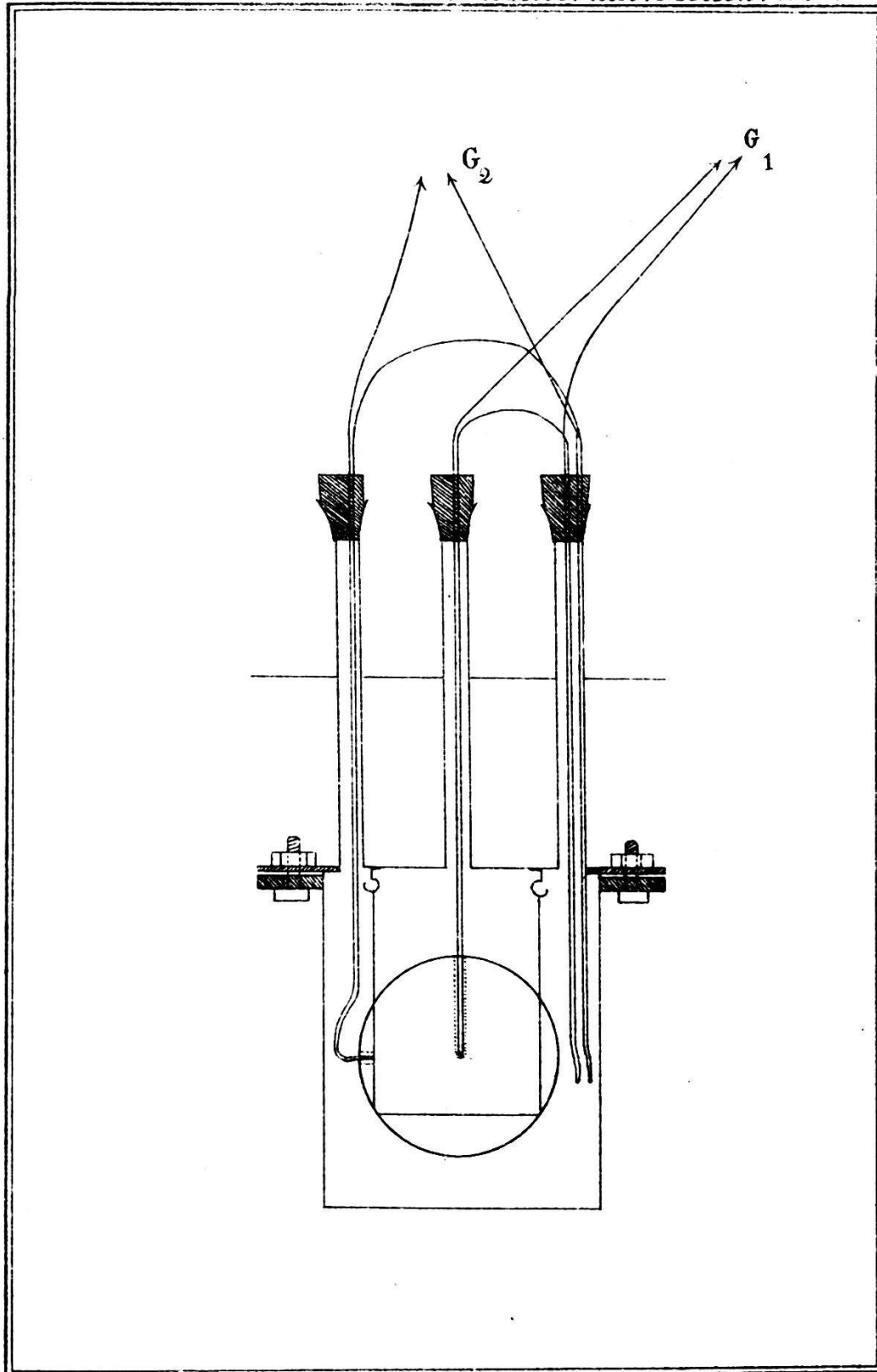
Dans cette formule, t_1 et t_2 représentent les températures des deux soudures, et A et B deux constantes qui sont à déterminer à part pour chaque arrange-

ment spécial et pour chaque couple thermo-électrique.

L'emploi de l'aimant de Haüy permet de donner à l'aimant du galvanomètre un mouvement parfaitement apériodique, ensorte qu'une lecture pouvait être faite en moins de 10 secondes. En réglant, en outre, la distance des bobines du galvanomètre, on rend l'instrument assez sensible pour pouvoir indiquer une différence de température $t_1 - t_2$ de $1/100$ à $1/250$ de degré centigrade.

Je n'indique pas, dans ce travail, comment on détermine les constantes A et B et comment j'ai calculé les valeurs de k et de h d'une quelconque des séries d'observations.

IV. Procédé d'observation pour la détermination des conductibilités calorifiques et résultats obtenus. Tous les fragments de corps qui ont servi à la détermination de la conductibilité calorifique ont été mis sous la forme d'une sphère, soigneusement tournée et de diamètre variant, suivant le corps, de 5^{cm} à 7^{cm}. Cette sphère a été percée de deux trous : l'un aboutissant au centre, l'autre allant jusqu'à quelques millimètres seulement de la surface. Le diamètre de ces trous était de 2^{mm} dans certains cas, et jusqu'à 4^{mm} dans d'autres. Ces trous ont permis de mesurer la température au centre et à une petite distance de la surface de la boule, au moyen des piles thermo-électriques. La sphère en question fut suspendue au couvercle d'un vase de cuivre. A cet effet, le couvercle est muni de quatre crochets, desquels partent des fils de coton pour retenir un anneau très mince, à environ 7^{cm} du couvercle. A l'aide de



très fortes vis, le couvercle à bord renforcé fut fixé solidement sur le bord également renforcé du vase. Ce vase a un diamètre de 11^{cm} environ, sur 14^{cm} de hauteur. Les *bords renforcés* et bien adoucis ont une largeur de 3^{cm}. Une feuille de papier un peu fort et huilé, bien serrée entre les deux bords, empêche l'entrée dans le vase de toute eau ou vapeur.

Le couvercle du vase porte en outre quatre tuyaux de laiton de 1^{cm} de diamètre et de 12^{cm} environ de longueur. Un des tuyaux se trouve juste au centre du couvercle : il permet au couple thermo-électrique d'arriver de l'intérieur au centre de la sphère. Un autre tuyau se trouve sur le bord, de façon que le couple thermo-électrique qui y passe arrive sans toucher ni le bord du vase, ni la boule à l'orifice par lequel on mesure la température de la boule en un point situé près de la surface. Les deux autres tuyaux se trouvent l'un à côté de l'autre, diamétralement opposés au second. Ils sont destinés à recevoir les deux autres soudures des couples thermo-électriques. A mi-longueur, les tuyaux passent à travers une lame métallique de 3 centimètres de large. Celle-ci supporte librement le vase au couvercle d'une caisse en bois. Pour rendre plus commode la décomposition du tout, le couvercle en bois est coupé en deux par son milieu. Trois rainures perpendiculaires à l'arête de séparation, correspondant aux quatre tuyaux de laiton, permettent de rapprocher suffisamment les deux parties du couvercle pour que la caisse en bois soit toujours fermée. Comme, d'après les conditions de la théorie, la boule doit être exposée alternativement à deux températures différentes, on place le vase en cuivre et la boule dans une grande cuve d'eau (d'en-

viron 110 litres), à la température de la salle et dans la caisse en bois déjà mentionnée, à l'intérieur de laquelle circule un courant de vapeur d'eau. Les vapeurs se forment en abondance dans une petite chaudière, puis sont conduites par un embranchement en deux points opposés de la caisse. Celle-ci communique avec l'air libre par un tuyau ouvert. De cette manière, la vapeur dégagée en excès passe librement et sans augmenter ni la pression, ni la température de la vapeur de la chaudière. La hauteur du baromètre fait connaître ensuite la température de la vapeur.

La soudure de l'un des deux couples thermo-électriques employés passe par le tuyau du milieu jusqu'au centre de la boule; l'autre soudure traverse l'un des tuyaux latéraux et se trouve libre à mi-hauteur du vase de cuivre. Du second couple, l'une des soudures est tout près de celle-ci, et l'autre pénètre dans l'orifice réservé pour y mesurer la température d'un point situé près de la surface. Les soudures mêmes, afin qu'elles prennent immédiatement et à coup sûr la température des points de la boule (au centre et près de la surface), sont entourées chaque fois, soit de ciment dont les vitriers font usage, soit de sel, soit de l'alliage de Wood, suivant la nature du corps.

Les extrémités libres de l'un ou de l'autre des couples entrent facilement dans deux godets pleins de mercure. Ces mêmes godets sont mis en communication, une fois pour toutes, avec les bobines du galvanomètre à miroir.

Les couples thermo-électriques ne restent en contact avec les godets que pendant les 20 secondes en-

viron qu'il faut pour faire deux lectures correspondantes. Ces lectures se sont faites toujours dans l'ordre suivant: 1^o lecture de la position d'équilibre de l'aimant; 2^o lecture de la déviation correspondant à la température du centre; 3^o lecture de la déviation correspondant à la température de la surface; 4^o lecture de la position d'équilibre. Ainsi de suite toutes les cinq minutes: la première lecture 10 secondes environ avant l'heure, la deuxième à l'heure juste, la troisième 10 secondes après, la quatrième 15 à 20 secondes après l'heure. Les deux lectures de la position d'équilibre doivent éliminer, autant que possible, la variation de déclinaison, les changements accidentels, etc.

Telle fut la marche des expériences en grand: les vapeurs dégagées dans la chaudière, une fois arrivées dans la caisse en bois, chauffent celle-ci d'abord à 100^o environ, puis le vase de cuivre et la boule. Les couples thermo-électriques bien disposés y sont renfermés. Au bout d'une heure environ, la lecture des déviations peut commencer, celles-ci étant de 300 à 500 divisions de l'échelle, et la lecture peut se faire pendant une heure ou deux. Seulement il ne faut pas descendre au-dessous de 50 à 60 divisions, parce que l'influence des petites perturbations deviendrait trop grande et rendrait les résultats peu sûrs. Si on laisse le vase et la boule dans les vapeurs encore deux à trois heures, la différence entre la température au centre et celle de la vapeur est si faible qu'il n'en résulte plus qu'une déviation de 5 à 10 divisions. Après ce temps, on interrompt le dégagement de la vapeur et on introduit rapidement le vase de cuivre dans la cuve à eau, c'est-à-dire dans un milieu qui est à une

température de 10° à 20° , suivant la saison. En remuant celle-ci constamment, on arrive à établir dans le vase une température constante, grâce à la grande conductibilité du cuivre et à la grande chaleur spécifique de l'eau. Une heure environ après l'immersion du vase, on commence cette fois encore à faire les lectures, de 5 en 5 minutes, par exemple. Cela donne de 14 à 18 lectures correspondantes. Ce procédé permet ensuite de calculer la conductibilité intérieure (k) et extérieure (h) de la chaleur, à des températures de 90° à 93° et de 18° à 23° .

Sans nul doute, il entre dans ces résultats l'influence perturbatrice des fils métalliques qui forment les couples thermo-électriques, l'influence des fils de suspension, l'influence des trous pratiqués dans la boule et l'influence du gaz qui adhère à la surface de la boule. Quoique les fils métalliques soient minces (diamètre = $\frac{4}{9}$ mm pour le cuivre et $\frac{3}{9}$ mm pour le nickel) et bien isolés contre le corps, ils enlèveront pourtant plus de chaleur que la boule n'en céderait sans cela; le refroidissement sera donc trop prompt et la valeur de k probablement un peu trop grande. Après cette influence, celle du milieu ambiant sera la moins négligeable. Le gaz chaud à la surface n'est pas échangé immédiatement contre du gaz qui a la température ambiante théoriquement demandée; le refroidissement se fera moins vite, le coefficient de conductibilité aura une valeur un peu trop petite. En négligeant pour le moment ces perturbations (nous y reviendrons), voici les *résultats* obtenus :

1^o Basalte.

Le morceau de basalte qui a servi à la fabrication de la boule a été tiré d'une colonne provenant de la

carrière de Schwarzenberg⁽¹⁾, colonne très homogène et à grain très fin. Le rayon de la boule était :

$$R = 3^{\text{cm}},025$$

$$\text{et } r_0 = 2^{\text{cm}},775$$

Par observation directe, j'ai obtenu les données suivantes, où R_1 et R_2 désignent les positions de repos de l'aiguille, C et S les déviations correspondant au centre et au point près de la surface, T_a = la température ambiante :

| TEMPS | R_1 | C | S | R_2 | T_a |
|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| 9h10m | Immersion dans la température | | | | 98°,75 |
| 10»25 | 415,6 | 843,6 | 668,4 | 415,4 | 98°,75 |
| 10»30 | 410,4 | 770,0 | 622,4 | 410,8 | |
| 35 | 410,0 | 709,0 | 583,0 | 409,0 | |
| 10»40 | 408,6 | 658,4 | 554,0 | 408,6 | |
| 45 | 406,0 | 617,0 | 528,6 | 406,6 | 98°,75 |
| 10»50 | 404,4 | 583,4 | 506,4 | 404,4 | |
| 55 | 396,6 | 546,8 | 481,4 | 396,0 | |
| 11»— | 452,4 | 594,4 | 531,6 | 452,8 | 98°,75 |

Après avoir calculé les températures qui correspondent aux déviations C et S , à l'aide des constantes A et B , cette série donne comme moyenne des

$$\frac{T_c}{t_0} = 1,327, \text{ comme moyenne des } \log \log \frac{T_1}{T_2} = \bar{2},87910$$

et des $\log \log \frac{t_1}{t_2} = \bar{2},89653$ pour la température

moyenne de 94°,0. On a donc :

$$c = 0,2145, \text{ et } \log \beta_1 = \bar{1},66209.$$

Les valeurs des coefficients de conductibilité corres-

(¹) Près de Linz, sur le Rhin.

pendant aux températures au centre et à celle de la surface deviennent :

$$\begin{array}{ll} k_c = 0,001781 & k_s = 0,001853 \\ h_c = 0,0004386 & h_s = 0,0004566 \end{array} \left(\begin{array}{l} \text{cm.} \\ \text{gr.} \\ \text{sec.} \\ 1^\circ \text{C.} \end{array} \right)$$

En prenant les moyennes, elles sont :

$$k = 0,001817 \quad h = 0,0004476 \text{ à } 94^\circ,0$$

Le même jour, par l'immersion de la boule dans l'eau, j'ai trouvé :

$$\begin{array}{ll} k_c = 0,0014364 & k_s = 0,0013608 \\ h_c = 0,0002567 & h_s = 0,0002432 \end{array} \left(\begin{array}{l} \text{cm.} \\ \text{gr.} \\ \text{sec.} \\ 1^\circ \text{C.} \end{array} \right)$$

Les moyennes sont cette fois :

$$k = 0,0013986 \quad h = 0,0002400 \text{ à } 22^\circ,9$$

Ces valeurs des coefficients de conductibilité sont constatées par d'autres séries sensiblement identiques.

Il s'ensuit donc que pour le *basalte*, les coefficients de conductibilité calorifique extérieurs et intérieurs varient proportionnellement à la température et cela sensiblement suivant les relations :

$$\begin{array}{l} k = 0,0012637 (1 + 0,00474 t) \\ h = 0,0002054 (1 + 0,00735 t) \end{array} \left(\begin{array}{l} \text{cm.} \\ \text{gr.} \\ \text{sec.} \\ 1^\circ \text{C.} \end{array} \right)$$

2° **Marbre.**

Le marbre qui a servi pour les déterminations de k et h n'était pas tout à fait blanc, de provenance inconnue, mais de rayons :

$$\begin{array}{l} R = 3^{\text{cm}},605 \\ r_0 = 2^{\text{cm}},995 \end{array}$$

Comme exemples des observations directes faites sur le marbre, je citerai encore la suivante, faite à basse température :

| TEMPS | R_1 | C | S | R_2 | T_a |
|--------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 4 ^h 48 ^m | Immersion dans l'eau de | | | | 18°,2 |
| 6»05 | 432,4 | 1000 | 958,0 | 433,0 | 18°,2 |
| 6»10 | 437,0 | 967,4 | 916,0 | 436,6 | |
| 15 | 439,6 | 921,0 | 881,0 | 441,0 | |
| 6»20 | 445,0 | 872,2 | 838,0 | 447,0 | |
| 25 | 448,8 | 838,4 | 801,8 | 451,0 | |
| 6»30 | 455,0 | 803,2 | 775,4 | 458,0 | |
| 35 | 466,0 | 795,0 | 765,2 | 470,6 | |
| 6»40 | 481,0 | 779,0 | 756,8 | 486,0 | 18°,2 |
| 45 | 495,6 | 769,2 | 746,8 | 497,4 | |
| 6»50 | 477,2 | 710,0 | 695,0 | 481,6 | |
| 55 | 500,0 | 718,8 | 700,0 | 500,0 | |
| 7»— | 507,4 | 711,0 | 694,0 | 508,6 | |
| 05 | 461,8 | 626,0 | 612,4 | 463,2 | 18°,2 |
| 7»10 | 468,0 | 618,0 | 607,0 | 470,0 | |
| 15 | 470,6 | 606,6 | 595,0 | 470,0 | |
| 7»20 | 470,0 | 593,4 | 583,6 | 470,0 | |
| 25 | 463,4 | 573,0 | 564,2 | 463,0 | |
| 7»30 | 456,0 | 557,0 | 549,8 | 458,0 | 18°,2 |

La température moyenne de l'intervalle pour lequel la conductibilité est supposée constante, est égale à 26°,7. La chaleur spécifique est donc $c = 0,22146$;

la constante $\frac{T_c}{t_o} = 1,2363$; les $\log \log \frac{T_1}{T_2} = \bar{2},64680$, et

$\log \log \frac{t_1}{t_2} = \bar{2},64650$. Les coefficients de conductibi-

lité intérieure et extérieure prennent les valeurs :

$$\left. \begin{array}{l} k_c = 0,0014933 \\ h_c = 0,00027967 \end{array} \right\} \begin{array}{l} k_s = 0,0014932 \\ h_s = 0,00027947 \end{array} \quad t = 26^{\circ},7$$

A la température élevée, elles ont été le même jour :

$$\left. \begin{array}{l} k_c = 0,0027484 \\ h_c = 0,00046072 \end{array} \right\} \begin{array}{l} k_s = 0,0027310 \\ h_s = 0,00045780 \end{array} \quad t = 91^{\circ},0$$

Ce qui précède nous donne le résultat suivant :

Les coefficients de conductibilité calorifique du marbre varient suivant la température, et cette variation s'exprime sensiblement comme suit :

$$\begin{array}{l} k = 0,0009751 (1 + 0,01988 t) \\ h = 0,00020494 (1 + 0,0136 t) \end{array} \quad \left(\begin{array}{l} \text{cm.} \\ \text{gr.} \\ \text{sec.} \\ 1^{\circ} \text{ C.} \end{array} \right)$$

3^o Gneiss.

Les dimensions de la boule en gneiss sont :

$$\begin{array}{l} R = 2^{\text{cm}},982 \\ r_0 = 2^{\text{cm}},960 \end{array}$$

Elle donne comme valeur, pour la conductibilité, contrairement à ce qui est dit dans la première partie, à la basse température de 22^o,1.

$$\begin{array}{l} k_c = 0,0010544 \\ h_c = 0,0002612 \end{array} \quad \begin{array}{l} k_s = 0,0010029 \\ h_s = 0,0002484 \end{array}$$

et à la haute température de 94^o,2, cette valeur est :

$$\begin{array}{l} k_c = 0,0015085 \\ h_c = 0,0004220 \end{array} \quad \begin{array}{l} k_s = 0,0015033 \\ h_s = 0,0004205 \end{array}$$

Les moyennes de ces résultats nous apprennent de nouveau que *les coefficients de conductibilité calorifique du gneiss varient suivant la température, et cela sensiblement comme suit :*

$$\begin{aligned} k &= 0,0008826 (1 + 0,00748 t) \\ h &= 0,0002038 (1 + 0,0113 t) \end{aligned} \left(\begin{array}{l} \text{cm.} \\ \text{gr.} \\ \text{sec.} \\ 1^\circ \text{C.} \end{array} \right)$$

4^o Verre de Bohême.

Le verre employé n'avait pas exactement la forme d'une sphère, mais plutôt celle d'un ellipsoïde de révolution peu aplati, dans lequel $a = 3^{\text{cm}},56$ et $b = c = 3^{\text{cm}},23$. En calculant alors le rayon de la sphère équivalant à l'ellipsoïde, j'ai trouvé :

$$\begin{aligned} R &= 3^{\text{cm}},390 \\ r_0 &= 2^{\text{cm}},760 \end{aligned}$$

Au centre de cette boule aboutissait un trou bien cylindrique de $4^{\text{mm}},0$ de diamètre. La masse, bien homogène, ne renfermait qu'un nombre restreint de petites bulles.

Voici les résultats obtenus avec une pile thermo-électrique plus forte que celle employée précédemment :

A haute température :

$$\left. \begin{array}{ll} k_c = 0,001452 & k_s = 0,001514 \\ h_c = 0,0004798 & h_s = 0,0005005 \end{array} \right\} t = 93^\circ,5$$

A température basse :

$$\left. \begin{array}{ll} k_c = 0,001437 & k_s = 0,001352 \\ h_c = 0,0002681 & h_s = 0,0002523 \end{array} \right\} t = 22^\circ,7$$

Les coefficients de conductibilité calorifique du verre de Bohême varient avec la température sensiblement comme suit :

$$\begin{aligned} k &= 0,001367 (1 + 0,000909 t) \\ h &= 0,0001865 (1 + 0,0174 t) \end{aligned}$$

5° **Terre cuite** (à grain fin).

La terre a été cuite avec des tuiles dans le four d'une tuilerie, puis tournée en forme de boule, dont :

$$R = 3^{\text{cm}},40$$

$$r_0 = 2^{\text{cm}},74$$

Elle donnait, à la haute température :

$$\begin{array}{l} k_c = 0,0009825 \\ h_c = 0,0004290 \end{array} \quad \begin{array}{l} k_s = 0,0009152 \\ h_s = 0,0003997 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} k_c \\ h_c \end{array}} \right\} t = 94^{\circ},1$$

A la basse température, j'ai trouvé :

$$\begin{array}{l} k_c = 0,0009432 \\ h_c = 0,0003203 \end{array} \quad \begin{array}{l} k_s = 0,0009403 \\ h_s = 0,0003193 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} k_c \\ h_c \end{array}} \right\} t = 25^{\circ},9$$

On obtient donc, comme *coefficient de conductibilité calorifique pour la terre cuite, variant avec la température*, l'expression suivante :

$$k = 0,0009377 (1 + 0,000344 t)$$

$$h = 0,0002841 (1 + 0,00485 t)$$

6° **Amiante.**

La boule se composait de cette matière que l'on vend, travaillée en carton, sous le nom d'amiante, et qui ne me semble pas être de l'amiante pure (1). En outre, la boule ne satisfaisait pas à toutes les conditions exigées, ce qui fait que je ne puis attribuer aux résultats obtenus qu'une valeur relative. Cependant, deux choses sont exactes, savoir :

(1) La boule sortait de la fabrique d'amiante de M. H. Weidmann, à Rapperswyl.

1^o Que la conductibilité calorifique varie avec la température;

2^o Qu'elle est beaucoup plus faible que celle de la terre cuite.

Comme résultat probable, on peut ajouter que la conductibilité va plutôt en diminuant qu'en augmentant avec la température croissante.

7^o Sel gemme.

La sphère employée a été extraite d'un beau bloc de sel gemme qui me fut obligeamment envoyé de la saline de Stassfurt, bien blanc et bien pur, quoique opaque.

Le rayon était:

$$\begin{aligned} R &= 3^{\text{cm}},552 \\ r_o &= 2^{\text{cm}},842 \end{aligned}$$

Ce corps a une très grande conductibilité intérieure et une très faible conductibilité extérieure. Ce fait se confirme régulièrement, quoique les résultats ne s'accordent pas complètement, et cela malgré toutes les précautions.

Voici les résultats; je crois qu'ils ne s'écartent pas beaucoup des valeurs exactes:

A la haute température, j'ai trouvé:

$$\left. \begin{aligned} k_c &= 0,001896 & k_s &= 0,001948 \\ h_c &= 0,0004681 & h_s &= 0,0004810 \end{aligned} \right\} t = 94^{\circ},4$$

A la basse température:

$$\left. \begin{aligned} k_c &= 0,001722 & k_s &= 0,001700 \\ h_c &= 0,0002455 & h_s &= 0,0002424 \end{aligned} \right\} t = 22^{\circ},3$$

La variation des coefficients de conductibilité calorifique du sel gemme avec la température s'exprime donc sensiblement par la relation :

$$k = 0,0016458 (1 + 0,00178 t)$$

$$h = 0,0001727 (1 + 0,0185 t)$$

8° Soufre.

Le soufre est le seul élément qui ait servi à mes recherches. Pour faire une boule du diamètre voulu, j'ai fondu du soufre en canon dans un vase cylindrique dont les dimensions étaient un peu plus grandes que celles de la boule. J'évitai la formation de cristaux à l'aide du procédé suivant: J'introduisis le vase cylindrique dans un mélange réfrigérant, à un centimètre de profondeur environ; j'y versai ensuite une couche de soufre de un centimètre à peu près, chauffé à 200° environ. Lorsque le tout se fut solidifié depuis le bas, je fondis de nouveau la surface à l'aide d'un bec de gaz, mis à rebours. Sur cette première couche ainsi préparée, j'en versai une deuxième de même épaisseur, qui, en se solidifiant, se lia parfaitement à la première. J'eus recours à ce procédé jusqu'à ce que le cylindre en soufre eût la hauteur voulue. C'est de cette masse homogène, semblable à celle du soufre en canon, que le tourneur fit la boule.

J'employai diverses boules avec des rayons R de 3^{cm},02 à 3^{cm},76. Les masses de soufre se transformaient toujours, à mesure qu'on les exposait plusieurs fois à des températures différentes. L'aspect extérieur passa d'un jaune foncé à un jaune pâle; on en distinguait facilement la forme cristalline, ainsi que la présence de fissures assez profondes, mais d'une lar-

geur presque imperceptible. En pressant ces boules entre les doigts et près de l'oreille, on entendait un bruit très distinct, et j'arrivai sans peine à mettre la boule en pièces par la seule force de la main. Il suffit de chauffer deux fois la boule et de la laisser refroidir ensuite pour produire cet effet. Celui-ci se produit encore si, au lieu de chauffer le soufre jusqu'à la température de l'eau bouillante, on ne le chauffe qu'à celle de l'esprit de vin, par exemple, quoiqu'on évite ainsi de se rapprocher trop du point de liquéfaction du soufre.

Ce sont tous ces changements d'état qui entraînent très probablement un changement des propriétés calorifiques du soufre et par suite la diminution des valeurs pour k et h , qui se fait remarquer d'une série à l'autre.

Voici toutefois les résultats que j'ai obtenus pour le soufre non cristallisé :

$$\begin{array}{l} k_c = 0,003321 \\ h_c = 0,0009182 \end{array} \quad \begin{array}{l} k_s = 0,003150 \\ h_s = 0,0008710 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} t = 93^{\circ},3 \end{array} \right.$$

A basse température, j'ai trouvé :

$$\begin{array}{l} k_c = 0,003089 \\ h_c = 0,0004503 \end{array} \quad \begin{array}{l} k_s = 0,002815 \\ h_s = 0,0004157 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} t = 26^{\circ},4 \end{array} \right.$$

La variation des coefficients de conductibilité du soufre s'exprime donc sensiblement par la relation :

$$\begin{array}{l} k = 0,0002812 (1 + 0,00161 t) \\ h = 0,0002115 (1 + 0,0396 t) \end{array}$$

9^o Hêtre.

Parmi les observations faites sur des substances organiques, je ne citerai que celles qui se rapportent au hêtre. En général, les bois se prêtent peu aux observations que j'avais en vue. La quantité d'eau variable qu'ils renferment, grâce à leur propriété hygroscopique, la structure organique, la déformation qui en résulte font que les conditions théoriques de la constance de la nature du corps, de sa forme et de ses propriétés calorifiques changent d'une opération à l'autre. L'intérêt pratique de la question m'a cependant engagé à faire plusieurs séries d'observations sur différentes espèces de bois.

Je ne donne que la valeur de k et de h , qui se rapporte au hêtre. Pour cette boule, le trou qui donnait accès au centre était perpendiculaire aux fibres. La direction du petit trou rencontrait celle du grand à angle droit, elle était donc parallèle aux fibres. Les valeurs suivantes indiqueront alors plutôt la conductibilité calorifique du hêtre parallèlement aux fibres :

$$k = 0,000137 \quad h = 0,000114 \quad \text{à } t = 23^{\circ}$$

J'ajoute que les séries faites à la température de l'eau bouillante indiquent, comme pour les autres corps, une augmentation de la conductibilité avec la température.

NB. Dans les équations différentielles de la page 394, nous avons dû nous servir du d , le temps nous manquant pour faire venir des d ronds. (Réduction.)
