

Soit M le poids cherché, en kilogrammes; ce poids absorbera, pour se fondre, un nombre d'unités de chaleur représenté par $79 M$ (363); mais le poids M qui en résulte, étant à zéro au moment de la fusion, et devant s'échauffer de 3 degrés, absorbe une quantité de chaleur $5 M$; par conséquent, la chaleur totale absorbée est $79 M + 5 M$, ou $84 M$. Quant à la chaleur cédée par les 9 litres d'eau, en se refroidissant de 20 degrés à 5, elle est $9(20 - 5)$, ou 135. Donc enfin

$$84 M = 135; \text{ d'où } M = 1^{\text{kil}}, 607.$$

V. Quel est le poids de vapeur d'eau, à 100 degrés, nécessaire pour échauffer, en se condensant, 208 litres d'eau de 14 degrés jusqu'à 32?

Soit p ce poids en kilogrammes; le calorique latent de la vapeur d'eau étant 340 (364), p kilogrammes de vapeur, en se condensant, cèdent une quantité de chaleur représentée par $340 \times p$, et fournissent p kilogrammes d'eau à 100 degrés. Or, cette eau, en se refroidissant ensuite jusqu'à 32 degrés, cède elle-même une quantité de chaleur égale à $p(100 - 32)$, ou $68 p$. D'ailleurs, les 208 litres qui s'échauffent de 14 degrés à 32, pesant 208 kilogrammes, toujours abstraction faite de la dilatation, absorbent une quantité de chaleur égale à $208(32 - 14)$ ou 3744 unités; on a donc

$$340 p + 68 p = 3744; \text{ d'où } p = 6^{\text{kil}}, 158.$$

VI. Dans un premier vase, on a de l'eau à 11 degrés; dans un second, de l'eau à 91; combien doit-on prendre de kilogrammes d'eau dans chacun d'eux pour former un bain de 250 kilogrammes à 31 degrés?

Soient x et y les nombres de kilogrammes à prendre respectivement dans chaque vase, on a d'abord $x + y = 250$ [1]. On obtient une deuxième équation en x et en y , en observant que x kilogrammes à 11 degrés contiennent $11x$ unités de chaleur, et que y kilogrammes à 91 degrés en contiennent un nombre représenté par $91y$. D'ailleurs, les 250 kilogrammes de mélange, à 31 degrés, renferment 250×31 , ou 7750 unités; on a donc l'équation $11x + 91y = 7750$ [2].

Les équations [1] et [2] étant résolues, on trouve $x = 187^{\text{kil}}, 5$, et $y = 62^{\text{kil}}, 5$.

* THÉORIE DYNAMIQUE DE LA CHALEUR.

366. **Équivalent mécanique de la chaleur.** — Partant de l'idée que le développement de la chaleur est dû à un mouvement vibratoire des molécules soumis aux lois ordinaires de la mécanique, plusieurs géomètres et physiciens travaillent depuis quelques années au développement d'une théorie nouvelle qu'ils désignent sous le nom de *théorie dynamique de la chaleur*, et dans laquelle ils se proposent non-seulement de faire voir qu'une quantité de chaleur donnée peut se transformer en travail mécanique (410), et réciproquement, mais encore de calculer le travail mécanique que peut produire une quantité de chaleur déterminée, ou quelle quantité de chaleur peut développer un certain travail mécanique. On sait, en effet, que la chaleur peut produire un travail mécanique, comme il arrive dans l'expansion des vapeurs et dans la dilatation des gaz; et que, réciproquement, on peut développer de la chaleur par une action mécanique, telle que la percussion, la pression ou le frottement (412 et 413). La théorie dynamique de la chaleur est pleine d'actualité, et mérite de fixer l'attention des physiciens et des mécaniciens, car elle peut apporter des améliorations de la plus haute importance aux machines à vapeur et aux machines à air chaud.

Montgolfier paraît être le premier physicien qui ait avancé qu'il y a identité de nature entre le calorique et le mouvement, en ce sens non-seulement que la chaleur est une cause de mouvement, et le mouvement une cause de chaleur,

mais en ce sens encore que la chaleur et le mouvement sont deux formes différentes, deux effets d'une seule et même cause; en un mot, que la chaleur peut se convertir en mouvement et le mouvement en chaleur.

Se basant sur ces considérations théoriques, Montgolfier inventa, en 1800, une machine qu'il appela *pyro-béliet*, au moyen de laquelle, pensait-il, le travail journalier d'un cheval-vapeur (410) ne devait plus demander qu'une dépense de quelques centimes. Le principe du pyro-béliet consistait à dilater par la chaleur une certaine quantité d'air, toujours la même, enfermée en vase clos; à faire servir cette augmentation de volume et d'élasticité à soulever une colonne d'eau; puis à restituer à cette même masse d'air la chaleur dépensée par la dilatation et convertie en effet mécanique, pour lui rendre la force élastique perdue, et ainsi de suite.

En 1824, S. Carnot publia un ouvrage intitulé *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, dans lequel on trouve des considérations fort remarquables sur la manière de produire de la force motrice avec de la chaleur. Depuis, la théorie dynamique de la chaleur a été le sujet des travaux de plusieurs savants, et particulièrement de MM. Joule, Thomson et Rankins en Angleterre, de MM. Mayer et Clausius en Allemagne, et de MM. E. Clapeyron, Reech et Regnault en France.

Carnot admettait que, dans une machine à vapeur, le travail mécanique produit est uniquement dû au passage de la chaleur, dans la machine, de la chaudière au condenseur (405), la quantité de chaleur possédée par la vapeur à son entrée dans les cylindres se retrouvant en entier dans la vapeur qui en sort. Dans la nouvelle théorie, la quantité de chaleur qui entre dans la machine ne se conserve pas tout entière à l'état de chaleur; une partie disparaît pendant son passage pour se convertir en effet mécanique, et, dans tous les cas, le travail mécanique développé est proportionnel à la quantité de chaleur qui a disparu.

Dans cette théorie, M. Joule a nommé *équivalent mécanique de la chaleur*, la quantité de travail qu'une unité de chaleur (352) peut produire; ou, ce qui revient au même, la quantité de travail mécanique nécessaire pour développer une unité de chaleur. Par de nombreuses expériences, M. Joule a trouvé 440 kilogrammètres (410) pour l'équivalent mécanique de la chaleur; c'est-à-dire que la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer de 1 degré 1 kilogramme d'eau, peut développer une force motrice capable d'élever un poids de 440 kilogrammes à 1 mètre de hauteur par seconde. Ne pouvant décrire ici les expériences de M. Joule, nous renvoyons le lecteur aux *Archives des sciences physiques et naturelles de Genève* (mai 1854, p. 37).

En traitant des courants d'induction, nous donnerons deux exemples remarquables d'effets mécaniques transformés en chaleur dans une expérience d'induction due à M. Foucault, et dans les nouveaux appareils magnéto-électriques destinés à l'éclairage des phares, où la force d'un cheval-vapeur donne naissance à un brillant éclairage électrique.

CHAPITRE VIII.

CONDUCTIBILITÉ DES SOLIDES, DES LIQUIDES ET DES GAZ.

367. **Conductibilité des solides.** — La *conductibilité* est la propriété que possèdent les corps de transmettre le calorique plus ou

moins facilement dans l'intérieur de leur masse. On admet que ce genre de propagation s'opère par un rayonnement interne de molécule à molécule. Tous les corps ne conduisant pas également le calorique, on appelle *bons conducteurs* ceux qui le transmettent facilement, tels sont surtout les métaux; et l'on donne le nom de *mauvais conducteurs* à ceux qui offrent une plus ou moins grande résistance à la propagation de la chaleur: tels sont le verre, les résines, les bois, et surtout les liquides et les gaz.

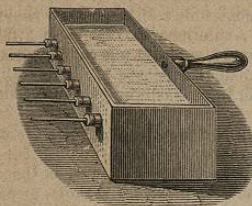


Fig. 259 (l = 22).

Pour comparer le pouvoir conducteur des solides, Ingenhousz, médecin hollandais, mort à la fin du siècle dernier, construisit le petit appareil qui porte son nom, et qui est représenté ci-dessus (fig. 259). C'est une caisse de fer-blanc, à laquelle sont fixées, à l'aide de tubulures et de bouchons, des baguettes de diverses substances, par exemple, de fer, de cuivre, de bois, de verre. Ces baguettes pénètrent de quelques millimètres dans l'intérieur de la caisse, et sont recou-

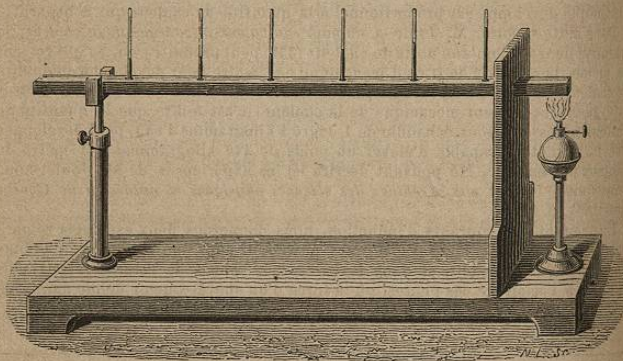


Fig. 260 (l = 80).

vertes de cire jaune, qui fond à 61 degrés. La caisse étant remplie d'eau bouillante, on remarque que sur les baguettes métalliques la cire entre bientôt en fusion à une plus ou moins grande distance, tandis que sur les autres on n'observe aucune trace de fusion. Or, le pouvoir conducteur est évidemment d'autant plus grand, que la partie sur laquelle la cire a été fondue s'étend plus loin.

M. Despretz a comparé les pouvoirs conducteurs des solides avec l'appareil représenté dans la figure 260. C'est une barre prismatique dans laquelle sont pratiquées, de décimètre en décimètre, de petites cavités remplies de mercure, dans chacune desquelles plonge un thermomètre. Cette barre étant exposée, par l'une de ses extrémités, à une source de chaleur constante, on voit les thermomètres monter successivement, à partir de la source, puis indiquer des températures fixes, mais décroissantes d'un thermomètre au suivant. Par ce procédé, M. Despretz a vérifié la loi suivante, donnée pour la première fois par Lambert, de Berlin: *Les distances à la source croissant en progression arithmétique, les excès de température sur l'air ambiant décroissent en progression géométrique.*

Toutefois cette loi ne se vérifie que pour les métaux très-bons conducteurs, tels que l'or, le platine, l'argent et le cuivre; elle n'est qu'approchée pour le fer, le zinc, le plomb, l'étain, et nullement applicable aux corps non métalliques, comme le marbre, la porcelaine, etc.

En représentant par 1000 le pouvoir conducteur de l'or, M. Despretz a trouvé que celui des substances suivantes est:

Platine.....	981	Étain.....	304
Argent.....	973	Plomb.....	179
Cuivre.....	897	Marbre.....	23
Fer.....	374	Porcelaine.....	12
Zinc.....	363	Terre de brique.....	11

* MM. Wiedmann et Franz ont publié, en 1833, dans les *Annales de Poggendorff*, le résultat de longues recherches sur la conductibilité des métaux pour la chaleur. Afin de ne pas altérer la forme des barres métalliques en y pratiquant des cavités comme l'avait fait M. Despretz, ce qui détruisait partiellement la continuité des métaux, ces physiciens ont employé un procédé à l'abri de cette cause d'erreur. Ils ont mesuré la température des barres, en leurs différentes parties, par les courants thermo-électriques qu'ils obtenaient en appliquant sur ces parties le point de soudure d'un élément de la pile thermo-électrique de Melloni (liv. X, chap. VIII).

Les barres métalliques étaient aussi régulières que possible, et disposées dans un espace dont la température était constante. Une des extrémités des barres était en communication avec une source de chaleur, et l'élément thermo-électrique qui devait être mis en contact avec les barres avait de très-petites dimensions, afin de leur enlever très-peu de chaleur.

En opérant ainsi, MM. Wiedmann et Franz ont obtenu des résultats notablement différents de ceux de M. Despretz. En représentant par 100 la conductibilité de l'argent, ils ont trouvé pour les autres métaux les nombres suivants:

Argent.....	100	Acier.....	11,6
Cuivre.....	77,6	Plomb.....	8,5
Or.....	33,2	Platine.....	8,4
Étain.....	14,5	Alliage de Rose.....	2,8
Fer.....	11,9	Bismuth.....	1,8

Les substances organiques conduisent mal le calorique; quant aux bois, M. de La Rive, à Genève, a fait voir que leur conductibilité est beaucoup plus grande dans le sens des fibres que transversalement, et que les bois les plus denses sont les meilleurs conducteurs. Le son, la paille, la laine, le coton, qui sont des corps peu denses et formés, pour ainsi dire, de parties discontinues, sont très-mauvais conducteurs.

368. **Conductibilité des liquides.** — La conductibilité des liquides est extrêmement faible, ainsi qu'on peut le démontrer par

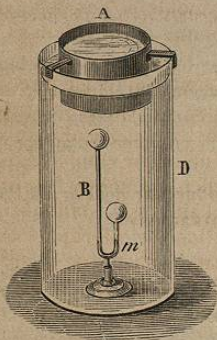


Fig. 261.

l'expérience suivante. On place, au fond d'un vase de verre cylindrique D (fig. 261), un petit thermoscope B formé de deux boules de verre réunies par un tube recourbé *m*, dans lequel est un petit index de liquide coloré. Puis, le vase D étant rempli d'eau à la température ordinaire, on plonge en partie, dans ce liquide, un vase de fer-blanc A, dans lequel on a versé de l'eau bouillante ou de l'huile chauffée à 200 ou 300 degrés. Or, on remarque alors que la boule du thermoscope la plus rapprochée du fond du vase A ne s'échauffe que fort peu, l'index *m* ne se déplaçant que d'une quantité peu sensible; d'où l'on conclut la faible conductibilité de l'eau pour la chaleur. D'autres liquides donnent le même résultat.

En expérimentant avec un appareil analogue à celui qui précède, d'une hauteur d'un mètre et demi, en maintenant l'eau du vase A à une température constante, et en disposant douze thermomètres les uns au-dessous des autres dans toute la hauteur du

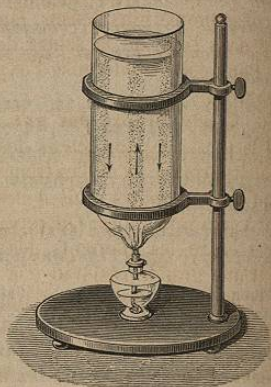


Fig. 262 (h = 35).

vase D, M. Despretz a trouvé que la chaleur se propage dans les liquides suivant la même loi que dans les barres métalliques, mais que la conductibilité est incomparablement plus faible.

369. **Mode d'échauffement des liquides.** — Lorsqu'on chauffe les liquides par leur partie inférieure, il résulte de leur faible conductibilité que c'est surtout par des courants ascendants et descendants, qui s'établissent dans leur masse, que l'échauffement se produit. Ces courants s'expliquent par la dilatation des couches inférieures, qui, devenues moins denses, s'élèvent dans le liquide et sont remplacées par les couches supérieures, plus froides, et, par conséquent, plus denses. On rend ces courants visibles en projetant dans l'eau de la sciure de bois, qui monte et descend avec eux. Pour cela, on dispose l'expérience comme on le voit dans la figure 262.

370. **Conductibilité des gaz.** — On ne peut apprécier directement le pouvoir conducteur des gaz, à cause de leur grand pouvoir diathermane et de l'extrême mobilité de leurs molécules; mais lorsqu'ils sont gênés dans leurs mouvements, leur conductibilité paraît à peu près nulle. On remarque, en effet, que toutes les substances entre les filaments desquelles de l'air reste stationnaire offrent une grande résistance à la propagation du calorique: tels sont la paille, l'édredon, les fourrures. Quand une masse gazeuse s'échauffe, c'est surtout par son contact avec un corps chaud et par les courants ascendants qui proviennent de la dilatation, de la même manière que dans les liquides.

* 371. **Conductibilité de l'hydrogène.** — M. Magnus, à Berlin, a cherché récemment la conductibilité propre de chaque gaz, au moyen d'un tube de verre fermé par un robinet et disposé verticalement. Au bas du tube, à l'intérieur, était un thermomètre qu'on observait à travers le verre, tandis que l'extrémité supérieure était maintenue à 100 degrés. En expérimentant avec ce tube successivement vide, puis rempli de différents gaz plus ou moins condensés, M. Magnus a obtenu les résultats suivants:

- 1° La température du thermomètre s'élève plus dans l'hydrogène que dans tous les autres gaz.
- 2° Elle est plus élevée dans l'hydrogène que dans le vide, et d'autant plus que ce gaz est plus condensé.
- 3° Dans les autres gaz que l'hydrogène, la température est moins élevée que dans le vide, et d'autant moins, que les gaz sont plus condensés.

La conductibilité remarquable de l'hydrogène pour la chaleur serait une confirmation de l'opinion émise par plusieurs chimistes, que ce gaz est un métal.

372. **Applications de la conductibilité.** — La plus ou moins grande conductibilité des corps rencontre de nombreuses applications. S'agit-il, par exemple, de conserver un liquide longtemps chaud, on l'enferme dans un vase à double enveloppe dont l'intervalle est rempli de matières non conductrices, comme la sciure de bois, le verre, le charbon pilé, la paille. On emploie le même moyen pour empêcher un corps d'absorber le calorique : c'est ainsi que, pour conserver de la glace dans la saison chaude, on l'entoure de paille ou d'une couverture de laine.

Dans nos habitations, si les carreaux nous paraissent plus froids que le parquet, c'est qu'ils conduisent mieux le calorique. La sensation de chaleur ou de froid que nous ressentons au contact de certains corps est due à la conductibilité. Si leur température est moins élevée que la nôtre, ils nous paraissent plus froids qu'ils ne sont, à cause du calorique qu'ils nous enlèvent en vertu de leur conductibilité : c'est ce qui a lieu pour le marbre. Si, au contraire, leur température est supérieure à celle de notre corps, ils nous semblent plus chauds qu'ils ne sont, par le calorique qu'ils nous cèdent des divers points de leur masse : c'est le phénomène que nous présente une barre de fer exposée au soleil.

CHAPITRE IX.

RAYONNEMENT DU CALORIQUE.

373. **Propagation du calorique dans un milieu homogène.** — Lorsqu'un corps est placé dans une enceinte dont la température est plus ou moins élevée que la sienne, on observe toujours que la température du corps s'élève ou s'abaisse progressivement, jusqu'à ce qu'elle ait atteint celle de l'enceinte ; d'où l'on conclut que le corps a gagné ou perdu une certaine quantité de chaleur qu'il a reçue des corps voisins ou qu'il leur a cédée. La chaleur se transmet donc d'un corps à un autre, à travers l'espace, de la même manière que la lumière. Le calorique qui se propage ainsi à distance se désigne sous le nom de *calorique rayonnant*, et l'on appelle *rayon de chaleur* ou *rayon calorifique*, la ligne droite que suit le calorique en se propageant.

La chaleur se transmet aussi dans la masse même des corps : c'est alors un véritable rayonnement intérieur de molécule à molécule qui se produit, phénomène qui a déjà été étudié (367) sous le nom de *conductibilité*.

374. **Lois du rayonnement.** — Le rayonnement du calorique présente les trois lois suivantes :

1^o *Le rayonnement a lieu dans toutes les directions autour des corps.* En effet, si l'on place un thermomètre dans différentes positions autour d'un corps chaud, il indique, dans toutes, une élévation de température.

2^o *Dans un milieu homogène le rayonnement se fait en ligne droite.* Car, si l'on interpose un écran sur la droite qui joint une source calorifique à un thermomètre, celui-ci cesse d'être influencé par la source.

Mais en passant d'un milieu dans un autre, de l'air dans le verre, par exemple, les rayons calorifiques, de même que les rayons lumineux, sont déviés, phénomène qu'on désigne sous le nom de *réfraction*, et dont on verra les lois en optique, ces lois étant les mêmes pour la lumière que pour le calorique.

3^o *Le calorique rayonnant se propage dans le vide comme dans l'air.* On le démontre en fixant un petit thermomètre dans un ballon de verre soudé à un tube barométrique (fig. 263). Un vide parfait existant dans ce ballon, si l'on approche un corps chaud, on voit le thermomètre monter, phénomène qui ne peut être attribué qu'au rayonnement dans le vide ; car on a vu (367) que le verre ne conduit pas assez bien le calorique pour que la propagation puisse s'opérer par les parois du ballon et par la tige du thermomètre.

Quant à la vitesse de propagation du calorique, elle n'a pas été déterminée : on sait seulement qu'elle doit peu différer de celle de la lumière, si elle ne lui est pas exactement égale ; car la lumière solaire et la plupart des lumières artificielles sont constamment accompagnées de rayons de chaleur.

375. **Causes qui font varier l'intensité du calorique rayonnant.**

— En prenant pour *intensité du calorique* la quantité de chaleur reçue sur l'unité de surface, dans l'unité de temps, on trouve que trois causes peuvent modifier cette intensité : la température de la source de chaleur, sa distance, et l'obliquité des rayons calorifiques par rapport à la surface qui les émet. On observe, en effet, les trois lois suivantes sur l'intensité du calorique rayonnant.

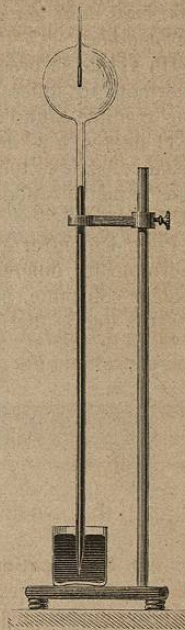


Fig. 263.