

cité dans l'explication, que les parois de l'enceinte et la surface du thermomètre soient *dépourvues de pouvoir réflecteur*, et qu'elles aient des *pouvoirs émissifs égaux*. Le thermomètre F' envoie sur le miroir AB' des rayons divergents qui sont réfléchis par ce miroir, puis par le miroir AB, vont passer par le point F, et parviennent ensuite à divers points de l'enceinte. Dans les mêmes directions, et en sens inverse, se propagent des rayons venant de l'enceinte, passant par F, et renvoyés par les miroirs vers le point F'. Puisque l'enceinte et le thermomètre ont même pouvoir émissif, et par suite même pouvoir absorbant, la perte de chaleur reste, pour le thermomètre, toujours égale au gain, et sa température reste invariable. — Au contraire, quand on vient à placer en F le ballon plein de glace, les rayons qui venaient de l'enceinte en passant par F, et qui étaient ainsi renvoyés par les miroirs sur le thermomètre F', sont remplacés par les rayons moins chauds qu'émet le ballon. Le thermomètre reçoit donc moins de chaleur que précédemment, c'est-à-dire moins de chaleur qu'il n'en perd : il doit donc éprouver un abaissement de température, comme le montre l'expérience.

885. Identité de la chaleur et de la lumière. — Il résulte de tout ce qui précède que la propagation de la chaleur se rapproche, en tous points, de la propagation de la lumière.

Pour la chaleur et pour la lumière, les lois de la réflexion sont identiques (870 et 871). — La décomposition d'un faisceau de rayons solaires par un prisme de sel gemme (875) montre que les rayons *calorifiques obscurs* se séparent des rayons lumineux à cause de leur moindre réfrangibilité, comme les rayons rouges se séparent des rayons violets. — Dans les rayons *calorifiques lumineux*, les propriétés calorifiques sont inséparables des propriétés lumineuses. — Enfin, l'étude de la transmission de la chaleur (876) montre que les rayons obscurs peuvent être transmis par certaines substances, et absorbés par d'autres, comme les rayons lumineux de certaines couleurs sont transmis par certaines substances transparentes, et absorbés par d'autres.

L'ensemble des phénomènes conduit donc à admettre que la chaleur et la lumière sont dues à une seule et même cause. — Cette hypothèse n'est point infirmée par l'existence de rayons de chaleur sans lumière, car il n'est pas absurde de supposer que l'organe de la vue, s'il était constitué d'une manière différente, pourrait être impressionné par ces rayons, comme il l'est par les rayons lumineux (*).

(*) Les liquides qui remplissent le globe de l'œil, et que les rayons doivent traverser avant de tomber sur la rétine, sont *diathermanes pour les rayons lumineux*, mais *athermanes pour les rayons obscurs* : c'est ce que l'expérience permet de constater directement, en opérant sur les liquides d'un œil de bœuf. Il en résulte que, en réalité, les rayons calorifiques obscurs n'arrivent pas à la rétine.

CHAPITRE II

CONDUCTIBILITÉ

884. Propagation de la chaleur par conductibilité. — Les observations journalières suffisent pour montrer que la chaleur peut se transmettre dans les corps solides par *conductibilité*, c'est-à-dire par une élévation graduelle de la température de leurs couches successives.

La méthode suivante permet de comparer entre eux les différents corps solides, au point de vue de leurs propriétés *conductrices*.

885. Conductibilité des corps solides. — Appareil d'Ingenhousz. — L'appareil d'Ingenhousz se compose d'une petite cuve rectangulaire de laiton (fig. 685), dans la paroi de laquelle sont assujetties des tiges de diverses substances : argent, cuivre, laiton, zinc, étain, verre, bois, etc. Ces tiges ont été couvertes d'une couche mince de cire (pour cela, on les a plongées dans un bain de cire fondue, et on les a laissées refroidir après les en avoir retirées). — On verse de l'eau bouillante dans la caisse; la chaleur se transmet dans la longueur des tiges; on juge de leur plus ou moins

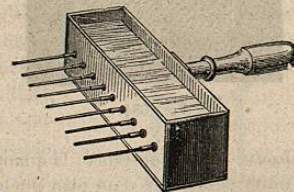


Fig. 685. — Appareil d'Ingenhousz

grande conductibilité, par la distance à laquelle se propage la fusion de la cire. — On constate ainsi, par exemple, que la cire fond jusqu'à l'extrémité de la tige d'argent, tandis que la fusion se propage à peine sur une longueur de quelques millimètres sur la tige de bois.

Les corps solides les plus usuels peuvent être classés comme il suit, par ordre de conductibilité décroissante :

Argent, Cuivre, Or, Laiton, Zinc, Étain, Fer, Acier, Plomb, Platine, Bismuth;

Verre, Marbre, Porcelaine, Charbon, Bois.

Les métaux sont donc les corps qui conduisent le mieux la chaleur. — Au contraire, le verre, le marbre, la porcelaine, sont des corps *mauvais conducteurs*. — De tous les corps solides, c'est le bois qui pré-

sente la plus faible conductibilité. C'est pour cette raison qu'on adapte des manches de bois aux outils de fer qui doivent être introduits dans le feu; des anses de bois, aux théières ou aux casseroles d'argent, etc.

886. **Coefficients de conductibilité.** — Pour comparer, d'une manière précise, les propriétés conductrices des divers corps, on a été conduit à la considération d'une quantité numérique, caractéristique de chaque corps, et qu'on appelle *coefficient de conductibilité*.

Pour définir cette expression, considérons une masse homogène indéfinie, limitée par deux plans parallèles M, M' (fig. 684), et constituant une sorte de mur, dont les deux faces seront maintenues à des températures constantes T et T'.

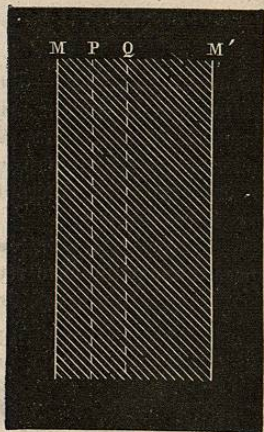


Fig. 684.

Au bout d'un certain temps, les points intérieurs arriveront chacun à une température déterminée, qu'ils conserveront ensuite indéfiniment. Or, il est facile de voir que, *une fois l'équilibre de température établi*, tous les plans parallèles aux faces du mur doivent laisser passer, dans un temps donné, par l'unité de surface, *des quantités égales de chaleur*. — En effet, supposons que la chaleur se propage de gauche à droite, et considérons deux plans quelconques P, Q, parallèles aux faces : si l'unité de surface du plan P laissait passer, dans un même temps, une quantité de chaleur plus grande que l'unité de surface du plan Q, il y aurait accumulation de chaleur entre ces deux plans, et la température des points compris entre eux devrait aller en s'élevant. — Cela posé, on appelle *coefficient de conductibilité absolue* d'une substance, la quantité de chaleur qui traverse, en une seconde, l'unité de surface d'un plan quelconque parallèle aux faces d'un mur formé de cette substance, ce mur ayant pour épaisseur l'unité et présentant, entre ses faces extrêmes, *une différence de température de 1 degré*.

Soit c le coefficient de conductibilité absolue d'une substance; si le mur a pour épaisseur l et si ses deux faces sont à des températures T et T', une surface S, prise dans un plan parallèle aux faces du mur, laissera passer, en une seconde, une quantité de chaleur $q = \frac{cS(T - T')}{l} = \frac{cSV}{l}$, en désignant par V la différence des températures des deux faces. — L'identité de cette formule et de celle qui est la traduction des lois d'Ohm (572) fait ressortir l'analogie qui existe, entre la propagation de l'électricité dans un fil métallique, et la propagation de la chaleur dans un mur.

Les conditions dans lesquelles nous nous sommes placés, pour définir les coefficients de conductibilité absolue, sont difficilement réalisables; aussi les valeurs absolues de ces coefficients ne sont-elles pas connues avec précision. — Mais les expériences de Despretz, et surtout celles de MM. Wiedemann et

Franz, ont fait connaître, avec une très grande exactitude, *les rapports* que présentent entre eux les coefficients de conductibilité des divers métaux.

Le tableau suivant donne les coefficients de conductibilité des principaux métaux, en représentant conventionnellement par 100 celui de l'argent, qui est le métal le plus conducteur.

COEFFICIENTS DE CONDUCTIBILITÉ DES MÉTAUX.

Argent.	100,0	Fer.	11,9
Cuivre.	77,6	Acier.	11,1
Or.	53,2	Plomb.	8,5
Laiton.	25,6	Platine.	8,4
Zinc.	19,0	Palladium.	6,5
Étain.	14,4	Bismuth.	1,8

Il est à remarquer que, dans ce tableau, les métaux sont rangés à peu près dans le même ordre que celui de leurs résistances spécifiques électriques croissantes (577), c'est-à-dire dans l'ordre de leurs conductibilités électriques décroissantes.

887. **Courants produits dans les liquides ou dans les gaz. chauffés par leur partie inférieure.** — Lorsqu'on chauffe un

liquide par la partie inférieure, comme on le fait d'ordinaire, les couches qui reçoivent directement l'action de la chaleur se dilatent : par suite, leur densité diminuant, elles s'élèvent; elles sont remplacées par d'autres qui s'échauffent à leur tour, et ainsi de suite. Il s'établit ainsi des courants ascendants de liquide chaud, et des courants descendants de liquide froid. — On peut rendre ces courants visibles par une expérience simple. Une cloche de verre renversée (fig. 685) contient de l'eau, dans laquelle on a mis en suspension un peu de sciure de bois : en chauffant cette cloche par sa paroi inférieure, on voit les parcelles de bois, entraînées par les mouvements de l'eau, s'élever du point chauffé vers la surface, et redescendre ensuite en longeant les parois du vase. — Ce déplacement continu des diverses parties du liquide, qui a pour effet de répartir à peu près uniformément la chaleur dans toute sa masse, a été désigné sous le nom de *convection*.

Les gaz étant plus dilatables et plus mobiles que les liquides, les mouvements de ce genre s'y manifestent plus facilement encore. — C'est ainsi, par exemple, que l'air échauffé au contact des parois d'un poêle monte à la partie supérieure de la pièce; il est remplacé par de l'air plus froid, qui s'échauffe et s'élève à son tour, et ainsi de suite.

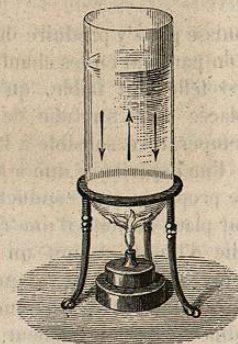


Fig. 685. — Courants produits dans un liquide chauffé.

— On peut rendre sensible ce mouvement ascendant de l'air en adaptant au tuyau du poêle un fil de fer recourbé (fig. 686), sur l'extrémité duquel on place une bande de papier découpée en spirale, de manière qu'elle forme une hélice enroulée autour du fil.

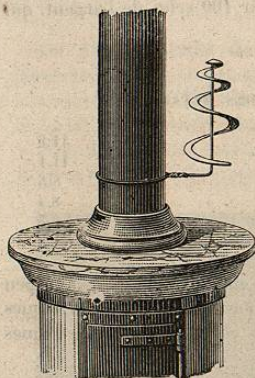


Fig. 686.
Mouvement ascendant
de l'air chaud.

L'air qui s'élève autour du tuyau, en rencontrant l'hélice, lui communique un mouvement de rotation continu.

De même, quand la surface de la Terre est chauffée par le soleil, les couches d'air voisines du sol s'élèvent à mesure qu'elles s'échauffent; elles sont remplacées par de l'air froid, qui afflue des régions voisines, et qui se comporte ensuite de la même manière. — C'est l'une des causes qui produisent les vents, à la surface de la Terre.

888. Conductibilité des liquides. — D'après ce que l'on vient de voir, pour juger si les liquides sont conducteurs de la chaleur, il faut faire en sorte qu'il ne

puisse pas s'y produire des mouvements de convection. — C'est à quoi l'on parvient en les chauffant par la partie supérieure. La conductibilité est tellement faible, qu'on peut faire bouillir, à la surface, de l'eau placée dans un tube de verre, sans faire éprouver une élévation de température sensible à la partie inférieure.

Une expérience due à Murray montre cependant que la chaleur peut se propager par conductibilité à travers un liquide. Un thermomètre fut placé au fond d'une cavité creusée dans un bloc de glace et remplie d'huile; on mit un corps chaud en contact avec la surface du liquide, et au bout de quelques minutes, on vit le thermomètre indiquer un petit accroissement de température. — On ne pouvait pas admettre que la chaleur se fût communiquée par les parois du vase; car, la glace étant à 0°, la chaleur qu'elle eût absorbée n'aurait eu pour effet que d'en faire fondre une partie, et non d'élever la température. — Pour prouver que la chaleur ne s'était pas transmise par rayonnement à travers le liquide, on répétait l'expérience en présentant le corps chaud à une petite distance de la surface: l'effet produit sur le thermomètre était incomparablement plus faible.

889. Conductibilité des gaz. — D'après ce que nous avons vu (887), la propagation de la chaleur dans les gaz doit se faire, le plus souvent, par convection. — De plus, les gaz étant très diathermanes, il est toujours difficile de constater directement les effets de leur conductibilité, même en les chauffant par la partie supérieure: ce qui détermine les indications du thermomètre placé à la partie inférieure,

c'est bien plutôt la chaleur qu'il reçoit par rayonnement, que l'élévation de température des couches qui sont en contact avec lui.

M. Magnus a cependant réussi à constater que l'hydrogène est conducteur. Un cylindre plein de gaz hydrogène étant chauffé par la partie supérieure, un thermomètre placé à la partie inférieure s'échauffe d'autant plus rapidement que la pression du gaz est plus grande; cet effet ne peut être attribué qu'à la conductibilité.

890. Applications usuelles de la conductibilité. — Lorsque, par un temps froid, nous appliquons la main sur un morceau de fer, puis sur un morceau de bois, le fer nous paraît *plus froid* que le bois. Cependant, au moment où nous les avons touchés, ils étaient l'un et l'autre à la même température que l'air extérieur. Mais, le fer étant un corps conducteur, la petite quantité de chaleur qui lui a été communiquée par notre main s'est répandue dans toute sa masse, en sorte qu'elle n'a pas pu l'échauffer d'une manière sensible. Au contraire, le bois étant mauvais conducteur, la chaleur transmise par la main est restée dans les points que nous avons touchés, et leur a fait prendre une température plus élevée. — Voici une expérience qui montre, d'une manière frappante, des effets du même genre. — On prend une boule de cuivre, et on l'enveloppe d'une couche de mousseline, serrée sur sa surface. On applique sur cette boule un morceau de charbon rouge: l'étoffe ne brûle pas, parce que la chaleur transmise par le charbon se répand dans toute la masse du cuivre, et la température ne peut s'élever que très lentement. — Au contraire, si on fait la même expérience avec une boule de bois, enveloppée d'une couche de mousseline, l'étoffe est brûlée, parce que la chaleur transmise aux points touchés ne peut pas se propager aux points voisins.

891. Propriétés conductrices des toiles métalliques. — **Lampe de sûreté.** — Lorsqu'on place une toile métallique en travers de la flamme d'une bougie ou d'un bec de gaz, on constate que la flamme ne se produit plus qu'*au-dessous* de la toile. Ce résultat est dû à ce que la toile métallique, qui est conductrice, refroidit rapidement les gaz qui la traversent, et les amène à une température inférieure à la température de combustion. — Cependant on peut s'assurer que les gaz combustibles traversent la toile métallique, en plaçant, *au-dessus* d'elle, une allumette enflammée: il se produit en ce point une nouvelle flamme.

C'est sur ces propriétés des toiles métalliques qu'est fondée la construction des lampes de sûreté, destinées à préserver des explosions du grisou les ouvriers qui travaillent dans les mines de houille. — La lampe de sûreté, imaginée par Davy et perfectionnée par Combes (fig. 687), se compose d'une lampe ordinaire à huile C, surmontée d'un cylindre de verre A, qui se termine par une cheminée B formée par une toile métallique. — Supposons que l'atmosphère de la mine

contienne une proportion notable de gaz hydrogène carboné, dont le mélange avec l'air produirait, à l'approche d'un corps enflammé, une détonation redoutable. Ce mélange pénètre, à travers la toile métallique, dans l'intérieur de l'appareil; il peut prendre feu au contact de la flamme, mais la combustion ne peut pas se propager à l'extérieur, et les dangers du *grisou* sont ainsi conjurés.

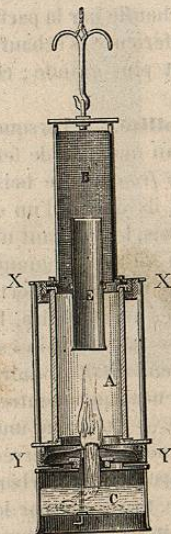


Fig. 687.
Lampe de sûreté.

892. **Conservation de la chaleur.** — Pour conserver la chaleur, pendant l'hiver, à l'intérieur de nos appartements, les murs de pierre doivent avoir une épaisseur assez considérable, parce que la pierre est un corps assez conducteur; la brique, qui est moins conductrice, est préférable sous ce rapport. — Il faut remarquer aussi que, dans nos appartements, c'est surtout par la surface des vitres que la chaleur se perd au dehors. Dans les pays froids, on rend la déperdition beaucoup moindre, en employant des doubles fenêtres, qui emprisonnent entre elles une couche d'air.

Les animaux des pays froids ont le corps couvert d'une fourrure; nous nous couvrons, pour nous préserver du froid, soit de fourrures, soit d'étoffes de laine, ou de vêtements ouatés. — L'efficacité de tous ces moyens de protection s'explique toujours de la même manière : c'est la couche d'air maintenue immobile, par les poils de la fourrure ou par les filaments de l'étoffe, qui joue surtout ici le rôle de corps mauvais conducteur. Pour qu'un vêtement soit chaud, l'important n'est pas qu'il soit lourd, mais que le tissu soit assez moelleux pour n'avoir qu'un poids relativement faible, sous une assez grande épaisseur. — C'est ainsi encore qu'un édredon, formé de plumes très légères, constitue une sorte de coussin d'air, préservant mieux du froid qu'une couverture d'un tissu serré.

Pour soustraire des *corps froids* à l'influence de la chaleur, c'est encore à des moyens analogues qu'on a recours. — Les *glacières*, où l'on conserve jusque pendant l'été, la glace qu'on y a accumulée pendant l'hiver, sont de vastes cavités, creusées dans le sol. La paroi est formée par une maçonnerie garnie d'une double paroi de bois, dans laquelle on entasse de la poussière de charbon; la cavité est fermée par un toit, placé au niveau du sol, et couvert de paille.

LIVRE SIXIÈME

MÉTÉOROLOGIE

893. — La *météorologie* a pour objet l'étude des phénomènes qui s'accomplissent à la surface de notre globe et dans notre atmosphère.

Ces phénomènes sont assez complexes, et il est parfois difficile de discerner le degré d'influence de chacune des causes qui les produisent. D'ailleurs, comme il est impossible de faire varier méthodiquement les conditions dans lesquelles ils s'accomplissent, le météorologiste doit se contenter de comparer le plus grand nombre possible d'observations faites dans des circonstances diverses et telles que les lui offre, la nature; de plus, ces observations elles-mêmes présentent nécessairement des lacunes, pour les points du globe sur lesquels nous n'avons que des données météorologiques incomplètes. — Nous nous bornerons à l'exposé des résultats qui présentent actuellement un caractère de certitude suffisante (*).

I. — RÉPARTITION DE LA TEMPÉRATURE A LA SURFACE DE LA TERRE.

894. **Observations thermométriques.** — Pour qu'un thermomètre, installé à demeure, indique réellement la température de l'air, il est indispensable qu'il soit placé à l'ombre, de manière qu'il ne reçoive pas directement les rayons du soleil. Mais il est nécessaire, en outre, de disposer des écrans autour de lui, afin de le garantir encore de la chaleur rayonnante qui pourrait lui être envoyée par le sol échauffé, par des murs frappés par le soleil, etc. — Quand ces précautions ne sont pas observées, il peut arriver que des thermomètres,

(*) Pour la météorologie, la plupart des modifications par lesquelles nos dernières éditions diffèrent des précédentes sont dues à M. E. Nouel, qui a bien voulu mettre à notre disposition ses connaissances spéciales sur cette partie de la science.