

des *pouvoirs émissifs égaux*. Le thermomètre F' envoie sur le miroir A'B' 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 intenses 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.

619. 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 (607 et 608). — La décomposition d'un faisceau de rayons solaires par un prisme de sel gemme (612) 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 (615) montre que les rayons obscurs peuvent être 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 est permis 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

620. 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*.

621. Conductibilité des corps solides. — **Appareil d'Ingenhousz.** — L'appareil d'Ingenhousz se compose d'une petite cuve rectangulaire de laiton (fig. 421), 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, et l'on juge de leur plus ou moins 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.

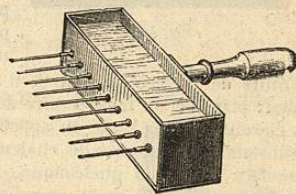


Fig. 421. — Appareil d'Ingenhousz.

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 présente la plus faible conductibilité. C'est pour cette raison qu'on adapte des manches de bois aux outils de fer qui doivent être intro-

duits dans le feu; des anses de bois, aux théières ou aux casseroles d'argent, etc.

622. 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*.

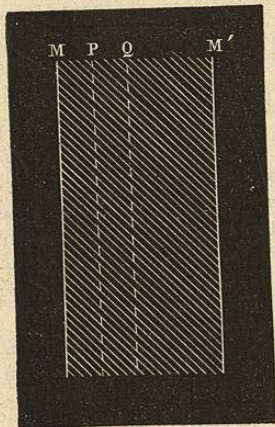


Fig. 422.

Pour définir cette expression, considérons une masse homogène indéfinie, limitée par deux plans parallèles M, M' (fig. 422), et constituant une sorte de mur, dont les deux faces seront maintenues à des températures constantes T et T'. 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 la 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 que nous obtiendrons comme traduction des lois d'Ohm (livre V, chap. iv), fait ressortir l'analogie qui existe entre la propagation de l'électricité et la propagation de la chaleur.

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 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.	23,6	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 (livre V, chap. iv), c'est-à-dire dans l'ordre de leurs conductibilités électriques décroissantes.

623. Courants produits dans les liquides ou dans les gaz, chauffés par leur partie inférieure. — **Convection.** — 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. 423) 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

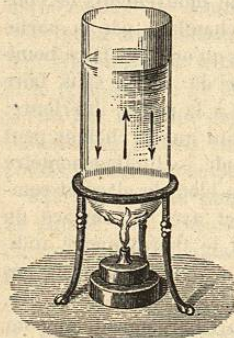


Fig. 423. — Courants produits dans un liquide chauffé.

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 que l'air échauffé au contact des parois d'un poêle s'élève vers 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. — On peut rendre sensible ce mouvement ascendant de l'air, en adaptant au tuyau du

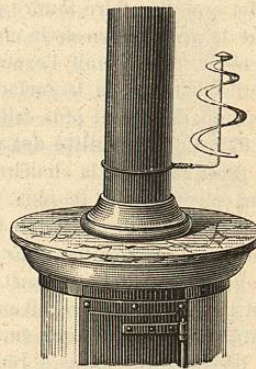


Fig. 424. — Mouvement ascendant de l'air chaud.

On peut rendre sensible ce mouvement ascendant de l'air, en adaptant au tuyau du

poêle un fil métallique recourbé (fig. 424), sur l'extrémité duquel on place une bande de papier découpée en spirale, de manière qu'elle forme une sorte d'hélice enroulée autour du fil. 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.

624. 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 de 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 transmise 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. — D'autre part, pour prouver que la propagation de la chaleur n'était pas uniquement due au rayonnement, 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.

625. Conductibilité des gaz. — D'après ce que nous avons vu (625), 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 d'un 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.

Cependant Magnus a 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; il est clair que ces variations, dans l'effet produit, ne peuvent être attribuées qu'à des variations dans la conductibilité.

626. 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. Ils étaient cependant l'un et l'autre à la température de l'air extérieur. Mais, le fer étant conducteur, la petite quantité de chaleur qui lui a été communiquée par notre main s'est répandue dans 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 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 l'on fait la même expérience avec une boule de bois, enveloppée de mousseline, l'étoffe est brûlée, parce que la chaleur transmise aux points touchés ne se propage que difficilement aux points voisins.

627. Propriétés conductrices des toiles métalliques. — **Lampes 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 conserve 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 alors 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 imaginée par Davy a reçu d'importantes modifications; la figure 425 représente une lampe de sûreté perfectionnée. Elle se compose d'une lampe ordinaire à huile C, surmontée d'un cylindre de verre A, qui se termine par une toile métallique B. Les produits de la combustion, en partie entraînés par la cheminée E, s'échappent dans l'atmosphère en traversant B; l'autre partie séjourne dans la région A, où elle se

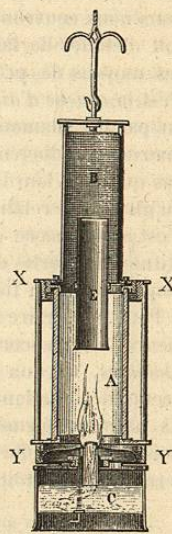


Fig. 425.
Lampe de sûreté

mélange avec l'air extérieur qui pénètre à travers la toile métallique B (*). La proportion de l'air autour de la flamme est donc limitée par le jeu même de l'appareil : elle est juste suffisante pour l'entretien de la combustion. — 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. A mesure que ce gaz pénètre dans l'appareil, il se mélange avec les produits de la combustion, en sorte qu'il ne peut plus, en général, prendre feu au contact de la flamme. D'ailleurs, si le mélange prend feu, la combustion ne peut pas se propager à l'extérieur, la toile métallique B ayant pour effet de refroidir les produits de la combustion.

628. 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 extérieure, 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.

(*) Dans quelques modèles, l'air extérieur traverse, avant d'arriver à la flamme, une deuxième toile métallique annulaire, disposée horizontalement entre la cheminée E et le manchon A.

LIVRE CINQUIÈME

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

CHAPITRE PREMIER

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

I. — PHÉNOMÈNES FONDAMENTAUX.

629. Électrisation des corps par frottement. — On sait, depuis une époque fort reculée, que l'ambre jaune ou succin (*ήλεκτρον*), lorsqu'on le frotte, acquiert la propriété d'attirer les corps légers, tels que des barbes de plume, ou de petits fragments de papier; cette propriété fut attribuée à une cause spéciale, qui prit le nom d'*électricité*.

En 1550, Gilbert, médecin de la reine Élisabeth d'Angleterre, reconnut la même propriété dans un grand nombre d'autres corps, comme la résine, le soufre, le verre. — D'autres substances, comme les métaux, le bois, tenues à la main et frottées, ne paraissaient pas s'électriser : on va voir que ces exceptions ne sont qu'apparentes.

630. Corps conducteurs. — Au commencement du xviii^e siècle, à la suite des expériences du physicien anglais Gray, on reconnut que tous les corps peuvent s'électriser par frottement. Si l'on frotte un cylindre métallique A (*fig. 426*), en le tenant par un manche de verre M, on constate que le métal acquiert la propriété d'attirer les corps légers, et cette propriété se manifeste, non seulement aux points frottés, mais sur toute la surface du cylindre. — Tout se passe donc, dans cette expérience, comme si l'électricité était due à une sorte de fluide, que le frottement ferait apparaître, et qui se répandrait sur toute la surface du métal; le manche de verre lui opposerait une barrière infranchissable.

Nous appellerons *corps conducteurs*, les corps tels que les métaux, le bois, l'ivoire, le chanvre, qui paraissent n'opposer qu'une résistance insensible à la propagation de l'électricité. — Le sol doit être considéré comme un corps conducteur : le cylindre électrisé A,



Fig. 426.