

## CHAPITRE II

### CONDUCTIBILITÉ

845. **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.

On peut remarquer, par exemple, qu'une cuiller d'argent, plongée par une de ses extrémités dans un liquide chaud, s'échauffe rapidement à son autre extrémité. — Lorsqu'on introduit dans la flamme d'une bougie la pointe d'une épingle, l'autre extrémité s'échauffe assez vite pour qu'il devienne bientôt impossible de la tenir entre les doigts.

Mais tous les corps solides ne conduisent pas également bien la chaleur. — Ainsi, on peut plonger une cuiller de bois dans un liquide bouillant, sans constater le même effet qu'avec la cuiller d'argent. — On peut tenir entre les doigts une allumette enflammée, sans éprouver une élévation de température sensible à l'autre extrémité.

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

846. **Conductibilité des corps solides.** — **Appareil d'Ingenhousz.** — L'appareil d'Ingenhousz se compose d'une petite cuve rectangulaire de laiton (*fig. 705*), 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 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'ar-

gent, 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.

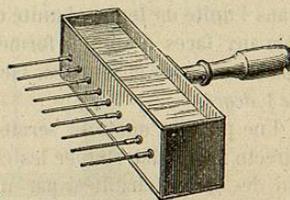


Fig. 705. — Appareil d'Ingenhousz.

On peut dire, en général, que les métaux sont 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 introduits dans le feu ; des anses de bois, aux théières ou aux casseroles d'argent ; etc.

847. **Principe de la méthode de détermination des 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 son *coefficient de conductibilité*.

Pour définir cette expression, considérons une masse homogène indéfinie, limitée par deux plans parallèles M, M' (*fig. 704*), 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 température établi*, tous les plans parallèles aux faces du mur doivent laisser passer, dans un temps donné, par l'unité de surface, *une même quantité 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

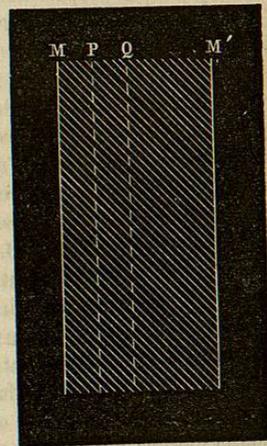


Fig. 704.

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* d'une substance, la quantité de chaleur qui traverse, dans l'unité de temps, 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 entre ses faces extrêmes une différence de température de 1 degré.

Une pareille quantité serait difficilement accessible à une mesure directe : pour déterminer les coefficients de conductibilité, on a opéré sur des barres chauffées par une de leurs extrémités, et placées, par le reste de leur surface, dans un milieu à température constante. — Or, si l'on considère une série de sections équidistantes entre elles, perpendiculaires à la longueur d'une pareille barre, et si l'on désigne par  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$  les excès de température des sections successives sur la température du milieu ambiant, le calcul montre que l'on doit avoir la série d'égalités de rapports :

$$(1) \quad \frac{\theta_1 + \theta_3}{\theta_2} = \frac{\theta_2 + \theta_4}{\theta_3} = \frac{\theta_3 + \theta_5}{\theta_4} = \dots (*)$$

Ce calcul fournit, en outre, une relation qui permet, une fois que l'on a déterminé par l'expérience la valeur constante de ces rapports, pour une substance en particulier, d'en déduire son coefficient de conductibilité.

\* 848. **Expériences de Despretz et de MM. Wiedemann et Franz.** — La loi représentée par l'équation (1) a d'abord été vérifiée par les expériences de Despretz. — Les barres, recouvertes d'un même vernis, étaient chauffées à l'une de leurs extrémités au moyen d'une lampe L (fig. 705) ; de 10 en 10 centimètres, étaient pratiquées de petites cavités, qu'on emplissait de mercure et dans lesquelles plongeaient des thermomètres. Lorsque l'équilibre de température était établi, on relevait les indications des thermomètres, et l'on en retranchait la température de l'air environnant : on obtenait ainsi les excès  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , etc. Pour les métaux, ces excès satisfaisaient très exactement à la relation (1) ; la vérification se faisait moins bien pour les corps mauvais conducteurs, dont la structure est moins homogène.

MM. Wiedemann et Franz ont repris ces expériences, en employant, pour la mesure des températures, une pince thermo-électrique, qu'ils

(\*) Dans ce calcul, on admet que la propagation de la chaleur à l'intérieur d'un corps solide se fait par un véritable rayonnement intermoléculaire, et que la quantité de chaleur cédée, dans un temps donné, par une molécule à la molécule voisine, est proportionnelle à l'excès de la température de la première sur la température de la seconde.

appliquaient successivement sur les différents points de la barre : ils évitaient ainsi l'hétérogénéité que produit, dans les barres, l'interposition de cavités contenant du mercure.

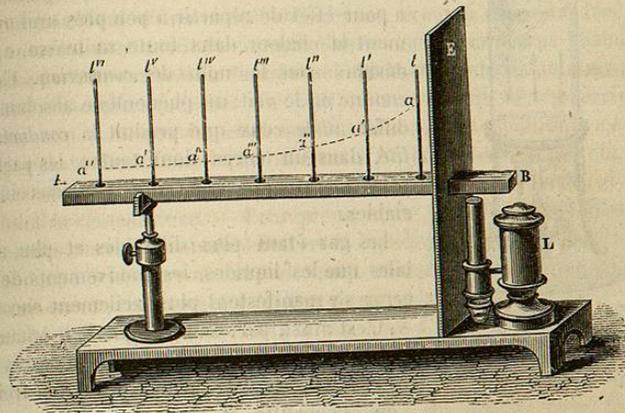


Fig. 705. — Expériences de Despretz.

Le tableau suivant donne les coefficients de conductibilité de divers 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 . . . . .	55,2	Plomb . . . . .	8,5
Laiton . . . . .	25,6	Platine . . . . .	8,4
Zinc . . . . .	19,0	Palladium . . . . .	6,5
Étain . . . . .	14,4	Bismuth . . . . .	1,8

849. **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. 706) contient de l'eau, dans laquelle on a mis en suspension un peu de sciure de bois : en chauffant cette cloche par un point de 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

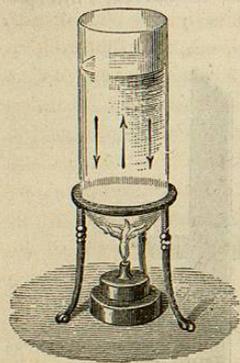


Fig. 706. — Courants produits dans un liquide chauffé.

parois du vase, comme l'indiquent les flèches marquées sur la figure. — 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*. C'est, comme on le voit, un phénomène absolument différent de ceux que produit la *conductibilité*, dans un corps dont toutes les parties sont maintenues dans des positions invariables.

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,

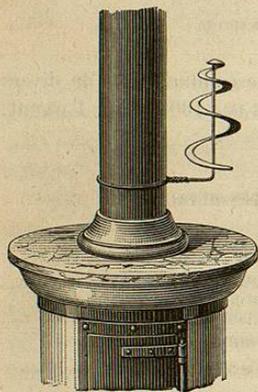


Fig. 707. — Mouvement ascendant de l'air chaud.

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 poêle un fil de fer recourbé (fig. 707), sur l'extrémité duquel on place une bande de papier découpée en spirale, de manière qu'elle forme une 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.

**850. 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 ces mouvements qui amènent successivement leurs diverses parties en contact avec la source de chaleur. — C'est à quoi l'on parvient en les chauffant par la partie supérieure. Dans ces conditions, la conductibilité est tellement faible, qu'on peut faire bouillir, à la surface, de l'eau placée dans un

tube de verre, sans 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 cylindrique, creusée dans un bloc de glace; ce cylindre ayant été rempli d'huile, on mit un corps chaud en contact avec la surface du liquide: 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. — En répétant l'expérience avec divers liquides, on a reconnu que le mercure conduit beaucoup mieux la chaleur que l'huile et que l'eau.

**851. Conductibilité des gaz.** — D'après ce que nous avons vu (849), la propagation de la chaleur dans les gaz doit se faire, le plus souvent, par des courants intérieurs. — De plus, ces corps étant diathermanes, il a été impossible pendant longtemps de constater leur conductibilité, même en les chauffant par la partie supérieure.

Toutefois, M. Magnus a réussi à démontrer que l'*hydrogène* est capable de conduire la chaleur. Un cylindre plein de gaz hydrogène étant chauffé par la partie supérieure, on constate qu'un thermomètre placé à la partie inférieure indique des accroissements de température d'autant plus rapides que la pression du gaz est plus grande. — Pour les autres gaz, les expériences ont donné des résultats contraires: il en faut conclure, non pas que ces gaz sont absolument dépourvus de conductibilité, mais que leur conductibilité, si elle existe, est assez petite pour être masquée par les effets de la diathermanéité.

**852. 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. — C'est pour la même raison qu'un dallage en pierre nous paraît plus froid qu'un parquet, la pierre étant plus conductrice que le bois.

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 immédiatement brûlée, parce que la chaleur transmise aux points touchés ne peut pas se propager aux points voisins.

855. **Propriétés conductrices des étoiles 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 peut plus se produire 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 allumée : il se produit en ce point une nouvelle flamme, qui peut ensuite continuer à brûler.

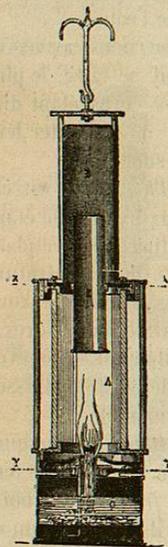


Fig. 708. — Lampe de sûreté.

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. 708), 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.

854. **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 con-

ductrice, est préférable sous ce rapport. — En Russie, les parois des chaumières sont formées par une double cloison de bois, dans laquelle on introduit de la paille, de la sciure de bois ou de la mousse sèche : l'air emprisonné entre ces deux cloisons forme, comme nous l'avons vu (851), une couche dont la conductibilité est extrêmement faible.

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, et leur fourrure devient encore plus épaisse à l'approche de l'hiver. Nous nous couvrons nous-mêmes, pour nous préserver du froid, soit de fourrures empruntées à ces animaux, 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. — Pour conserver des morceaux de glace, il suffit de les envelopper dans une couverture de laine : l'air contenu dans l'épaisseur de la couverture, une fois refroidi par la glace, la préserve de la chaleur extérieure.

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 de la glacière est formée par une maçonnerie, qui s'oppose à la pénétration de la chaleur du sol ; on la garnit souvent encore 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.