

La même expérience, répétée avec une autre source lumineuse comme la lampe de Locatelli (fig. 675) ou la spirale incandescente (fig. 674), fournit encore un spectre dans lequel on trouve des rayons de chaleur obscure, et des rayons qui sont à la fois calorifiques et lu-

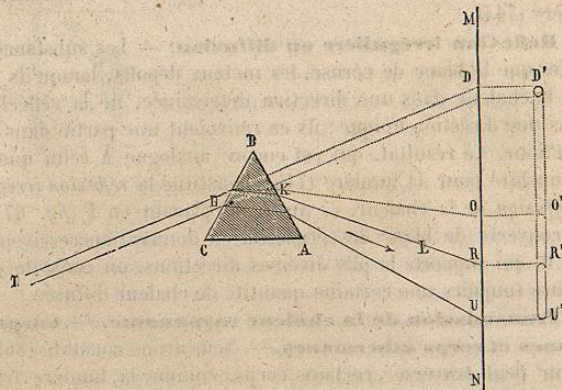


Fig. 679. — Décomposition de la chaleur par un prisme.

mineux : ces derniers sont seulement en proportion moindre que dans la lumière solaire. — Enfin, les sources obscures, comme la plaque chauffée (fig. 675), ou le cube d'eau bouillante (fig. 672), ne donnent plus de spectre lumineux, mais uniquement des rayons de chaleur obscure, moins déviés que ne seraient les rayons rouges.

Il résulte, de l'ensemble de ces expériences, que les rayons calorifiques obscurs, quand on les compare aux rayons calorifiques lumineux, ne présentent, par rapport à ceux-ci, que des différences du même ordre que celles qui distinguent entre eux les rayons lumineux de diverses couleurs. Ces rayons de chaleur se séparent, sous l'action d'un prisme, absolument comme se séparent les rayons des diverses couleurs qui constituent la lumière blanche, en vertu de leurs différences de réfrangibilité. — Nous allons voir que les mêmes analogies se retrouvent dans la transmission des rayons calorifiques au travers de substances de natures diverses.

876. Pouvoirs diathermanes des diverses substances, pour les diverses espèces de rayons calorifiques. — Pour étudier le degré de transparence des diverses substances pour la chaleur, ou leur diathermanéité, on les façonne en petites plaques, que l'on place sur

au delà du rouge que le spectre fourni par le prisme de sel gemme. Nous verrons, en effet, que le verre absorbe la plus grande partie des rayons de chaleur obscure et ne laisse guère passer que les rayons de chaleur lumineuse.

un support (fig. 680), entre la source de chaleur et la pile thermo-électrique : la déviation de l'aiguille du galvanomètre fait connaître la quantité de chaleur transmise. On enlève ensuite la plaque, et on laisse arriver directement le faisceau calorifique sur la pile : on obtient une autre déviation, qui fait connaître la quantité de chaleur incidente.

On appelle *pouvoir diathermane* d'une plaque, pour un faisceau calorifique de nature déterminée, le rapport entre la quantité de chaleur transmise et la quantité de chaleur incidente.

L'expérience montre que le pouvoir diathermane d'une même substance présente, en général, des valeurs très diverses, selon la nature de la chaleur incidente. — Voici quelques exemples des résultats obtenus :

1° Si l'on prend, comme sources de chaleur, le cube à eau bouillante ou la plaque de cuivre chauffée, c'est-à-dire des sources obscures, on constate que les plaques de verre ou de cristal de roche ne laissent passer que des quantités de chaleur presque inappréciables. — Ces substances n'ont donc, pour les rayons calorifiques obscurs, qu'un pouvoir diathermane sensiblement nul.

2° Au contraire, si l'on prend, comme sources de chaleur, la lampe de Locatelli ou la spirale incandescente, c'est-à-dire des sources lumineuses, la quantité de chaleur transmise au travers de ces mêmes plaques est une fraction très notable de la quantité de chaleur incidente. — Ce résultat, comparé au précédent, montre que ces substances (verre ou cristal de roche) n'arrêtent, dans les faisceaux émis par ces sources, que les rayons de chaleur obscure ; elles laissent passer, avec la lumière, une portion considérable de rayons calorifiques lumineux. On a même constaté directement qu'elles ont, pour ces rayons pris isolément, un pouvoir diathermane voisin de l'unité.

3° Enfin, certaines autres substances, comme le sel gemme, laissent toujours passer la presque totalité de la chaleur incidente, quelle que soit la source de chaleur employée. Le sel gemme a donc un pouvoir diathermane sensiblement égal à l'unité, pour les rayons calorifiques de toutes natures.

Ces résultats offrent une analogie remarquable avec ceux que présente la transmission de la lumière au travers des divers corps. — Ainsi, le verre ou le cristal de roche, recevant le faisceau de chaleur complexe qu'émet la lampe de Locatelli, ne laissent passer que les divers rayons de chaleur lumineuse et arrêtent les rayons de chaleur obscure ; absolument comme une vitre rouge, recevant la lumière blanche du soleil, ne laisse passer que les rayons rouges et arrête les rayons des autres couleurs. — Le sel gemme laisse passer aussi bien



Fig. 680. — Plaques pour l'étude des pouvoirs diathermanes.

les rayons obscurs que les rayons lumineux, comme une vitre incolore laisse passer indifféremment les rayons des diverses couleurs qui constituent la lumière blanche.

En résumé, le pouvoir diathermane de chaque substance dépend de la nature du faisceau calorifique qu'elle reçoit, comme le degré de transparence d'une substance, pour la lumière, dépend de la composition de la lumière incidente (*).

877. Applications. — Dans les serres vitrées, où l'on conserve les plantes auxquelles l'action du froid serait funeste, l'observation montre que, même pendant l'hiver, la température s'élève rapidement, sous la simple influence des rayons solaires. — Ce résultat s'explique facilement, d'après ce qui précède. La plus grande partie de la chaleur du soleil pénètre, avec la lumière, au travers des vitres, et chauffe les corps que la serre contient. Ceux-ci, à mesure qu'ils s'échauffent, émettent à leur tour des quantités de chaleur de plus en plus grandes; mais c'est de la chaleur *obscur*, qui ne peut traverser le verre, en sorte que la chaleur s'accumule progressivement à l'intérieur de la serre. — Il en est de même dans les cloches dont les maraîchers couvrent leurs plantes pour faire mûrir les fruits : il suffit d'introduire la main sous ces cloches, pour constater l'élévation de température qui s'y produit dès qu'elles ont été frappées quelque temps par le soleil.

L'eau jouit, sous ce rapport, de propriétés analogues à celles du verre. De là l'élévation de température qu'éprouve la vase, au fond des étangs peu profonds, sous l'action des rayons solaires (**).

878. Appareil de M. Mouchot, pour l'utilisation de la chaleur du soleil comme moyen de chauffage. — C'est par une appli-

(*) Masson et Jamin ont étudié, non plus la transmissibilité de faisceaux de chaleur *hétérogène*, mais la transmissibilité propre de chacun des faisceaux *homogènes* dans lesquels on peut les décomposer. — Pour cela, ils recevaient le spectre solaire, obtenu au moyen d'un prisme de sel gemme, sur un écran percé d'une petite ouverture. En donnant successivement diverses positions à cette ouverture, ils pouvaient laisser passer des faisceaux appartenant exclusivement à telle ou telle *portion du spectre*, et étudier la transmission de chacun d'eux au travers des diverses lames. Ils ont reconnu ainsi :

1° Que le verre, le cristal de roche, la glace, et en général toutes les substances transparentes pour la lumière, sont aussi diathermanes pour tous les rayons de *chaleur lumineuse*;

2° Que ces mêmes substances laissent passer encore les rayons de *chaleur obscure* voisins du rouge, mais éteignent les rayons de *chaleur obscure extrême*, c'est-à-dire les moins déviés par le prisme ;

3° Qu'un verre fortement coloré en rouge, qui ne laisse passer que la *lumière rouge* et éteint les autres couleurs, laisse passer également la *chaleur des rayons rouges* et éteint les autres rayons calorifiques.

(**) La vapeur d'eau dont se charge notre atmosphère jouit également de propriétés semblables, comme l'ont montré les expériences de M. Tyndall. L'atmosphère humide a donc pour effet de ralentir le refroidissement de notre globe : elle laisse passer, en quantité notable, la chaleur lumineuse émise par le Soleil, et arrête, en très grande partie, la chaleur obscure que la Terre échauffée émet en sens contraire.

cation intelligente des principes précédents, que M. Mouchot a pu construire un appareil qui permet d'utiliser la chaleur solaire pour échauffer rapidement les liquides, comme l'eau, l'alcool, etc.

Un grand miroir métallique MM (fig. 681), qui a la forme d'un cône et dont la surface intérieure est argentée, est fixé dans une position telle que son axe soit dirigé vers le soleil. Les rayons solaires S, S, reçus sur sa surface, sont réfléchis

de manière à venir converger aux divers points de l'axe du cône. Un vase cylindrique C, en cuivre mince, noirci à l'extérieur, est placé suivant cet axe et contient le liquide à chauffer : il est entouré d'un cylindre de verre V. — Le verre laisse passer les rayons de *chaleur lumineuse* réfléchis par le miroir, lesquels viennent échauffer le vase C, dont la surface noircie les absorbe à peu près intégralement. A mesure que le vase et le liquide s'échauffent, ils émettent des quantités de chaleur croissantes, mais cette chaleur *obscur* est arrêtée par le verre : le refroidissement du liquide est donc à peu près nul, et sa température s'élève rapidement.

On peut ainsi amener l'eau à l'ébullition en 15 à 20 minutes, en opérant par un beau soleil. — On conçoit facilement les applications que cet appareil peut recevoir, dans les contrées où le ciel reste découvert pendant de longues périodes.

879. Absorption de la chaleur. — Pouvoirs absorbants des divers corps. — La chaleur *absorbée* par un corps est la portion de chaleur incidente qui est retenue par lui, et qui sert, en général, à lui faire éprouver une élévation de température.

On appelle *pouvoir absorbant* d'un corps, pour une chaleur de nature déterminée, le rapport de la quantité de chaleur absorbée à la quantité de chaleur incidente.

Quand on opère sur le *noir de fumée*, l'expérience montre que ce

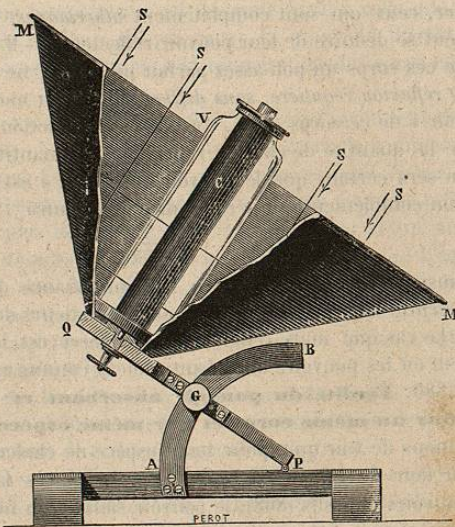


Fig. 681. — Appareil de M. Mouchot, pour l'utilisation de la chaleur du soleil.

corps, recevant un faisceau de chaleur de nature quelconque, n'en renvoie aucune partie, soit par réflexion régulière, soit par diffusion, et n'en laisse passer non plus aucune partie par transmission. — Le noir de fumée doit donc être considéré comme absorbant toujours intégralement la chaleur qu'il reçoit, c'est-à-dire comme ayant un *pouvoir absorbant égal à l'unité*.

Pour ce qui concerne les autres corps, si l'on considère, en particulier, ceux qui sont complètement *athermanes*, leur pouvoir absorbant peut se déduire de leur pouvoir réflecteur. — Il suffira de donner à l'un de ces corps un poli assez parfait pour qu'il ne puisse donner lieu *qu'à la réflexion régulière, sans diffusion* : si l'on mesure le pouvoir réflecteur r de ce corps (872), c'est-à-dire la fraction qui exprime le rapport de la quantité de chaleur réfléchie à la quantité de chaleur incidente, on sera certain que le pouvoir absorbant a est représenté par la fraction complémentaire, c'est-à-dire qu'on aura

$$a = 1 - r.$$

Ainsi, pour les métaux polis, la connaissance des pouvoirs réflecteurs fournit, sans nouvelle expérience, les valeurs des pouvoirs absorbants.

Le cas que nous venons de considérer est le plus simple : c'est le seul où les pouvoirs absorbants soient connus avec précision.

880. Égalité du pouvoir absorbant et du pouvoir émissif, pour un même corps et une même espèce de chaleur. — Nous venons de voir que, pour toute espèce de chaleur, le pouvoir *absorbant* du noir de fumée est égal à l'unité. D'après la définition même des pouvoirs émissifs (868), le pouvoir *émissif* du noir de fumée est également représenté par l'unité.

D'autre part, nous venons de voir (879) que, pour les corps *athermanes* ayant un pouvoir diffusif négligeable, on peut toujours déterminer le pouvoir absorbant, au moyen du pouvoir réflecteur. — Or, si l'on compare les pouvoirs absorbants ainsi obtenus, avec les pouvoirs émissifs des mêmes corps rapportés à celui du noir de fumée (868), on trouve deux séries de nombres *identiques*, au moins tant qu'il s'agit de rayons calorifiques de même nature.

Enfin, pour les substances qui ont un pouvoir diffusif, et dont les pouvoirs absorbants n'ont pu être déterminés avec la même exactitude, on constate que toutes les circonstances qui font varier le pouvoir émissif, modifient aussi, et dans le même sens, le pouvoir absorbant.

D'après l'ensemble de ces résultats, on est conduit à admettre que *le pouvoir émissif d'un corps est toujours égal à son pouvoir absorbant, pour la même espèce de chaleur.* — Ce principe, dont la théorie démontre la généralité, permet de se dispenser de la détermination directe des pouvoirs absorbants de certaines substances, quand on connaît leurs pouvoirs émissifs pour la même espèce de chaleur.

881. Hypothèse de l'équilibre mobile de température. — Quand on met en présence divers corps, à des températures différentes, les plus froids s'échauffent, les plus chauds se refroidissent, et il en est ainsi jusqu'au moment où tous ces corps arrivent à une même température, qu'ils conservent ensuite indéfiniment.

Ce résultat pourrait s'expliquer en admettant que les corps les plus chauds sont les seuls qui rayonnent de la chaleur, et que ce rayonnement cesse dès que leur température est devenue égale à celle que les autres corps ont acquise. — Pour chaque corps, la propriété d'émettre de la chaleur serait alors subordonnée à la température des corps environnants.

Il est plus rationnel d'admettre que *tous les corps* rayonnent de la chaleur, mais que, pour chacun d'eux, la quantité de chaleur émise est d'autant plus grande que la température du corps est plus élevée. — Dès lors, plusieurs corps étant mis en présence, si l'un d'eux se refroidit, c'est qu'il émet plus de chaleur qu'il n'en absorbe; si un autre s'échauffe, c'est qu'il absorbe plus de chaleur qu'il n'en émet. — L'équilibre de température, une fois réalisé, se conserve, parce que, pour chacun des corps, la perte de chaleur due à son rayonnement propre est compensée par la chaleur qu'il absorbe. — C'est ce qu'on a appelé *l'équilibre mobile de température*.

882. Explication de la réflexion apparente du froid. — Cette manière d'envisager les phénomènes fournit une explication de l'expérience connue sous le nom de *réflexion apparente du froid*.

Reprenons les miroirs conjugués déjà décrits (871); plaçons au foyer F du miroir A'B' (fig. 682) le réservoir d'un thermomètre sensible, puis

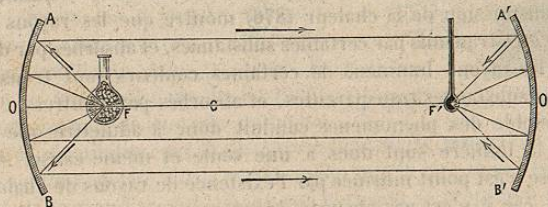


Fig. 682. — Miroirs conjugués, pour la réflexion apparente du froid.

fixons au foyer F du miroir AB un ballon de verre contenant de la glace. Le thermomètre indiquera un abaissement de température. — Cette expérience, célèbre dans la science, semblait conduire à admettre l'existence de *rayons frigorifiques*. La théorie de l'équilibre mobile de température dispense de cette hypothèse.

En effet, supposons d'abord que le ballon *ne soit pas encore placé*, et que l'équilibre de température existe; admettons, pour plus de simpli-

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

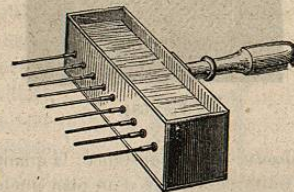


Fig. 685. — Appareil d'Ingenhousz

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-