3° *Expérience de Ritchie.* — La loi de Leslie se vérifie (avec ces restrictions) par l'expérience suivante, due à Ritchie.

L'appareil n'est autre chose qu'un thermomètre différentiel, où les deux boules de verre sont remplacées par deux réservoirs cylindriques B et C de métal, et pleins d'air (fig. 792). Entre eux se trouve un troisième réservoir A, plus grand, de même forme, qu'on peut remplir d'eau chaude par une tubulure; de plus, A est mobile et peut être rapproché plus ou moins de B ou de C. Enfin, les bases de ces trois cylindres, qui sont en regard, sont alternativement recouvertes d'un plaqué d'argent et de noir de fumée, de manière que les deux faces en présence soient l'une argentée et l'autre noircie. Par suite, la face argentée de A rayonne vers la face noire de B, et la face noire de A vers la face argentée de C. Le réservoir A étant rempli d'eau chaude, on remarque que, lorsqu'il est placé à égale distance de B et de C, la colonne liquide reste stationnaire et à la même hauteur dans les deux branches, ce qui prouve que les réservoirs B et D absorbent la même quantité de chaleur.

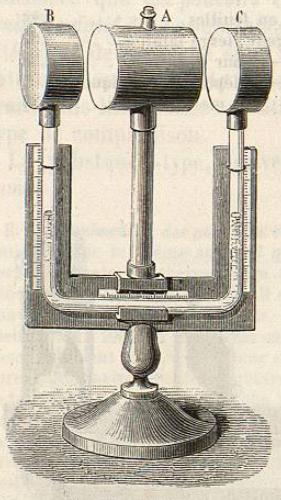

Fig. 792.

Or, si l'on représente par a et e les pouvoirs absorbant et émissif absolus du noir de fumée, par a' et e' ceux de l'argent, la quantité de chaleur absorbée par B, étant en même temps proportionnelle à a et à e', peut être représentée par le produit $a \times e'$; de même la chaleur absorbée par C est représentée par $a' \times e$. On peut donc poser

$$a \times e' = a' \times e, \qquad \text{d'où} \qquad \frac{a}{a'} = \frac{e}{e'},$$

égalité qui exprime d'une manière générale que *les pouvoirs absorbants absolus sont proportionnels aux pouvoirs émissifs absolus.*

Si l'on prend le pouvoir absorbant du noir de fumée pour unité des pouvoirs absorbants, et son pouvoir émissif pour unité des pouvoirs émissifs, c'est-à-dire si l'on pose $a = 1$, $e = 1$, la première égalité ci-dessus donne $a' = e'$: ce qui fait voir que, dans ce cas, *les pouvoirs absorbant et émissif relatifs sont égaux.* Il est à remarquer que les deux conditions restrictives de la loi de Leslie sont satisfaites dans l'expérience de Ritchie.

797. **Circonstances qui modifient les pouvoirs réflecteur, absorbant et émissif.** — Les pouvoirs émissif et absorbant étant proportionnels, toute cause qui modifie l'un modifie nécessairement l'autre dans le même sens. Quant au pouvoir réflecteur, il varie en sens inverse des deux autres, et toute cause qui augmente ceux-ci le diminue, et réciproquement.

On a vu que ces différents pouvoirs varient d'une substance à une autre; que ce sont les métaux qui ont le plus grand pouvoir réflecteur, et le noir de fumée qui a le plus faible. Mais, pour un même corps, ces pouvoirs sont encore modifiés par le degré de poli, par la densité, par l'épaisseur de la substance rayonnante ou réfléchissante, par l'état physique de cette substance, par l'obliquité des

rayons incidents ou émis, et enfin par la nature de la source de chaleur, obscure ou lumineuse.

I. *Pouvoir réflecteur.* — On a longtemps admis qu'*en général* le pouvoir réflecteur *croît* et que les autres pouvoirs *diminuent* avec le degré de poli des surfaces. Mais Melloni a constaté qu'*en rayant une plaque métallique polie* tantôt on *diminuait* son pouvoir réflecteur, tantôt on l'*augmentait.* Ce résultat s'explique par la variation de densité que subit la plaque. Si celle-ci a d'abord été écrouie, l'homogénéité a été détruite; les molécules sont plus serrées à la surface que dans la masse, et le pouvoir réflecteur est augmenté. Alors, lorsqu'on raye la surface, la masse intérieure, qui est moins dense, est mise à nu, et le pouvoir réflecteur diminue. Au contraire, dans une plaque non écrouie et homogène, le pouvoir réflecteur est augmenté lorsqu'on la raye avec un instrument tranchant, parce que cette action mécanique produit une augmentation de densité à la surface.

Le pouvoir réflecteur varie *avec l'inclinaison des rayons incidents.* Pour les métaux, cette influence est peu sensible; mais, pour les substances transparentes, la quantité de chaleur réfléchie augmente rapidement avec l'angle d'incidence. Pour le verre, le pouvoir réflecteur, qui est 0,05 sous l'incidence de 20°, devient 0,55 sous l'incidence de 80°.

Le pouvoir réflecteur dépend encore de la nature *de la source de chaleur* celui de l'acier est 0,60 pour la chaleur solaire, et 0,85 pour la chaleur d'une *lampe Locatelli* (lampe sans verre).

Enfin, le pouvoir réflecteur des métaux *est plus grand pour la chaleur obscure que pour la chaleur lumineuse.*

II. *Pouvoir émissif.* — 1° L'*épaisseur des plaques rayonnantes* modifie le pouvoir émissif de certaines substances.

En effet, Melloni s'est assuré qu'en vernissant les faces d'un cube métallique rempli d'eau à une température constante, le pouvoir émissif croissait avec le nombre des couches de vernis, jusqu'à 16 couches, et qu'au delà il restait constant, quel qu'en fût le nombre. Il a calculé que l'épaisseur des 16 couches était de $\frac{4}{100}$ de millimètre. Quant aux métaux, des feuilles d'or de 8, 4 et 2 millièmes de millimètre ayant été successivement appliquées sur les faces d'un cube de Leslie, en verre, l'émission de chaleur fut la même. L'épaisseur de la couche rayonnante est donc sans influence pour les métaux, du moins dans les limites où l'on peut la faire varier.

2° L'*état physique d'une substance* change aussi son pouvoir émissif. Ainsi les corps réduits en poudre impalpable paraissent avoir tous le même pouvoir émissif. C'est du moins ce qu'ont observé Masson et Courtépée pour seize corps sur vingt qu'ils ont soumis à l'expérience. Tyndall attribue ce résultat à la gomme arabique qui servait à fixer les poudres. En les appliquant à l'eau, il a trouvé des pouvoirs émissifs différents.

3° Le pouvoir émissif varie encore *avec l'inclinaison des rayons sur la surface qui les émet, sauf pour le noir de fumée.* Pour le blanc de céruse, par exemple, le pouvoir émissif étant 100 dans la direction normale, n'est plus que 66 sous une inclinaison de 80°. Dans les mêmes conditions, le pouvoir émissif du verre est successivement 90 et 54. (Conséquence de la loi du cosinus.)

4° Enfin, pour un même corps, le pouvoir émissif varie *avec la température.* Par exemple, le pouvoir émissif du borate de plomb *diminue* lorsqu'on élève sa température. Ainsi, à 100°, il est très approximativement le même que celui du noir de fumée, tandis qu'à 550° il n'en est que les 0,75.

5° *Quant aux corps gazeux en combustion, leur pouvoir émissif est extrêmement faible.* On le constate nettement en approchant la pile thermo-électrique d'une flamme d'hydrogène : quoique la température de cette flamme soit très élevée, on n'observe que de faibles déviations. Mais si l'on place dans

la flamme une spirale de platine, cette spirale, prenant la température de la flamme, rayonne fortement. C'est par un effet semblable que les flammes des lampes et du gaz d'éclairage rayonnent beaucoup plus de chaleur que la flamme d'hydrogène : c'est l'excès de carbone non brûlé qui devient incandescent dans la flamme et accroît son pouvoir émissif pour la chaleur comme pour la lumière.

III. *Pouvoir absorbant.* — Melloni a constaté que le pouvoir absorbant d'une substance varie *avec la nature de la source de chaleur*. Par exemple, le carbonate de plomb absorbe à peu près deux fois plus de la chaleur émise par le cube à 100° que de la chaleur émise par une lampe. *Seul le noir de fumée absorbe toujours la même quantité de chaleur, quelle qu'en soit la source.*

Le pouvoir absorbant varie encore *avec l'inclinaison des rayons incidents.* Il atteint son maximun pour l'incidence normale, et diminue à mesure que l'incidence augmente. C'est une des raisons pour lesquelles le sol s'échauffe plus l'été que l'hiver, car en été les rayons solaires sont moins obliques qu'en hiver.

En général, *toutes les causes qui modifient le pouvoir émissif modifient dans le même sens le pouvoir absorbant.*

798. **Applications.** — La propriété que possèdent les corps d'absorber, de réfléchir ou d'émettre plus ou moins de chaleur dans les mêmes circonstances, a de nombreuses applications dans l'économie domestique et dans les arts.

Usages domestiques. — Par exemple, dans les vases où l'on fait chauffer des liquides, tels que les cafetières, il y aurait avantage à ce que la surface fût noire et dépolie, puisque alors le pouvoir absorbant serait plus grand. Le poli qu'on lui donne habituellement diminue donc l'absorption et accroît la dépense de combustible. S'il s'agit, au contraire, de maintenir longtemps un liquide à une température élevée, il faut le placer dans un vase de métal poli et brillant, comme les théières d'argent; car alors, le pouvoir émissif étant moindre, le refroidissement sera plus lent.

Pouvoir absorbant des diverses étoffes. — 1° *Expérience de Franklin.* — Franklin, ayant exposé sur la neige aux rayons solaires des étoffes de différentes couleurs, avait trouvé que les étoffes noires s'y enfonçaient plus ou moins profondément, tandis que les étoffes blanches n'enfonçaient pas du tout. Il en avait conclu que celles-ci absorbaient moins la chaleur que celles-là. On a fait longtemps une application de cette expérience au choix des vêtements : on admettait que les vêtements blancs sont plus frais que les noirs pendant l'été, parce qu'ils absorbent moins la chaleur, et plus chauds l'hiver, parce qu'ils en émettent moins.

2° *Expérience de M. Tyndall.* — Mais M. Tyndall fait observer à ce sujet que, si tous les rayons calorifiques étaient lumineux, nous pourrions, avec certitude, de la couleur d'un corps déduire

son pouvoir absorbant, mais que, la majeure partie de la radiation solaire étant invisible, la coloration et l'absorption sont deux phénomènes distincts. Il a confirmé cette remarque par les expériences suivantes.

Trois des faces d'un cube de fer-blanc étant l'une blanchie à la craie, l'autre rougie au carmin, la troisième noircie au noir de fumée, et le cube étant rempli d'eau à 100°, les trois faces, présentées successivement à la pile thermo-électrique, impriment une égale déviation à l'aiguille du galvanomètre, et si l'on présente la face nue, l'aiguille se rapproche aussitôt du zéro.

On obtient les mêmes résultats avec un cube dont trois faces sont revêtues respectivement de velours blanc, rouge et noir, et la quatrième nue.

Enfin M. Tyndall a constaté que deux cartes, l'une blanche, l'autre noircie avec de l'iode, étant présentées à un foyer, la première s'échauffe beaucoup plus que la seconde.

De ces expériences il conclut que, dans nos vêtements, dans la fourrure des quadrupèdes, le plumage des oiseaux, ce n'est pas la couleur qui a de l'influence, mais la texture et le degré de conductibilité.

799. **Pouvoirs diathermanes.** — I. *Définitions préliminaires.* — *Diathermanéité.* — Outre la propriété qu'ont les corps de réfléchir, d'absorber et d'émettre plus ou moins la chaleur, plusieurs la laissent passer à travers leur masse, de même que les corps transparents laissent passer la lumière : tels sont l'air, le sel gemme, le verre. D'autres substances, comme les métaux, sont imperméables à la chaleur.

Melloni a appelé *substances diathermanes* les premières et *substances athermanes* les dernières. La propriété elle-même s'appelle *diathermanéité :* elle correspond à la *transparence* pour la lumière.

Pouvoir diathermane. — On appelle *pouvoir diathermane* d'une substance *le rapport* de la quantité de chaleur qu'elle *laisse passer* à celle qu'elle *reçoit.*

II. *Détermination.* — *Expériences de Melloni.* — Melloni a déterminé les pouvoirs diathermanes à l'aide de son thermomultiplicateur. Il employait cinq sources de chaleur différentes :

1° Une *lampe Locatelli*, lampe sans verre, avec réflecteur, et à un seul courant d'air (fig. 793);

2° Une *lampe d'Argand*, lampe à double courant d'air et munie d'un verre;

3° Le *platine incandescent,* fil de platine contourné en hélice et maintenu au rouge blanc dans la flamme d'une lampe à alcool (fig. 794);

4° Enfin, le *cuivre à* 400°, plaque de cuivre, noircie extérieurement et chauffée à 400° environ par la flamme d'une lampe à alcool (fig. 795) ;

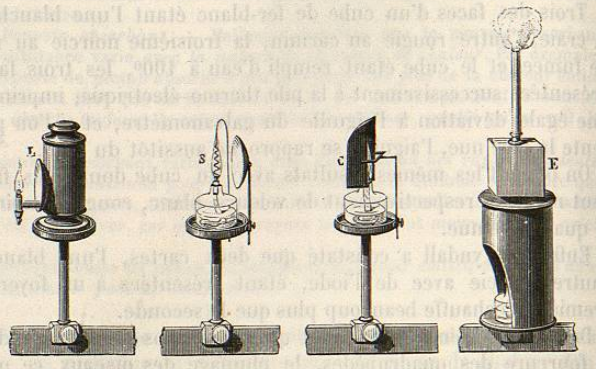

Fig. 793. Fig. 794. Fig. 795. Fig. 796.

5° Le *cube de Leslie*, cube de cuivre rouge, noirci à l'extérieur et rempli d'eau à 100° (fig. 796).

Les trois premières sources donnent de la *chaleur lumineuse*, et les deux dernières de la *chaleur obscure*.

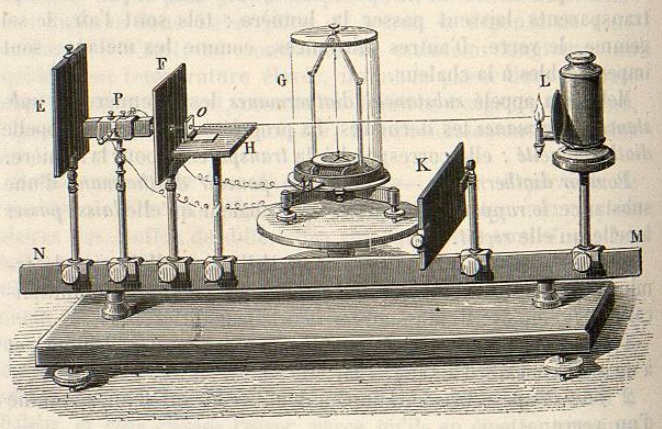

Fig. 797.

Le thermomultiplicateur était disposé comme le montre la figure 797. Les substances sur lesquelles on expérimentait étaient

taillées en plaques d'une épaisseur variable, et fixées en *o* sur un support H. Après les avoir traversées, les rayons calorifiques rencontraient la pile P, et imprimaient à l'aiguille du galvanomètre G une déviation qui mesurait la chaleur transmise. En comparant cette déviation à celle qu'on obtient directement quand la plaque est enlevée, on a le pouvoir diathermane de celle-ci.

800. **Circonstances qui modifient le pouvoir diathermane.** — Ces circonstances sont : 1° la nature de la source de chaleur; 2° la substance des écrans; 3° leur épaisseur.

Influence de la nature de la source et de la substance de l'écran. — En représentant par 100 l'intensité de la chaleur incidente, Melloni a obtenu le tableau suivant pour les quantités de chaleur que laissent passer, avec quatre sources différentes, des plaques de diverses substances, mais de même épaisseur.

SUBSTANCES.	LAMPE de LOCATELLI.	PLATINE incandescent.	CUIVRE chauffé à 400°.	CUIVRE chauffé à 100°.
Le sel gemme laisse passer	92	92	92	92
Le spath d'Islande »	39	28	6	0
Le verre à glaces »	39	24	6	0
Le cristal de roche »	37	18	6	0
La chaux sulfatée »	14	5	0	0
L'alun »	9	2	0	0
La glace pure »	6	0	0	0

Influence de l'épaisseur de l'écran. — Quant à l'influence de l'épaisseur des écrans, l'expérience fait voir que *la quantité de chaleur qui traverse un écran décroît quand son épaisseur augmente;* mais l'absorption n'est pas *proportionnelle* à l'épaisseur, car c'est surtout dans les premières couches qu'elle se produit.

Diathermanéité du sel gemme.— Le tableau ci-dessus montre que la chaleur lumineuse est plus transmissible que la chaleur obscure, sauf pour le sel gemme, dont le pouvoir diathermane reste constant et égal à 92, quelle que soit la source de chaleur. Melloni admettait que ce nombre est indépendant de l'épaisseur de la plaque, et il regardait le sel gemme comme un corps parfaitement diathermane, la perte de 8 pour 100 de la chaleur incidente devant être attribuée uniquement à la réflexion sur les faces des plaques.

Paul Desains a démontré que *le pouvoir diathermane du sel gemme décroît quand l'épaisseur augmente et quand la température de la source s'abaisse.* D'autre part, Magnus a fait voir que, pour certaines sources de chaleur obscure, en particulier pour une plaque de sel gemme chauffée à 150°, cette substance n'est pas plus diathermane qu'une autre et que sa diathermanéité, loin d'être constante, varie avec l'épaisseur comme celle de tous les autres corps.

Diathermanéité de la sylvine. — Enfin, le même savant a constaté que la *sylvine* (chlorure de potassium) a un pouvoir diathermane *au moins égal à celui du sel gemme pour toutes les sources de chaleur.*

801. **Diathermanéité des gaz.** — Melloni avait admis que *les gaz sont tous*

parfaitement diathermanes; mais M. Tyndall a trouvé que, tandis que l'oxygène, l'azote, l'hydrogène, ont un pouvoir diathermane *si faible, qu'ils n'absorbent qu'une quantité à peine appréciable de la chaleur qui les traverse,* les gaz composés, comme l'acide sulfureux, le gaz ammoniac, le gaz oléfiant, arrêtent presque complètement la chaleur, même lorsque leur tension n'est que de quelques centimètres de mercure.

Diathermanéité de l'air. — M. Tyndall, ayant expérimenté sur de l'air humide, trouva qu'il absorbe 70 fois plus de chaleur que l'air sec; d'où il avait conclu naturellement que l'air humide a un pouvoir absorbant plus grand que l'air sec. D'autre part, Magnus trouvait que ces pouvoirs sont sensiblement égaux, et qu'on n'observe de différence entre eux que lorsque l'air contient l'eau à l'état de vapeur vésiculaire, analogue à celle qui constitue les nuages. Enfin M. Wild découvrit que c'est la paroi du tube où est renfermé l'air humide qui est cause de la discordance entre ces résultats. Si la surface interne de cette paroi est polie, l'air humide absorbe plus que l'air sec; si, au contraire, elle est noircie ou recouverte de velours, l'air humide absorbe moins. C'est donc *à la vapeur condensée sur les parois du tube* qu'est due la différence des résultats cités plus haut.

802. **Applications des pouvoirs diathermanes.** — 1° C'est grâce à leur grand pouvoir diathermane que les couches supérieures de l'atmosphère sont toujours à une basse température, malgré les rayons solaires qui les traversent.

2° L'eau étant peu diathermane, le phénomène inverse se produit au sein des mers et des lacs : les couches supérieures participent aux variations de température, suivant les saisons, tandis qu'à une certaine profondeur la température reste constante.

3° Les propriétés des corps diathermanes ont été utilisées pour séparer la lumière et la chaleur qui rayonnent ensemble d'une même source. Le sel gemme, recouvert de noir de fumée, arrête complètement la lumière et laisse passer la chaleur obscure. Au contraire, des lames ou des dissolutions d'alun arrêtent la chaleur tout en étant parfaitement transparentes. On s'en sert avec avantage dans les éclairages à la lumière électrique ou solaire, lorsqu'il est nécessaire d'éviter une chaleur trop intense. L'iode dissous dans le bisulfure de carbone produit l'effet inverse : il absorbe les rayons lumineux, et laisse passer la chaleur obscure.

L'usage des cloches en verre dont on abrite dans les jardins certaines plantes, et l'emploi des serres froides ou chaudes sont fondés sur la diathermanéité du verre. On a vu dans le tableau ci-dessus (800) que cette substance (qui est *diathermane* pour la chaleur lumineuse des rayons solaires) est absolument *athermane* pour la chaleur obscure qui rayonne du sol.

803. **Analyse des radiations calorifiques. — Thermochrose.** — Les propriétés que présente la chaleur dans son passage au travers des corps ont conduit Melloni à étendre à la chaleur l'hypothèse faite depuis longtemps sur la lumière. De même que Newton avait démontré l'existence de plusieurs

espèces de lumière, le *rouge*, l'*orangé*, le *jaune*, le *vert*, le *bleu*, l'*indigo* et le *violet*, qui ne se transmettent pas également au travers des corps diaphanes et qui peuvent être réunies entre elles ou séparées, de même Melloni démontra l'existence de plusieurs espèces de rayons calorifiques (797) émis simultanément, en proportions variables, par les diverses sources de chaleur, et doués de la propriété de traverser plus ou moins facilement les substances diathermanes. Celles-ci possèdent donc une véritable *coloration* calorifique, c'est-à-dire qu'elles absorbent certains rayons de chaleur et laissent passer les autres, de la même manière qu'un verre bleu, par exemple, est traversé par la lumière bleue, et ne l'est pas par les autres couleurs. Melloni a donné le nom de *thermochrose* à cette espèce de *coloration calorifique* des corps diathermanes.

804. **Analogies entre la lumière et la chaleur.** — Le spectre calorifique qui accompagne le spectre lumineux (797) prouve une grande similitude entre la radiation calorifique et la radiation lumineuse. Cependant, Melloni ayant fait voir que certaines substances, comme le quartz, la glace pure, qui laissent très bien passer la lumière, sont peu perméables à la chaleur de certaines sources, et que le quartz enfumé, qui est fort peu transparent, est au contraire très diathermane, il semble y avoir là un caractère distinctif entre la chaleur et la lumière; mais cette différence disparaît quand on fait la distinction de la chaleur obscure et de la chaleur lumineuse.

En effet, en considérant d'abord la chaleur lumineuse, c'est-à-dire celle qui se trouve dans la partie visible du spectre, et en expérimentant successivement sur les sept faisceaux du spectre d'un prisme de sel gemme, MM. Jamin et Masson ont trouvé que les substances parfaitement transparentes, comme le sel gemme, le verre, l'alun, sont aussi parfaitement diathermanes, abstraction faite des pertes dues à la réflexion. De plus, en faisant passer les différents faisceaux du spectre à travers des plaques de verre vert, bleu et violet, ils ont constaté que, dans la partie lumineuse du spectre, *la chaleur et la lumière se transmettent toujours dans les mêmes proportions à travers un milieu quelconque.*

Les résultats ne sont plus les mêmes avec la chaleur obscure, c'est-à-dire avec les rayons infra-rouges, émis par le cuivre à 400°, ou par le cube à 100° (795). En effet, tandis que le sel gemme laisse passer également tous les rayons calorifiques obscurs, le verre, l'alun et, en général, tous les corps transparents et les substances translucides colorées, arrêtent ces mêmes rayons. Enfin, le sel gemme, le verre, le quartz qu'on a recouverts de noir de fumée, ne laissent plus passer la lumière, mais continuent à être traversés par les rayons calorifiques obscurs.

Quant aux rayons chimiques, ou ultra-violets, M. Ed. Becquerel a trouve que le sel gemme et le quartz les laissent passer tous, que l'eau et le verre les transmettent à un degré moindre, mais que l'essence de térébenthine et surtout le bisulfate de quinine et le verre d'urane les éteignent complètement.

CHAPITRE XVII

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE THERMODYNAMIQUE.

805. **Chaleur dégagée par les actions mécaniques.** — Il y a des sources de chaleur autres que la radiation solaire et que les réactions chimiques, les changements d'état physique et l'électricité. Tous les corps, quel