port $\frac{v}{V}$. C'est ce nombre qu'on mesure directement. Les meilleures mesures, dues à l'astronome Otto Struve, ont donné 20″,445, ce qui fait 10 100 pour le rapport $\frac{v}{V}$.

Pour en déduire V, il faut connaître v en valeur absolue, et, pour cela, il faut encore avoir recours à la parallaxe solaire. La première parallaxe 8″,57 conduit à une valeur de V égale à 310 000 kilomètres, la deuxième parallaxe 8″,86 réduit la valeur de V à 299 000 kilomètres.

Méthodes physiques. — Les résultats de ces mesures astronomiques ont été confirmés par des mesures directes, faites à l'aide de méthodes purement physiques, en 1839 par M. Fizeau, puis par Léon Foucault de 1850 à 1862, enfin par M. Cornu en 1873 et 1875. M. Fizeau a trouvé 315 000 kilomètres par seconde, nombre qui se rapproche beaucoup de l'un des deux qui résultent de la méthode de Rœmer. M. Cornu, qui a employé le même procédé en le perfectionnant dans les détails, a trouvé 298 400 kilomètres dans une première série d'expériences, et dans une deuxième série 300 400 kilomètres (avec une approximation qu'il estime à 1/100 en plus ou en moins). Ce nombre diffère peu de l'un de ceux de la méthode de Bradley. Enfin Foucault avait trouvé le nombre 298 000 kilomètres. On ne s'éloignera donc pas beaucoup de la vérité en adoptant 300 000 kilomètres par seconde, en nombre rond, pour représenter la vitesse de la lumière dans l'air.

Ajoutons que les expériences de Foucault le conduisirent en outre à ce résultat très important au point de vue théorique, que la vitesse de propagation de la lumière est moins *grande dans l'eau que dans l'air.*

Nous nous contenterons de développer le procédé de Rœmer, comme exemple des méthodes astronomiques, et le procédé de Fizeau, comme exemple des méthodes physiques.

402. **Méthode de Rœmer.** — On sait que Jupiter est une planète autour de laquelle quatre satellites tournent, comme fait la Lune autour de la Terre. Son premier satellite (le plus reproché de la planète) fait ses immersions, c'est-à-dire entre dans l'ombre projetée par Jupiter, à des intervalles de temps égaux, qui sont de $42^h\,28^m\,36^s$. Il y a donc périodiquement occultation du satellite à chacun de ces intervalles. Avant Rœmer, Dominique Cassini (directeur de l'Observatoire de Paris) avait construit des tables qui annonçaient les époques de ces éclipses. Rœmer observa que leurs indications étaient tantôt en avance, tantôt en retard sur les phénomènes. Quand Jupiter était *en opposition*, c'est-à-dire lorsque la Terre était entre cette planète et le Soleil, il y avait avance; et au contraire, au moment des *conjonctions*, c'est-à-dire quand le Soleil était entre la Terre et Jupiter, il y avait retard. Rœmer expliqua aisément ces anomalies en admettant, avec Galilée et Bacon, que la vitesse de la lumière n'est pas infinie.

En effet, à l'opposition et dans les positions voisines, le Soleil étant en s (fig. 445), la Terre en T et Jupiter en j, la distance de la Terre à Jupiter, et par suite à son satellite E, est sensiblement égale à $sj - Ts$, tandis qu'aux conjonctions, par exemple quand la Terre est en T′ et Jupiter en j', la distance de la Terre à Jupiter est sensiblement $sj' + T's$. La distance $T'j'$ surpassant Tj de deux fois la distance de la Terre au Soleil, la lumière solaire réfléchie par le satellite E vers la Terre parcourt dans le second cas un chemin plus grand que dans le premier, la différence étant de deux fois sT, et, si la durée du parcours n'est pas négligeable, elle doit être la cause de l'avance et du retard observés tour à tour dans la période des éclipses (calculs de Delambre).

On peut évaluer ce retard de la manière suivante. Concevons qu'on observe l'instant de l'immersion du satellite dans le cône d'ombre lorsque Jupiter est en j et la Terre en T; puis une seconde immersion quand ces deux astres sont

en j' et en T′, c'est-à-dire lorsque la distance de la Terre à Jupiter est augmentée de tout le diamètre de l'orbite terrestre. Au lieu de trouver que le temps écoulé entre ces deux observations soit un multiple de $42^h\,28^m\,36^s$, égal au nombre n d'éclipses qui s'est produit pendant le passage de la Terre de T en T′,

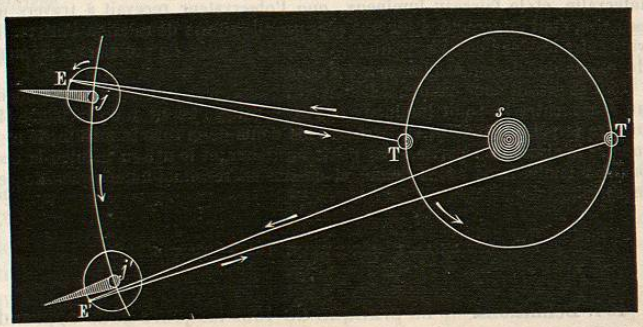

Fig. 445.

on trouve un temps $\theta = n\,(42^h\,28^m\,36^s) + \theta'$. C'est évidemment pour parcourir l'accroissement de distance TT′ qu'il a fallu à la lumière un intervalle θ' de plus que la durée calculée. On en conclut que, pour parcourir la distance D de la Terre au Soleil, c'est-à-dire $\frac{1}{2}$ TT′, la lumière met un temps $t = \frac{1}{2}\theta'$ et que la vitesse V de la lumière est donnée par l'équation $V = \frac{D}{t}$. Nous avons donné plus haut les résultats numériques de cette méthode.

(1) (2) (3)

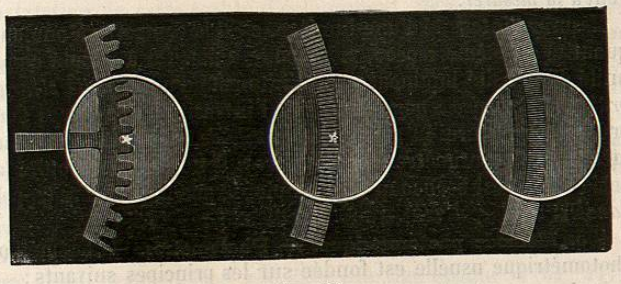

Fig. 446.

403. **Expériences de M. Fizeau.** M. Fizeau a mesuré directement la vitesse de la lumière, en cherchant le temps qu'il faut à un rayon lumineux pour aller de Suresnes à Montmartre et pour en revenir. Son appareil consistait en une roue dentée, tournant avec plus ou moins de vitesse, et dont les dents étaient espacées, deux à deux, par un intervalle rigoureusement égal à leur épaisseur. Cette roue et le mécanisme qui la faisait tourner étant installés à

Suresnes, un faisceau de lumière parallèle passait entre deux dents, et allait se réfléchir sur un miroir placé à Montmartre. Là le faisceau, dirigé par un système de tubes et de lentilles, revenait vers la roue. Tant que celle-ci était au repos, le faisceau repassait exactement entre les mêmes dents qu'à son départ; mais, la roue tournant suffisamment vite, une dent prenait la place d'un intervalle, et le faisceau lumineux, que l'observateur recevait à travers un oculaire, était intercepté. Pour une plus grande vitesse de rotation l'intervalle vide entre les deux dents suivantes avait pris la place du premier au moment du retour du faisceau et l'image reparaissait.

Tout se passait donc comme si l'on avait abaissé, puis relevé alternativement un écran entre le point lumineux et l'observateur. Le n° 1 de la figure 446 montre le point lumineux vu à travers les dents de la roue immobile; le n° 2 montre la disparition partielle du point lumineux, et le n° 3 en montre la disparition totale. Nous avons donné ci-dessus les résultats numériques de ces mesures.

INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE TRANSMISE. — PHOTOMÉTRIE.

404. **Définitions.** — La pratique de tous les jours nous apprend que l'éclairement produit sur une surface déterminée par une source de lumière dépend à la fois de sa nature, de sa distance et de l'inclinaison de ses rayons. Si donc on veut apprécier le pouvoir éclairant d'une source, il faut la placer dans des conditions bien déterminées de distance et d'orientation par rapport à la surface éclairée. On est convenu d'appeler *intensité d'une source lumineuse* la quantité de lumière qu'elle envoie *normalement*, à l'*unité de distance*, sur l'*unité de surface* d'un corps éclairé.

On appelle *photométrie* la partie de l'optique qui comprend les lois relatives à l'intensité de la lumière et les méthodes qui servent à la *mesurer*.

Mesurer l'intensité d'une lumière, c'est la comparer à une autre quantité de même espèce, prise pour unité. On a adopté comme unité d'intensité lumineuse soit l'intensité d'une *bougie stéarique brûlant* 10 *grammes par heure*, soit l'intensité d'une *lampe Carcel* brûlant par heure 42 grammes d'*huile de colza épurée* (avec une mèche de 3 centimètres de diamètre). Cette deuxième unité (appelée *Carcel*) est beaucoup plus employée que la première (appelée *Candle*); *un* Carcel vaut 8 ou 9 Candles.

405. **Méthode photométrique. — Photomètres.** — La méthode photométrique usuelle est fondée sur les principes suivants :

1° *La quantité de lumière reçue normalement sur une surface donnée varie en raison inverse du carré de sa distance à la source lumineuse.*

2° *La quantité de lumière reçue obliquement est proportionnelle au cosinus de l'angle que font les rayons lumineux avec la normale à la surface éclairée.*

3° *Les intensités de deux sources lumineuses qui produisent, dans les mêmes conditions, le même éclairement, sont directement proportionnelles aux carrés de leurs distances respectives à la surface éclairée.*

Les deux premières lois se démontrent *à priori* par le même raisonnement que les lois correspondantes de la chaleur rayonnante. Nous exposerons cette démonstration à propos de la chaleur. La deuxième loi est connue, dans l'un et l'autre cas, sous le nom de *Loi du cosinus*.

Quant à la troisième loi, elle est une conséquence directe de la première. En effet, soient I et I′ les intensités de deux sources L et L′ qui produisent le *même éclairement* sur une surface orientée de la même façon par rapport à chacune d'elles, mais située à des distances différentes d et d'. D'après les définitions précédentes, la quantité de lumière envoyée par L sur l'unité de surface de l'écran est égale à $\frac{I}{d^2}$; pour L′, cette quantité est $\frac{I'}{d'^2}$. On a donc

$$\frac{I}{d^2}=\frac{I'}{d'^2}, \quad \text{d'où} \quad \frac{I}{I'}=\frac{d^2}{d'^2}.$$

Cette loi constitue à proprement parler la *méthode photométrique*. Elle est à la fois *vérifiée* et appliquée dans les *photomètres*. Ces appareils n'ont d'autre objet que de produire l'égalité d'éclairement d'une surface donnée par les deux sources à comparer, et de permettre, avec plus ou moins de facilité et de précision, la constatation de cette égalité d'éclairement. Ils ne diffèrent entre eux que par le dispositif plus ou moins pratique, plus ou moins ingénieux, à l'aide duquel ces résultats sont obtenus.

Remarque. — C'est la divergence des rayons lumineux émis par la source qui fait varier l'intensité de l'éclairement en raison inverse du carré de la distance. *Pour des rayons lumineux parallèles, l'intensité reste constante* (dans le vide du moins, car dans l'air et dans les autres milieux transparents l'intensité de la lumière parallèle décroît elle-même par suite de l'absorption du milieu).

406. **Photomètre de Rumford.** — Il se compose d'un écran de verre dépoli devant lequel est fixée une tige opaque m (fig. 447). A une certaine distance sont placées les lumières qu'on veut comparer, par exemple une lampe et une bougie, de manière que chacune d'elles projette une ombre de la tige sur l'écran. Les deux ombres portées sont d'abord d'inégale intensité; mais, en reculant ou en rapprochant peu à peu la lampe, on trouve une position où l'intensité des deux ombres a et b est la même. Ces ombres con-

stituent alors deux surfaces *également éclairées* par les deux sources; l'égalité d'éclairement est plus facile à apprécier sur ces deux surfaces peu éclairées que sur tout le reste de l'écran.

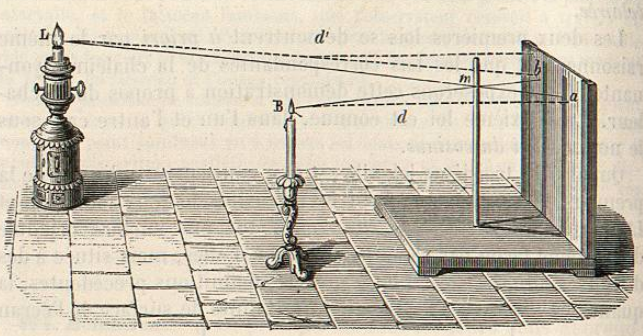

Fig. 447.

Alors *les intensités des deux lumières sont directement proportionnelles aux carrés des distances de chacune d'elles à l'ombre portée par l'autre*. On a, en appelant d et d' les distances respectives de B à l'*ombre portée* de L et de L à l'*ombre portée* de B,

$$\frac{B}{L} = \frac{d^2}{d'^2}.$$

Remarques. — Ce procédé photométrique est le plus usuel, parce qu'il est le plus simple, au moins en apparence. Dans la pratique, le moment précis où les ombres atteignent le même degré d'épaisseur est très difficile à saisir, — surtout quand les sources de lumière n'ont pas la même coloration, ce qui est le cas général.

407. **Vérification de la première loi de l'intensité.** — On peut vérifier avec le photomètre de Rumford le principe de la méthode photométrique (fig. 448). On place une bougie à une certaine distance de l'écran et l'on dispose quatre bougies, identiques à la première, en ligne droite avec la tige m, puis on les écarte jusqu'à ce que les deux ombres, a et b, portées sur l'écran paraissent avoir la même teinte. Or, si l'on mesure alors la distance moyenne Ab des quatre bougies à l'ombre portée de B, on trouve qu'elle est double de Ba, distance de B à l'ombre portée de A. Cela vérifie la loi, puisque quatre bougies, à une distance de 2 mètres par exemple, éclairent comme une seule à une distance de 1 mètre. On vérifie de même que neuf bougies, à une distance de 3 mètres,

éclairent encore comme une seule à la distance de 1 mètre.

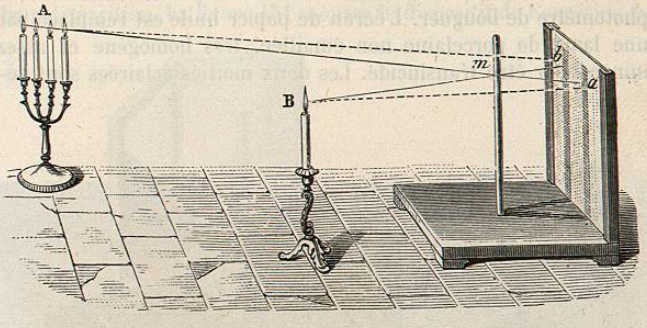

Fig. 448.

408. **Photomètre de Bouguer.** — L'égalité d'éclairement est produite sur les deux moitiés d'un même écran translucide, en papier huilé ou en verre dépoli, éclairées séparément par chacune des sources. L'observateur placé derrière l'écran juge aisément du moment où l'éclairement est le même sur les deux surfaces juxtaposées, et séparées par une ligne noire d'ombre portée par la

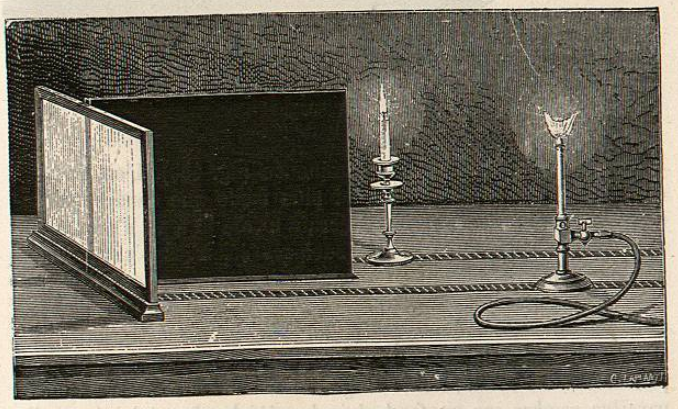

Fig. 449.

cloison (fig. 449). Le calcul de l'expérience est le même que précédemment. Les distances des deux sources sont l'une et l'autre nor-

males à l'écran, et se lisent directement sur deux règles graduées.

409. **Photomètre de Foucault.** — C'est un perfectionnement du photomètre de Bouguer. L'écran de papier huilé est remplacé par une lame de porcelaine non émaillée, très homogène et assez mince pour être translucide. Les deux moitiés éclairées sont sé-

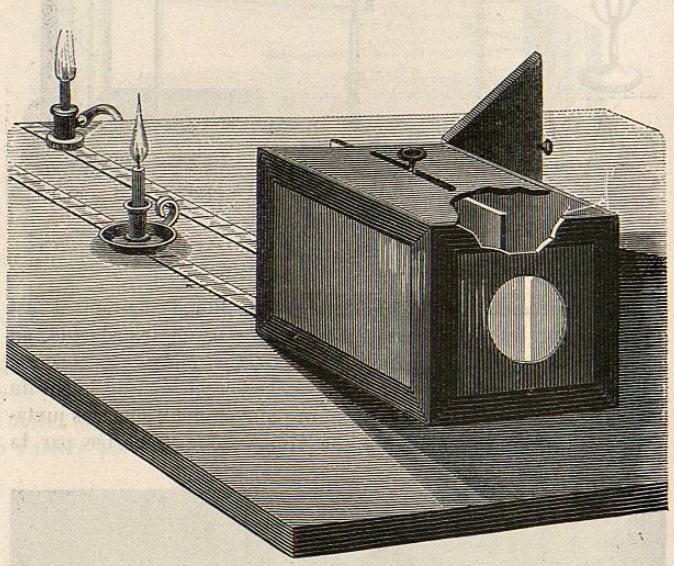

Fig. 450.

parées par une étroite bande lumineuse (fig. 450). L'observation de l'égalité d'éclairement est ici plus facile que dans le photomètre de Bouguer, parce que l'écran forme le fond d'une petite chambre obscure, et que les surfaces éclairées s'y détachent plus nettement.

410. **Photomètre de Bunsen.** — L'égalité d'éclairement est produite sur une *tache d'huile* placée au centre d'un écran en papier blanc. Si les deux lumières disposées de part et d'autre de l'écran produisent des éclairements inégaux sur les deux faces, la tache paraîtra *sombre sur un fond clair* du côté le plus éclairé, et elle paraîtra au contraire *claire sur un fond sombre* du côté le moins éclairé. Quand les éclairements seront rendus égaux, la tache disparaîtra entièrement et la feuille blanche paraîtra uniformément éclairée. En disposant deux miroirs plans, également inclinés, de

chaque côté du cadre, on verra côte à côte les images des deux faces de la tache, et l'on pourra saisir aisément le moment de leur disparition. La figure 451 montre le dispositif de l'expérience.

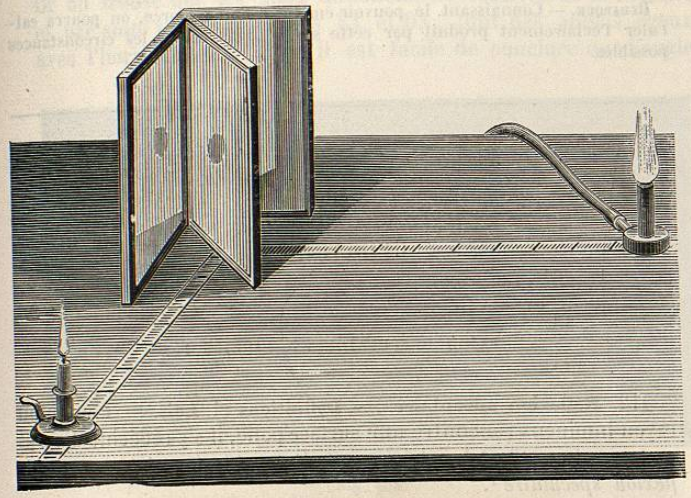

Fig. 451.

411. **Mesure des pouvoirs émissifs.** — La détermination du rapport des intensités de deux sources, obtenue à l'aide des instruments précédemment décrits, suffit dans la plupart des cas. Si l'on veut, par exemple, comparer les dépenses de l'éclairage à l'huile et de l'éclairage au gaz, on déterminera le rapport $\frac{I}{I'}$ pour une lampe Carcel et pour un bec de gaz dont le débit soit connu. En comparant ensuite les quantités et les prix des matières brûlées dans le même temps par les deux luminaires, on en conclura le rapport des dépenses pour une même quantité de lumière.

Dans certaines recherches théoriques, on peut avoir à comparer non pas les *pouvoirs éclairants totaux* de deux sources, mais leurs *pouvoirs émissifs* c'est-à-dire les quantités de lumière envoyées normalement, à l'unité de distance, sur l'unité de surface, *par l'unité de surface* de chacune des sources. Si l'on appelle e et e' les pouvoirs émissifs, et s et s' les surfaces éclairantes, on a évidemment

$$I = es \quad \text{et} \quad I' = e's'.$$

Par conséquent, l'un quelconque des procédés photométriques précédents ne donne pas le rapport $\frac{e}{e'}$, mais le rapport $\frac{es}{e's'}$. On voit d'ailleurs que, pour obtenir le rapport $\frac{e}{e'}$, il suffira de répéter la mesure en limitant les deux sources par