

en arrière, jusqu'à sa position primitive; enfin, on rapproche le support, de manière que toutes les pièces se retrouvent dans leur position initiale. Le cylindre étant alors remis en mouvement avec la même vitesse que précédemment, le style, commandé maintenant par les dépressions ou les saillies de la feuille d'étain, communique successivement à la membrane toutes les impulsions qu'il en avait reçues, avec toutes les particularités de rythme et d'intensité relative. — Le son produit peut être entendu dans toute une salle, surtout si l'on a soin de munir la membrane d'un cornet, rassemblant les sons comme une sorte de porte-voix (*).

L'instrument que nous venons de décrire, et que représente la figure 296, a reçu de nombreux perfectionnements, soit de la part de M. Edison lui-même, soit de la part de divers constructeurs. — Le mouvement du cylindre peut être commandé par un moteur électrique qui en assure la régularité. — Au cylindre métallique couvert d'une feuille d'étain, on peut substituer de petits cylindres de carton, couverts d'une couche de cire ou d'une autre substance analogue, suffisamment résistante pour conserver les empreintes. — Ces cylindres, de dimensions uniformes peuvent ensuite être expédiés d'un lieu à un autre; en les replaçant alors sur un autre appareil semblable, on arrive ainsi à faire entendre, en un lieu quelconque, les phrases ou les airs de musique qui leur ont été confiés.

(*) L'intensité absolue des sons rendus par l'appareil est beaucoup moindre que celle des sons qui ont servi à l'impressionner. C'est ce qu'on s'explique sans peine, si l'on tient compte de la faiblesse des amplitudes des vibrations de la membrane.

Quant à la conservation du rapport des hauteurs des sons, elle exige expressément que la vitesse de rotation du cylindre reste absolument constante. C'est pour assurer, autant que possible, ce résultat, qu'on place sur l'axe un lourd volant V. — Pour la reproduction de phrases *parlées*, les inégalités de vitesse ont seulement pour conséquence de faire monter ou baisser légèrement la voix. Pour la reproduction des sons musicaux, on conçoit que l'inconvénient est beaucoup plus grave, les variations de hauteur des sons successifs arrivant à produire des dissonances extrêmement désagréables.

LIVRE QUATRIÈME

OPTIQUE

CHAPITRE PREMIER

PROPAGATION DE LA LUMIÈRE. — PHOTOMÉTRIE.

I. — PROPAGATION DE LA LUMIÈRE.

459. Sources de lumière. — Corps lumineux. — Certains corps ont, par eux-mêmes, un éclat qui nous les rend visibles sans l'intervention d'aucune lumière étrangère. Tels sont le soleil, les étoiles, les flammes de nos lampes, le charbon incandescent, etc. — Ce sont des *sources lumineuses*.

Au contraire, la plupart des corps qui nous entourent ne deviennent visibles qu'à la condition d'être *éclairés*, c'est-à-dire de recevoir d'une source la lumière qu'ils renvoient à notre œil.

Pour ce qui concerne les phénomènes que nous avons à étudier, il n'existe aucune différence entre la lumière émise directement par les sources lumineuses, et celle qui est renvoyée par les corps éclairés. Nous désignerons donc sous le nom de *corps lumineux* tous les corps qui sont visibles à notre œil, soit par eux-mêmes, soit sous l'influence d'une lumière étrangère.

460. Corps transparents et corps opaques. — On appelle *corps transparents*, ceux que la lumière peut traverser. — L'air, le verre sont des corps transparents : ils laissent arriver jusqu'à nous la lumière du soleil ou celle des corps lumineux en général.

On appelle *corps opaques*, ceux que la lumière ne peut pas traverser : tels sont le bois, la pierre, les métaux sous une épaisseur suffisante, etc.

461. Hypothèse de l'émission et hypothèse des ondulations. — Pour expliquer l'action que les corps lumineux exercent sur notre œil, deux hypothèses différentes ont été faites.

L'*hypothèse de l'émission*, due à Newton, suppose que les corps lumineux envoient, dans toutes les directions, des particules d'une substance ténue, impondérable, capable de traverser les corps transpa-

rents. Dans cette hypothèse, ce seraient les chocs de ces particules sur la rétine qui produiraient la sensation de la lumière.

L'hypothèse des ondulations, qui est due à Descartes, et qui a été précisée et développée par Huyghens, par Thomas Young, et surtout par Fresnel, assimile la propagation de la lumière à celle du son. Dans cette hypothèse, un corps lumineux, de même qu'un corps sonore, est le siège d'un mouvement vibratoire rapide, qui se transmet jusqu'à notre œil par l'intermédiaire d'un milieu élastique. Ce milieu ne peut être l'air atmosphérique, car nous apercevons les astres à travers les espaces vides de l'univers; on admet que c'est un fluide impondérable, répandu aussi bien dans le vide que dans l'air et dans les corps pondérables : ce fluide a reçu le nom d'*ether*.

En partant de l'hypothèse des ondulations, les physiciens modernes ont pu, non seulement expliquer les résultats fournis par l'expérience, mais encore en indiquer *a priori* un grand nombre d'autres, que l'observation a ensuite confirmés. — Certains résultats d'expérience sont, au contraire, en opposition avec la théorie de Newton. — Aussi est-ce l'hypothèse des ondulations qui est aujourd'hui exclusivement adoptée.

La partie de l'Optique que nous devons étudier peut d'ailleurs être exposée indépendamment de toute hypothèse sur la nature de la lumière. Nous ne nous étendrons donc pas davantage sur ce sujet, qui se rattache aux parties les plus délicates de la Physique.

462. Propagation rectiligne de la lumière. — Rayons lumineux.

— Dans un milieu transparent et homogène, la lumière se transmet d'un point à un autre en suivant la *ligne droite* qui joint ces deux points. — Si, par exemple, on regarde un point lumineux avec un seul œil, et si l'on interpose un corps opaque sur la ligne droite menée de ce point à l'œil, on cesse de l'apercevoir. Cette droite représente donc la route suivie par la lumière, pour arriver à l'œil.

D'autre part, un point lumineux est visible pour tous les observateurs placés autour de lui. — On doit en conclure qu'il envoie des *rayons lumineux dans toutes les directions* (*).

463. Ombre. — Un corps opaque arrête tous les rayons lumineux qui le rencontrent : il y a donc, derrière un corps opaque, un espace où ne pénètre pas la lumière, et qu'on appelle *ombre portée*. — Les limites de l'ombre portée peuvent être déterminées géométriquement, d'après le principe de la propagation rectiligne de la lumière.

Considérons d'abord le cas purement idéal où le corps lumineux est réduit à un seul point S (fig. 298); soit C le corps opaque, auquel

(*) On peut remarquer encore que, si les rayons du soleil pénètrent dans une pièce obscure, par une ouverture pratiquée dans un volet, ils produisent une bande rectiligne. Cette bande est ici rendue visible par les poussières qui flottent dans l'air et que les rayons lumineux éclairent dans leur trajet.

nous donnerons une forme quelconque. — Menons, par le point lumineux S, une droite SA tangente au corps opaque, et supposons que cette droite se meuve de manière à occuper toutes les positions possibles, en passant toujours par S et restant tangente au corps C : elle décrira une surface conique ASB, ayant pour sommet le point S et comprenant le corps C dans son intérieur. Si l'on prend un point quelconque *m* à l'intérieur de cette surface et au delà de C, le rayon émis par S dans la direction Sm sera intercepté par le corps opaque. Au contraire, un point *m'*, situé en dehors de cette surface, recevra un rayon lumineux Sm'. — La surface du cône forme donc la limite entre les points qui sont dans l'ombre portée et ceux qui reçoivent la lumière de la source S.

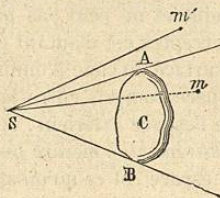


Fig. 298.

464. Pénombre. — Considérons maintenant le cas où la source lumineuse a des dimensions sensibles : c'est le cas de la plupart des sources avec lesquelles nous pouvons opérer. — Pour simplifier l'explication, nous prendrons le cas particulier où la source lumineuse et le corps opaque ont, l'un et l'autre, la forme *sphérique*.

Soient S (fig. 299) la sphère lumineuse, o la sphère opaque. Construisons le cône ARB tangent *extérieurement* aux deux sphères : un point quelconque *m*, situé dans ce cône et derrière la sphère opaque, ne peut recevoir aucun rayon lumineux, car toute droite joignant ce point à un point quelconque de la sphère S rencontrerait la sphère o. Donc, tous les points qui sont situés dans ce cône, au delà de la sphère opaque, sont *complètement dans l'ombre*. —

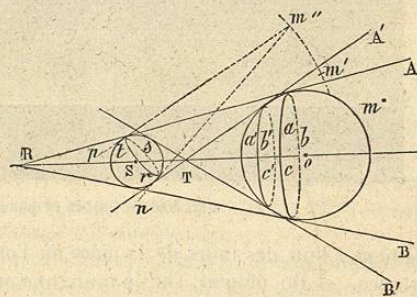


Fig. 299.

Construisons maintenant le cône A'TB' tangent *intérieurement* aux deux sphères, et considérons deux points *m'*, *m''*, également distants de S, mais situés, l'un dans l'intervalle des deux cônes, l'autre en dehors du cône A'TB'. Si, du point *m''* comme sommet, on décrit un cône pm''n qui touche la sphère S suivant une circonférence rst, on voit que le point *m''* reçoit de la lumière de tous les points de la surface de la sphère lumineuse qui sont en avant de cette circonférence. Si, du point *m'* comme sommet, on décrit un cône tangent à la sphère lumineuse, la portion de la sphère lumineuse située en avant de la circonférence de

contact serait encore égale à la précédente; mais une portion des rayons lumineux compris dans ce cône est interceptée par le corps opaque et ne peut pas parvenir au point m' . La quantité de lumière interceptée est d'autant plus grande que le point m' est plus voisin de la surface du cône d'ombre ARB . — Donc, au delà de la sphère opaque, l'espace compris entre les deux cônes ARB et $A'B'$ est moins éclairé que l'espace extérieur, et la lumière qu'il reçoit va en diminuant progressivement, à mesure qu'on s'approche de la région de l'ombre absolue. Cet espace est ce qu'on appelle la *pénombre* (*).

Il est facile, par exemple, de constater la production de l'ombre et de la pénombre, en prenant comme corps lumineux la flamme d'une bougie (fig. 500), et comme corps opaque un écran PQ , placé paral-

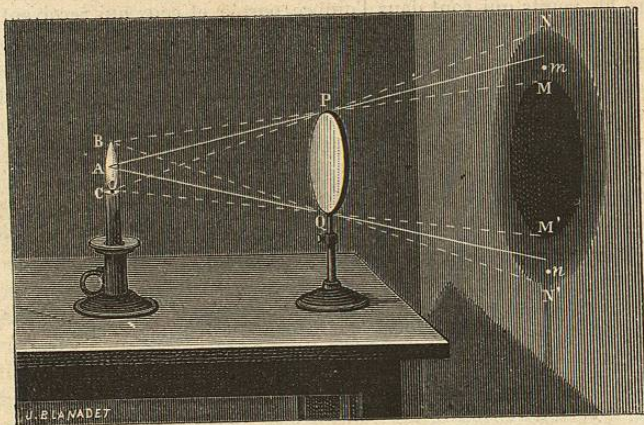


Fig. 500. — Ombre et pénombre.

lèlement à l'un des murs de la pièce où l'on opère, et à une certaine distance. — On obtient, sur le mur, une *ombre absolue* MM' de même forme que l'écran; puis, autour de cette ombre, une *pénombre*, où l'intensité lumineuse va en augmentant d'une manière progressive, usqu'à la région NN' en dehors de laquelle le mur est éclairé par la flamme tout entière.

Il est de même pour les ombres des objets éclairés par le soleil : leurs contours présentent toujours une *pénombre*.

465. Formation des images dans la chambre obscure. — Lorsqu'on est placé dans une pièce fermée par des volets, et que l'un des volets MN

(*) Nous laisserons au lecteur le soin de discuter le problème des ombres, dans le cas où la sphère opaque serait plus petite que la sphère lumineuse, et dans le cas où elle lui serait égale.

présente une petite ouverture mn (fig. 501), on aperçoit sur un écran PQ placé à l'intérieur, à une certaine distance de l'ouverture, une image plus ou moins nette des objets placés à l'extérieur. — Ce phénomène s'explique encore par la propagation rectiligne de la lumière.

Considérons l'un des points A de l'objet lumineux AB : ce point éclaire les points de l'écran situés dans un cône dont le sommet est A , et dont les arêtes s'appuient sur le contour de l'ouverture. La petite surface éclairée a donc une forme semblable à celle de l'ouverture. Il en est de

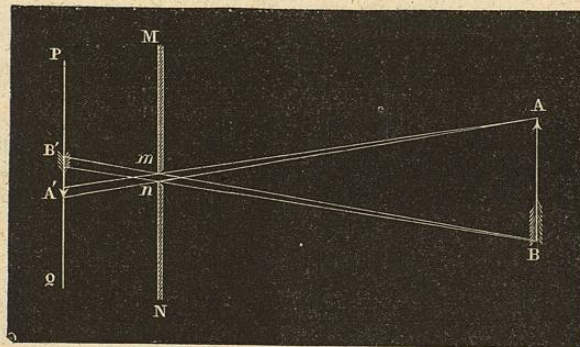


Fig. 501. — Formation des images dans la chambre obscure.

même pour chacun des points de l'objet lumineux AB . — Or, si l'ouverture est suffisamment petite, et si l'objet lumineux est suffisamment éloigné pour que les cônes dont il s'agit soient très aigus, chacune des petites surfaces éclairées pourra être assimilée à un point, et leur ensemble donnera une sorte d'image $A'B'$ de l'objet, dans une position *renversée* (*). — Si l'on éloigne progressivement l'écran PQ de l'ouverture, les dimensions de l'image $A'B'$ augmentent.

C'est par un phénomène tout à fait semblable que, dans l'ombre d'un arbre, les petites ouvertures, de formes très diverses, que laissent entre elles les feuilles, produisent sur le sol des images dont la forme elliptique est due à ce que les rayons solaires ont généralement une direction oblique par rapport au sol. On obtiendrait des images circulaires, sur une feuille de papier que l'on placerait perpendiculairement aux rayons solaires. — Enfin, pendant les éclipses partielles, quand le soleil éclipsé prend la forme d'un croissant lumineux, les images acquièrent elles-mêmes la forme de petits croissants.

(*) On verra plus loin que ce n'est pas là une véritable *image*, dans le sens qui sera défini à propos des miroirs ou des lentilles. — Si l'ouverture avait un diamètre un peu considérable, chaque point de l'objet éclairerait, sur l'écran, une surface de dimensions sensibles; toutes ces surfaces empiétant alors beaucoup les unes sur les autres, on n'aurait plus qu'un éclaircissement à peu près uniforme.

II. — PHOTOMÉTRIE.

466. **Éclaircements produits par une même source à diverses distances.** — Soit S (fig. 502) une source lumineuse, de dimensions assez

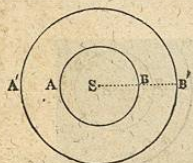


Fig. 502.

petites pour qu'on puisse la supposer réduite à un point. Décrivons, de ce point comme centre, avec un rayon SB égal à r , une surface sphérique AB. Cette surface reçoit toute la lumière émise par la source; chaque élément de la surface AB, d'étendue s , reçoit normalement une quantité de lumière qui peut être considérée comme servant de mesure à l'éclairement que produit la source à la distance r . — Supprimons

maintenant cette surface, et décrivons autour du point S une autre surface sphérique, avec un rayon SB' égal à $2r$: elle recevra encore toute la lumière émise par la source; mais, comme la surface de cette sphère est égale à 4 fois celle de la première, chaque élément, d'étendue s , recevra 4 fois moins de lumière. — En général, les quantités de lumière reçues normalement par une surface d'étendue s , placée successivement à différentes distances de la source, sont en raison inverse des carrés des distances; ce qui revient à dire que l'éclairement produit par une source lumineuse varie en raison inverse du carré de la distance de la source à la surface éclairée.

467. **Intensités propres des sources lumineuses.** — Nous considérerons l'intensité propre d'une source lumineuse comme définie par l'éclairement qu'elle produit à l'unité de distance.

On dit alors que les intensités propres de deux sources sont égales, lorsqu'elles produisent le même éclairement à l'unité de distance. — L'intensité propre d'une source lumineuse B est dite double, triple de celle d'une source A, quand la source B produit, à l'unité de distance, le même éclairement que deux, trois sources égales à A, agissant simultanément et dans des conditions identiques.

468. **Comparaison des intensités propres des sources lumineuses, ou photométrie.** — Les méthodes expérimentales que nous allons décrire, pour comparer les intensités propres de diverses sources lumineuses, reposent sur le théorème suivant:

Si deux sources lumineuses, placées à des distances D et D' d'une surface, produisent un même éclairement, les intensités propres I et I' de ces deux sources sont proportionnelles aux carrés de leurs distances à cette surface. En effet, l'intensité propre I de la première source étant définie par l'éclairement qu'elle produit à l'unité de distance, il résulte de ce que nous avons vu (466), que l'éclairement à la distance D sera

$\frac{I}{D^2}$. De même, si l'on représente par I' l'intensité propre de la seconde source, l'éclairement à la distance D', sera $\frac{I'}{D'^2}$. Dès lors, si l'on arrive à régler les distances D et D' de façon que ces deux éclaircements soient égaux, on pourra poser :

$$\frac{I}{D^2} = \frac{I'}{D'^2}, \quad \text{d'où l'on tirera : } \frac{I}{I'} = \frac{D^2}{D'^2}.$$

469. **Photomètre de Foucault.** — Le photomètre de Foucault n'est qu'un perfectionnement d'une disposition imaginée par Bouguer.

Les deux sources lumineuses A, B (fig. 505) sont disposées d'un même

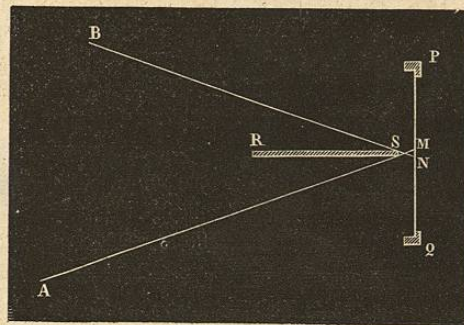


Fig. 505. — Photomètre de Foucault.

côté d'une lame de porcelaine translucide PQ, mais de part et d'autre d'un écran opaque RS, perpendiculaire à PQ, et de manière que les deux portions éclairées PN, QM, empiètent un peu l'une sur l'autre. Laisant alors immobile l'une des deux sources, on approche ou l'on éloigne l'autre, jusqu'à ce que les éclaircements des deux moitiés de la plaque PQ paraissent égaux : on obtient le rapport des intensités propres des deux sources, en prenant le rapport des carrés de leurs distances à la plaque (468).

470. **Photomètre de Rumford.** — Dans le photomètre de Rumford, les deux sources L et B (fig. 504) sont placées devant un même écran blanc : entre elles et l'écran, on dispose une tige de bois verticale A. On obtient ainsi deux ombres : la première f , portée par la source B, ne reçoit de lumière que de la source L; la seconde f' , portée par la source L, ne reçoit de lumière que de B. Si donc on fait varier la distance de l'une des deux sources à l'écran, jusqu'à ce que les deux ombres paraissent identiques, et si l'on mesure alors les distances de chaque source à l'ombre qu'elle éclaire, les intensités de ces sources seront entre elles comme les carrés de ces distances.

471. Unité d'intensité lumineuse. — Les unités employées pour évaluer les intensités des appareils d'éclairage ont d'abord été assez différentes, et parfois même insuffisamment définies. En France, on prenait le *carcel*, unité définie par l'intensité d'une lampe Carcel, brûlant à l'heure 42 grammes d'huile de colza épurée. Ailleurs, on prenait comme unité l'intensité d'une bougie, de diamètre déterminé, et faite d'une substance variable d'un pays à un autre.

En 1884, les savants, réunis en Conférence internationale, ont

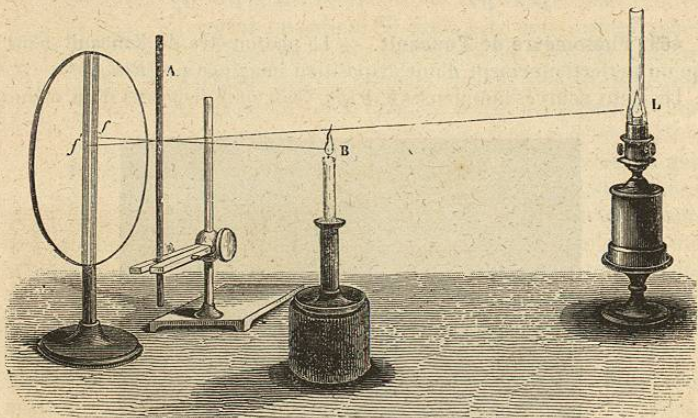


Fig. 504. — Photomètre de Rumford.

adopté, comme *unité absolue*, l'intensité, dans une direction normale, d'un centimètre carré de la surface d'un bain de platine incandescent, à la température de solidification du métal.

Cette unité étant un peu trop grande pour les applications industrielles, le Congrès des Électriciens, réuni à Paris en 1889, a fixé une *unité pratique*, qui a reçu le nom de *bougie décimale*, et qui vaut $\frac{1}{10}$ de l'unité absolue. — Ce choix a été déterminé par cette considération que le carcel, valant environ la moitié de l'unité absolue (environ 0,48), représente environ 10 bougies décimales.

(Voir à la fin du chapitre V la détermination de la vitesse de la lumière, qui exige la connaissance des principes des instruments d'optique).

CHAPITRE II

RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE

I. — RÉFLEXION PAR LES SURFACES PLANES.

472. Lois de la réflexion. — Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur a surface d'un corps solide opaque, parfaitement poli, ou sur la surface d'un liquide opaque comme le mercure, il n'y a de lumière renvoyée que dans une direction unique. C'est le phénomène de la *réflexion régulière*.

On appelle *plan d'incidence*, le plan déterminé par le rayon incident SI (fig. 505) et la normale IN menée à la surface réfléchissante PQ par le point d'incidence; *angle d'incidence*, l'angle SIN formé par le rayon incident et la normale; *angle de réflexion*, l'angle RIN formé par le rayon réfléchi et la normale. — Les lois de la réflexion sont les suivantes :

- 1° Le rayon réfléchi reste dans le plan d'incidence.
- 2° L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

473. Vérification expérimentale. — Appareil de Silbermann. — On obtient une vérification de ces lois, au moyen de l'appareil de Silbermann (fig. 506). Un limbe divisé MN présente deux alidades R, S , mobiles autour de son centre : chacune d'elles porte un diaphragme i, i' , percé en son milieu d'une petite ouverture; un miroir plan métallique A est fixé au centre du limbe, perpendiculairement au diamètre vertical BB' du cercle. On dirige un faisceau de rayons solaires ab , au moyen du miroir auxiliaire m , de manière que la lumière passe par l'ouverture du diaphragme i et vienne rencontrer le miroir A au centre c du limbe. On constate alors que, pour recevoir la lumière réfléchie dans l'ouverture du diaphragme i' , il faut placer l'alidade R dans une position *symétrique* de S par rapport à BB' .

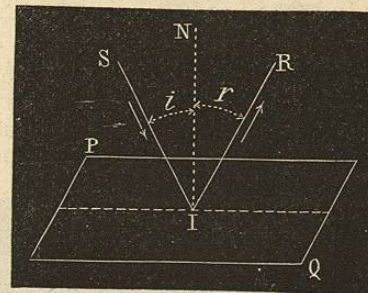


Fig. 505.