

que viennent s'épanouir, en subdivisions d'une finesse extrême, les nerfs auditifs qui pénètrent dans le rocher (17).

725. **Fonctions des diverses parties de l'oreille.** — La membrane du tympan, recevant les ondes sonores qui se sont propagées dans le conduit auditif externe, entre en vibration et transmet son mouvement, soit à l'air qui remplit l'oreille moyenne, soit à la chaîne des osselets qui unit le tympan à la membrane de la fenêtre ovale. — Les expériences de Müller ont montré que les membranes de petites dimensions vibrent mieux quand elles sont faiblement tendues : la chaîne des osselets, en formant un ressort qui peut se tendre ou se fléchir plus ou moins, entre la membrane du tympan et la membrane de la fenêtre ovale, a pour effet de graduer la tension de ces membranes elles-mêmes. En exerçant sur elles une pression assez énergique, elle les empêche de vibrer trop fortement sous l'influence des sons intenses ; en exerçant une pression modérée, elle leur permet de vibrer sous l'influence des sons faibles. — Il faut remarquer enfin que l'air contenu dans l'oreille moyenne est en communication avec l'air extérieur par la trompe d'Eustache, en sorte que la membrane du tympan éprouve la même pression, de la part de l'air, sur ses deux faces. En outre, l'air qui arrive dans la caisse est toujours saturé de vapeur d'eau, et maintient le tympan dans un état d'humidité convenable. L'observation a montré que l'obstruction prolongée de la trompe d'Eustache entraîne une surdité plus ou moins complète.

La membrane de la fenêtre ovale, qui sépare l'oreille moyenne du vestibule, reçoit les vibrations qui lui sont transmises par la chaîne des osselets ; la membrane de la fenêtre ronde, qui est placée dans la paroi du limaçon, au voisinage du vestibule, est mise en vibration par l'air contenu dans la caisse du tympan : le mouvement vibratoire est ainsi communiqué au liquide qui remplit les cavités de l'oreille interne. C'est ainsi que le mouvement se transmet aux membranes molles qui flottent au sein de ce liquide, et que les ramifications des nerfs auditifs sont elles-mêmes ébranlées : elles transmettent à l'encéphale l'impression qui constitue la sensation du son.

Quant à la recherche du rôle de chacune des cavités de l'oreille interne, dans la perception des diverses *qualités* que notre oreille attribue aux sons, elle a été l'objet d'un grand nombre de travaux de la part des physiologistes et des physiciens. Nous ne pouvons donner ici le détail des résultats obtenus ; ils rentrent d'ailleurs plutôt dans le domaine de la Physiologie que dans celui de la Physique.

## LIVRE CINQUIÈME

### OPTIQUE

#### CHAPITRE PREMIER

##### PROPAGATION DE LA LUMIÈRE. — PHOToméTRIE.

###### I. — PROPAGATION DE LA LUMIÈRE.

724. **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 objets qui nous entourent, et que nous distinguons à la lumière du jour, cessent d'être visibles quand ils sont placés de façon qu'aucune lumière étrangère ne puisse leur arriver. — Ces corps ne sont donc pas lumineux *par eux-mêmes* : ils ne deviennent visibles qu'à la condition 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.

725. **Corps transparents et corps opaques.** — On appelle *corps transparents* les corps 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.

726. **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 transparents. Dans cette hypothèse, ce seraient les chocs de ces particules sur la membrane nerveuse qui tapisse le fond de l'œil 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'*éther*.

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 *à 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.

727. **Propagation de la lumière en ligne droite. 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.

Plaçons-nous, par exemple, à une certaine distance d'une bougie, et regardons la flamme avec un seul œil. Si nous interposons l'extrémité de notre doigt entre notre œil et la bougie, nous cessons de voir la flamme, dès que le doigt se trouve placé sur la ligne droite menée de la flamme à l'œil. Cette droite représente donc la route suivie par la lumière, pour arriver de la flamme à notre œil.

D'autre part, la bougie est visible pour tous les observateurs placés

autour d'elle. — On doit en conclure que chaque point de la flamme envoie des *rayons lumineux* dans toutes les directions : chacun de ces rayons se propage, en ligne droite, depuis son point de départ jusqu'à son point d'arrivée.

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.

728. **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 comme on va le voir, en s'appuyant sur 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. 559), et soit C le corps opaque, auquel 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.

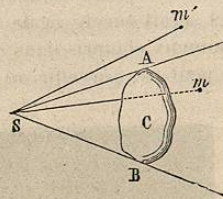


Fig. 559.

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.

729. **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 tout particulier où la source lumineuse et le corps opaque ont, l'un et l'autre, la forme *sphérique*.

Soient S (fig. 560) 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*. — 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,

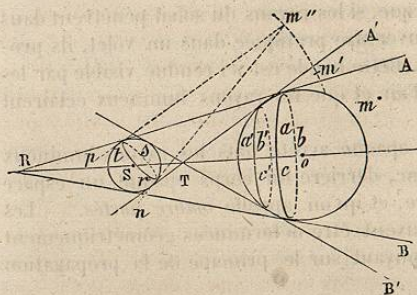


Fig. 560.

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

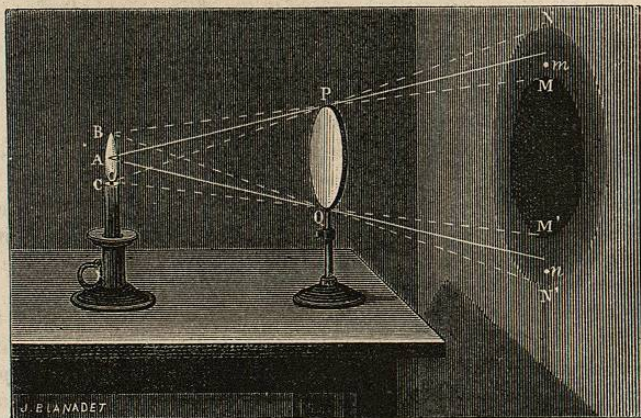


Fig. 561. — Ombre et pénombre.

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  $A'TB'$  est moins éclairé que l'espace extérieur, et la lumière qu'il reçoit *va en diminuant progressive-*

ment, 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. 561) et comme corps opaque un écran circulaire  $PQ$ , placé parallèlement 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, tout autour de cette ombre, une *pénombre*, où l'intensité lumineuse va en augmentant d'une manière progressive, depuis la région  $MM'$  en dedans de laquelle n'arrive aucune lumière, jusqu'à la région  $NN'$  en dehors de laquelle le mur est éclairé par la flamme tout entière.

Il en est de même toutes les fois que la source lumineuse a une étendue appréciable. — Si nous observons, par exemple, les ombres produites par des objets éclairés par le soleil, nous pouvons remarquer qu'elles ne sont jamais limitées par une ligne nettement tranchée: leurs contours présentent toujours une *pénombre*, qui s'explique de la même manière.

4730. **Formation des images dans la chambre obscure.** — Lorsqu'on est placé dans une pièce fermée par des volets, et que l'un des volets présente une petite ouverture, on aperçoit sur un écran placé

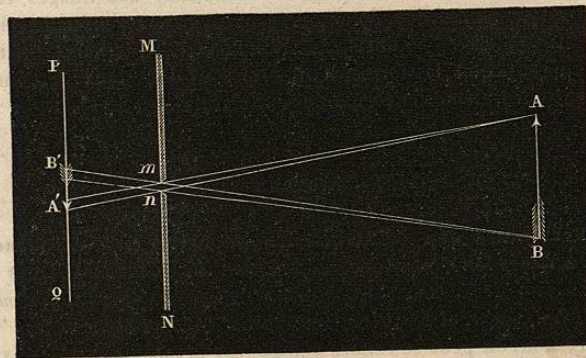


Fig. 562. — Formation des images dans la chambre obscure.

à l'intérieur, à une certaine distance de l'ouverture, une image plus ou moins nette des objets lumineux placés à l'extérieur. — Ce phénomène s'explique encore par la propagation rectiligne de la lumière.

(\*) 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.

Soit un objet lumineux AB (fig. 562), et soit MN le volet de la chambre obscure, dans lequel est pratiquée une petite ouverture *mn*; soit PQ un écran disposé dans la chambre, parallèlement à l'ouverture et à une certaine distance. — Considérons l'un des points A de l'objet lumineux : ce point éclaire, à l'intérieur, tous 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. Ce cône détermine donc, sur l'écran, une petite surface éclairée, ayant une forme semblable à celle de l'ouverture. Il en est de même pour chacun des points de l'objet lumineux AB. — Mais, 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, on voit les dimensions de l'image A'B' augmenter proportionnellement à la distance de l'ouverture à l'écran (\*\*).

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 rappelle celle du soleil. Les rayons solaires ayant généralement une direction oblique par rapport au sol, les images formées sur le sol ne sont pas circulaires, mais elliptiques. On obtient des images circulaires sur une feuille de papier que l'on place 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

## II. — PHOTOMÉTRIE.

**731. Intensités des éclairagements produits par une même source à diverses distances.** — Les quantités de lumière reçues normalement par une même surface, à différentes distances d'une même source lumineuse, sont en raison inverse des carrés des distances.

C'est ce dont on peut se rendre compte par le raisonnement suivant. — Soit S (fig. 563) la source lumineuse : décrivons, de ce point comme centre, avec un rayon SB égal à 1 mètre, une surface sphérique. Cette surface reçoit toute la lumière émise par la source; chaque centimètre

(\*) 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 éclairagement à peu près uniforme.

carré reçoit une quantité de lumière qui peut être considérée comme servant de mesure à l'éclairagement que produit la source à cette distance. — Supprimons maintenant cette surface, et décrivons autour du point S une autre surface sphérique, avec un rayon SB' égal à 2 mètres : 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 centimètre carré recevra 4 fois moins de lumière. — De même, sur une surface sphérique ayant un rayon de 3 mètres, chaque centimètre carré recevrait 9 fois moins de lumière, et ainsi de suite.

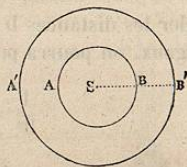


Fig. 563.

On voit que les quantités de lumière reçues, par une même surface de petite étendue, sont en raison inverse des carrés des distances à la source.

**732. Définition des intensités propres des sources lumineuses.** — Nous considérerons l'intensité propre d'une source lumineuse comme définie par l'éclairagement que produit cette source, sur une petite surface placée à une distance égale à l'unité.

On dit que les intensités propres de deux sources sont égales, lorsqu'elles éclairent également une même surface, placée 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, sur une surface donnée, à l'unité de distance, le même éclairagement que deux, trois sources égales à A, agissant simultanément et dans des conditions identiques.

Dans la pratique, on exprime assez ordinairement les intensités propres des sources lumineuses au moyen d'une unité qui a reçu le nom de *carcel*; c'est l'intensité propre d'une lampe carcel, brûlant à l'heure 42 grammes d'huile de colza épurée.

**733. Méthode générale de comparaison des intensités propres des sources lumineuses, ou photométric.** — 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 même surface, produisent un même éclairagement, 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'éclairagement qu'elle produit sur une surface donnée, placée à l'unité de distance, il résulte de ce que nous avons vu (731), que la quantité de lumière reçue par cette même surface, à la distance D, sera  $\frac{I}{D^2}$ . De même, si l'on représente par I' l'intensité propre de la

seconde source, la quantité de lumière reçue de cette source par la même surface, 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 éclairagements soient égaux, on pourra poser :

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

c'est-à-dire que les intensités propres des deux sources sont proportionnelles aux carrés des distances auxquelles il faudra placer un écran, pour qu'il soit également éclairé par ces deux sources.

754. **Photomètre de Foucault.** — Le photomètre de Foucault, qui n'est qu'un perfectionnement d'un appareil imaginé par *Bouguer*, présente la disposition suivante.

Les deux sources lumineuses  $A$ ,  $B$  (fig. 564) sont placées d'un même côté d'une lame de porcelaine translucide  $PQ$ , mais de part et d'autre

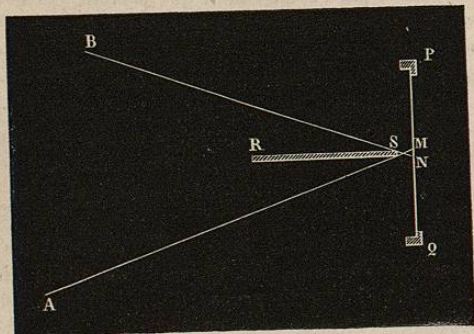


Fig. 564. — Photomètre de Foucault.

d'un écran opaque  $RS$ , perpendiculaire à  $PQ$ . On règle la position de cet écran de manière que la partie  $PN$ , qui est éclairée par la source  $B$ , empiète à peine sur la partie  $QM$  qui est éclairée par la source  $A$ . Laisant alors immobile l'une des deux sources, on approche ou l'on éloigne l'autre, jusqu'à ce que les éclairagements des deux moitiés de la plaque  $PQ$  paraissent rigoureusement égaux : on obtient le rapport des intensités propres des deux sources, en prenant le rapport des carrés de leurs distances à la plaque (755).

755. **Photomètre de Rumford.** — Dans le *photomètre de Rumford*, les deux sources  $L$  et  $B$  (fig. 565) 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

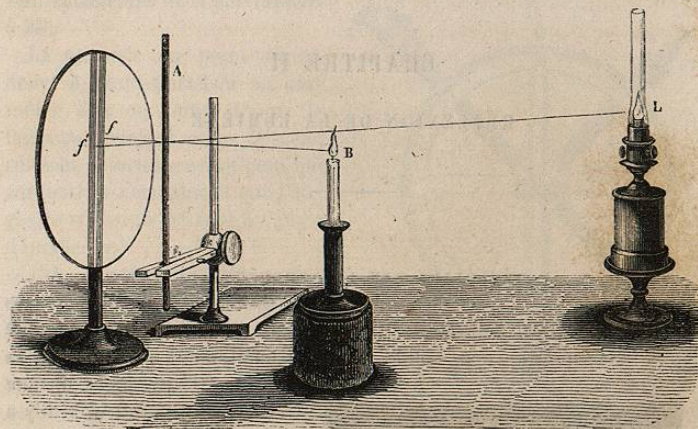


Fig. 565. — Photomètre de Rumford.

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 (\*).

(\*) Pour comparer facilement les deux ombres qui se produisent sur l'écran, il est bon de faire en sorte qu'elles viennent se former près l'une de l'autre, comme l'indique la figure, ou même qu'elles empiètent un peu l'une sur l'autre.

(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).