

805. **Lunette de Galilée. — Lorgnettes jumelles.** — La lunette de Galilée permet d'obtenir une image droite, sans l'interposition de verres supplémentaires, en employant simplement comme oculaire

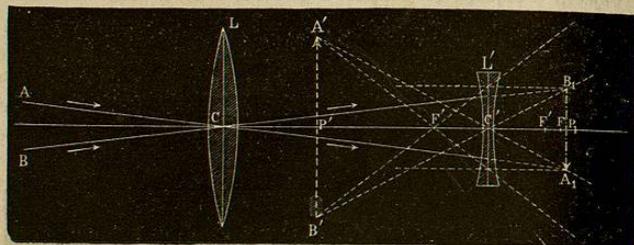


Fig. 680 — Lunette de Galilée

une lentille *divergente*. — Cette disposition a, en outre, comme nous allons le voir, l'avantage de donner à l'instrument une longueur bien moindre.

La figure 680 indique la marche des rayons lumineux. — Soit A_1B_1

le rôle principal de la lentille C_1 . — Cette lentille fonctionne comme un *collecteur*, ou comme un *verre de champ*. Si l'on considère, en effet, le cône des rayons lumineux qui concourent en l'un des points extrêmes B_1 de l'image réelle formée par l'objectif (fig. 679), on voit que, si la lentille C_1 était supprimée, l'image A_1B_1 devant toujours être située à une distance de C_2 peu différente du double de la distance focale principale, ce cône de rayons passerait au-dessus de la lentille C_2 , et le point B_1 ne serait pas visible dans la lunette. — Au contraire, la lentille C_1 réfracte ces rayons de manière qu'ils se comportent, à l'émergence, comme s'ils émanaient de B_2 , et ils viennent

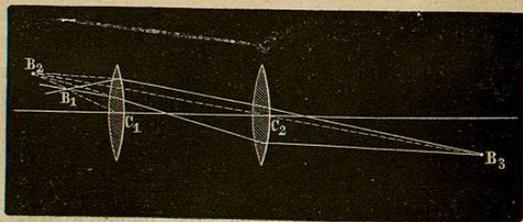


Fig. 679.

alors tomber vers le milieu de la lentille C_2 . — Donc, en opérant le redressement au moyen d'un véhicule formé de deux lentilles, au lieu d'une seule qui serait rigoureusement suffisante, on a d'abord l'avantage d'augmenter le grossissement de l'instrument, mais on a surtout l'avantage d'augmenter le *champ*, ce qui est un point capital pour l'observation des objets terrestres.

Au lieu d'une seule lentille oculaire C' (fig. 678), on emploie le plus ordinairement un système de deux lentilles fonctionnant comme un *oculaire négatif* (797 et 803). — Le système connu sous le nom d'*oculaire terrestre* comprend alors, en définitive, quatre lentilles, portées dans un même tube à tirage.

l'image réelle et renversée que donnerait l'objectif L , un peu au delà de son foyer principal F . Plaçons l'oculaire divergent L' entre cette image et l'objectif, de manière que sa distance CP_1 à l'image A_1B_1 soit un peu supérieure à sa distance focale principale CF' , et cherchons ce que deviennent alors les rayons qui seraient venus concourir au point A_1 . Parmi ces rayons, nous considérerons celui qui se propageait parallèlement à l'axe principal : en traversant l'oculaire divergent, ce rayon est réfracté de manière que son prolongement géométrique passe par le foyer principal virtuel situé en F' , à gauche de la lentille (756); il rencontre en A' l'axe secondaire $A_1C'A'$; c'est donc en A' que passent les prolongements de tous les rayons qui, sans l'interposition de l'oculaire, viendraient se croiser en A_1 . On détermine le point B' par une construction semblable. — De là résulte que l'œil, placé au delà de l'oculaire, voit en $A'B'$ une image virtuelle, agrandie et renversée par rapport à A_1B_1 , c'est-à-dire *droite* par rapport à l'objet lui-même.

La lorgnette de spectacle, ou *jumelle*, se compose de deux lunettes de Galilée, assujetties parallèlement. Les tubes qui portent les objectifs AB , $A'B'$ (fig. 681),

sont réunis par des traverses, à leurs deux extrémités. Les tubes à tirage qui portent les oculaires CD , $C'D'$ sont réunis également par une traverse DC' , de manière qu'on puisse faire mouvoir ensemble ces deux tubes à tirage, et les mettre simultanément

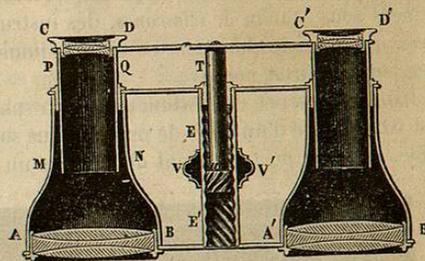


Fig. 681. — Lorgnette jumelle.

au point pour les deux yeux. Il suffit, pour cela, de faire tourner sur lui-même le tube EE' , au moyen de la mollette saillante VV' que l'on tient entre les doigts : le pas de vis pratiqué intérieurement sur la paroi de ce tube fait alors monter ou descendre la tige T , qui est fixée à la traverse DC' (*).

806. **Avantages relatifs des divers systèmes de lunettes.** — Pour l'observation des corps célestes, la lunette astronomique est préférable à la lunette terrestre, parce qu'elle est composée d'un moins grand nombre de verres : de là résulte une moindre perte de lumière, par les absorptions auxquelles donnent toujours lieu les lentilles, ou par les réflexions partielles qui se produisent à leur surface. — On a vu en outre que, dans la lunette astronomique, on peut fixer exactement la

(*) Dans les bonnes lorgnettes, chacun des objectifs est ordinairement composé de trois lentilles, formant des systèmes *achromatiques*.

ligne de visée au moyen d'un réticule (801) : ce résultat ne peut être obtenu avec la lunette de Galilée, dans laquelle il ne se forme pas d'image réelle.

Pour l'observation des objets terrestres, on tient généralement à obtenir des images droites : on emploie alors la lunette terrestre ou celle de Galilée. — La lunette de Galilée a l'avantage d'offrir, à égalité de grossissement, une longueur moindre, puisque sa longueur est sensiblement égale à la différence des distances focales principales de ses deux verres (fig. 680), tandis que la longueur de la lunette terrestre est supérieure à la somme de ces mêmes distances (804). Aussi, est-ce toujours d'après le système de la lunette de Galilée que l'on construit les instruments qu'on cherche à rendre très portatifs. — Lorsqu'on se propose de distinguer des objets dont la grande distance rend difficile l'observation des détails, c'est à la lunette terrestre ou *longue-vue* que l'on a recours, et on obtient alors un grossissement d'autant plus considérable que la distance focale F de l'objectif est plus grande, c'est-à-dire que l'instrument présente une plus grande longueur.

807. **Principe du télescope de Newton.** — On comprend généralement sous le nom de *télescopes*, des instruments où la lentille objective, qui, dans les lunettes, recevait la lumière des objets, est remplacée par un miroir concave.

Dans le télescope de Newton, un miroir sphérique concave MN (fig. 682) est fixé au fond d'un tube, de manière que son centre C soit sur l'axe du tube. — L'axe du tube étant dirigé vers un objet, le miroir tendrait à

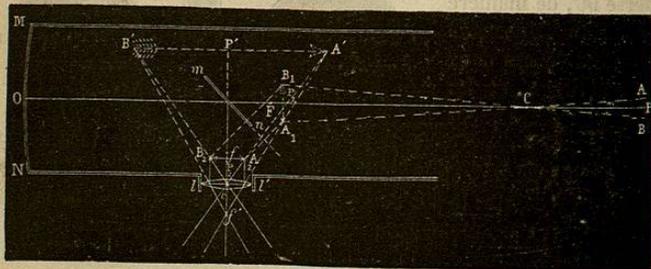


Fig. 682. — Télescope de Newton.

produire, un peu au-delà de son foyer principal F , une image A_1B_1 , réelle et renversée (*); mais les faisceaux lumineux réfléchis, avant d'atteindre leurs points de concours respectifs, sont reçus sur un petit

(*) Ici encore, pour ne pas rendre la figure invraisemblable, on n'a pas indiqué les constructions à l'aide desquelles on détermine la position de l'image A_1B_1 : on s'est contenté de tracer les axes secondaires des points A et B , sur lesquels se trouvent les points correspondants A_1 et B_1 de l'image.

miroir plan mn , incliné à 45 degrés sur l'axe du tube; ils sont réfléchis par ce miroir, en sorte que l'image se trouve rejetée dans une position A_2B_2 symétrique de A_1B_1 par rapport à mn . C'est cette image réelle A_2B_2 qu'on observe à travers l'oculaire ll' , fonctionnant comme loupe, et fixé dans un tube à tirage : en réglant le tirage, on amène l'image virtuelle $A'B'$ à apparaître nettement, pour la vue de l'observateur.

808. **Grossissement du télescope.** — Dans le télescope, le grossissement est défini, comme dans la lunette astronomique, par le rapport des angles $A'cB'$ et ACB , sous lesquels on voit une dimension $A'B'$ de l'image virtuelle et la dimension homologue AB de l'objet. — Ces deux angles étant très petits, on peut substituer à leur rapport celui de leurs tangentes, ou des tangentes de leurs moitiés, c'est-à-dire le rapport $\frac{\text{tg } A'cP'}{\text{tg } ACP}$; or, $A'cP'$ a pour tangente $\frac{A'P'}{P'c}$ ou $\frac{A_2P_2}{P_2c}$; ACP ou son égal A_1CP_1 a pour tangente $\frac{A_1P_1}{P_1C}$; et comme $A_2P_2 = A_1P_1$, on a :

$$G = \frac{P_1C}{P_2c}$$

Mais P_1C est sensiblement égal à FC ou à OF , c'est-à-dire à la distance focale principale F du miroir sphérique : P_2c diffère peu de la distance focale principale f de l'oculaire; le grossissement s'exprime donc, d'une manière approximative, par

$$G = \frac{F}{f}$$

c'est-à-dire par le rapport des distances focales principales du miroir et de l'oculaire, résultat analogue à celui que nous avons obtenu pour les différentes espèces de lunettes.

On peut déterminer le grossissement par une expérience directe, au moyen d'une chambre claire convenablement disposée, par exemple au moyen d'un petit miroir plan, incliné à 45 degrés sur l'axe de l'oculaire et percé en son centre d'une petite ouverture : on opérera comme il a été indiqué pour la lunette astronomique (800).

809. **Télescope de Foucault.** — Le télescope de Newton a été perfectionné, dans sa construction, par Foucault. — Les miroirs sphériques de bronze, qu'on employait depuis Newton, sont très pesants; ils sont difficiles à travailler; enfin, ils offrent surtout cet inconvénient que, si l'air humide vient à en oxyder la surface, il faut recommencer un travail de polissage très long et très dispendieux. A ces miroirs de bronze, Foucault a substitué des miroirs de verre, dont la surface concave est couverte d'une couche mince d'argent, déposée chimiquement. — Avant d'effectuer l'argenture, on donne à la surface du verre la forme convenable, par une série d'essais et de retouches

permettant d'apprécier les progrès que fait l'opération : cette surface, ainsi travaillée, présente déjà des qualités supérieures à celles des miroirs qu'on avait construits jusque-là. L'opération de l'argenteure chimique, en augmentant le pouvoir réflecteur, donne au miroir des qualités

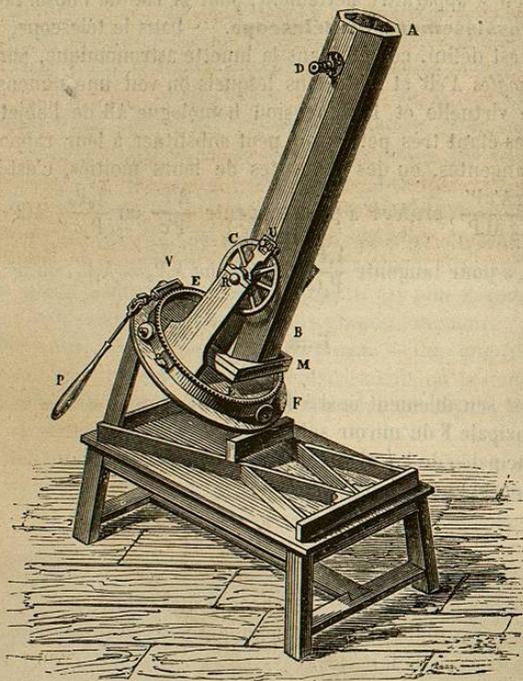


Fig. 685. — Télescope de Foucault.

plus remarquables encore. — Lorsque la couche d'argent vient à se ternir, on peut l'enlever au moyen d'un liquide qui la dissout, et déposer sur le verre une nouvelle couche d'argent, qui rend au miroir son éclat primitif.

Enfin, dans le télescope de Foucault (*fig. 685*), la lentille oculaire est remplacée par un véritable microscope composé *D*, donnant un grossissement beaucoup plus considérable qu'une loupe simple (*).

(*) Le plus grand télescope qu'ait achevé Foucault lui-même est un instrument dont le miroir a 80 centimètres de diamètre. Il est installé aujourd'hui à l'observatoire de Marseille.

L'observatoire de Paris en possède un autre, qui avait été seulement commencé par Foucault, et dont le miroir a un diamètre de 1^m,20. — Le tube de ce puissant instrument a plus de 7 mètres de longueur.

810. **Télescope de Grégoire.** — Le télescope imaginé par Grégoire en 1665, une vingtaine d'années avant le télescope de Newton, offre cet avantage qu'il fait voir les objets dans la direction même où ils

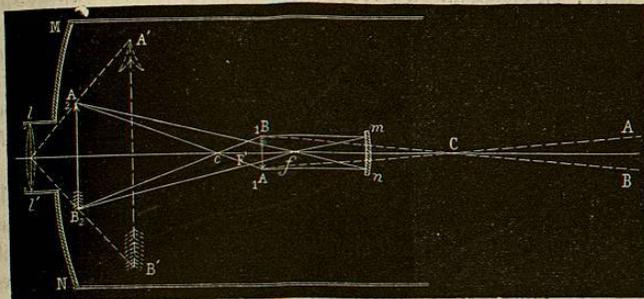


Fig. 684.

sont placés par rapport à l'observateur, et qu'il donne des images droites. — *MN (fig. 684)* est un miroir concave qui donne en A_1B_1 , un peu au delà de son foyer *F*, une image réelle et renversée de l'objet

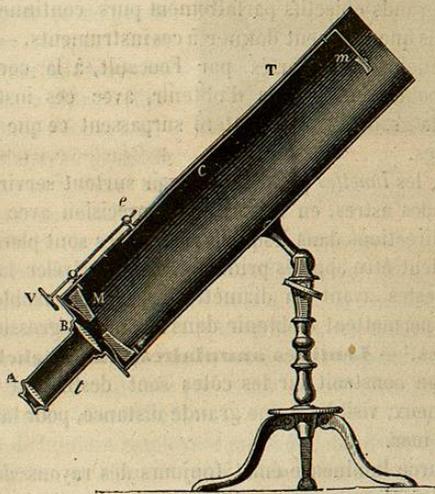


Fig. 683. — Télescope de Grégoire.

AB: cette image est redressée et amplifiée en A_2B_2 par un second miroir concave *mn*, beaucoup plus petit que *MN*, et tourné en sens contraire; enfin, on observe l'image A_2B_2 au moyen d'une lentille oculaire *ll'*, qui est adaptée à une ouverture centrale du miroir *MN*, et

qui donne une image virtuelle $A'B'$ à la distance de la vision distincte.

Pour régler la distance à laquelle on voit $A'B'$, au lieu de déplacer l'oculaire par rapport à l'image A_2B_2 , on déplace celle-ci par rapport à l'oculaire, en éloignant ou en rapprochant le miroir mn de l'image A_1B_1 . La figure 685 montre le mécanisme à l'aide duquel on produit ce mouvement; la vis extérieure V peut faire mouvoir dans un sens ou dans l'autre un petit écrou e , qui traverse une fente pratiquée dans la paroi du tube et se fixe à la tige c , laquelle porte le miroir antérieur m . L'oculaire est formé de deux lentilles A et B , fixées dans le tube t : c' est un oculaire positif (707).

811. **Avantages relatifs des lunettes et des télescopes.** — La découverte des lunettes est antérieure à celle des télescopes; mais, dans les premières lunettes employées, l'aberration de réfrangibilité des lentilles employées comme objectifs nuisait à la netteté des images. — Après la découverte des télescopes, ces instruments, perfectionnés d'abord par Grégory, puis modifiés par Newton, furent préférés pour l'observation des astres offrant des dimensions sensibles.

Depuis cette époque, la réalisation de l'achromatisme des lentilles a permis d'obtenir, avec les lunettes, des images d'une netteté dont les premiers observateurs n'avaient pas l'idée; cependant, la difficulté d'obtenir de grands objectifs parfaitement purs continue à restreindre les dimensions que l'on peut donner à ces instruments. — D'autre part, les perfectionnements apportés par Foucault, à la construction des grands télescopes, ont permis d'obtenir, avec ces instruments, des images dont la grandeur et la netteté surpassent ce que peuvent fournir les lunettes.

En résumé, les *lunettes* paraissent devoir surtout servir à l'étude des mouvements des astres, en raison de la précision avec laquelle elles donnent les directions dans lesquelles les astres sont placés. — Les *télescopes* semblent être appelés principalement à révéler la constitution des corps célestes ayant un diamètre apparent sensible, grâce à la netteté qu'ils permettent d'obtenir dans les images grossies.

812. **Phares.** — **Lentilles annulaires, ou à échelons.** — Les phares que l'on construit sur les côtes sont destinés à produire des signaux lumineux, visibles à une grande distance, pour la sûreté de la navigation en mer.

Or, une source lumineuse émet toujours des rayons *divergents*; dès lors, si l'on n'employait aucun artifice particulier, il résulte de ce que nous avons vu (697) que, quelle que fût l'intensité propre de la source, l'intensité de la lumière reçue à une distance un peu considérable deviendrait à peu près insensible. — En plaçant un point lumineux au foyer principal d'une lentille convergente, on peut obtenir, à la sortie de la lentille, un faisceau de rayons *parallèles*, la lumière suivant alors une marche inverse de celle qui est indiquée dans la

figure 634. L'éclaircissement produit par un pareil faisceau, sur une surface constante, comme l'œil de l'observateur, deviendra alors *indépendant à la distance*. — Mais, pour que ce parallélisme des rayons émergents soit réalisé, il faut toujours que les faces courbes de la lentille ne comprennent qu'une *petite portion* de la surface sphérique dont elles font partie. Si l'on employait une simple lentille, on ne pourrait donc lui donner qu'une surface peu étendue: par suite, le faisceau réfracté ne contiendrait qu'une petite quantité de lumière.

Fresnel a imaginé la disposition indiquée par la figure 686. — Une source lumineuse très intense est placée au foyer principal F d'une lentille convergente L : c'est une lentille plan-convexe, dont la face

ne comprend qu'une petite portion de la surface sphérique dont elle fait partie. Cette lentille est environnée d'une série de lentilles en forme d'anneaux $aa, bb, cc, dd...$, dont les surfaces convexes ont des courbures différentes, calculées de façon que le foyer principal de chacune d'elles soit *au même point* F . — Toute la lumière émise par le point F de la source, dans le cône hFh' , forme donc, à l'émergence, un faisceau parallèle à l'axe principal du système des lentilles. Les rayons émis par

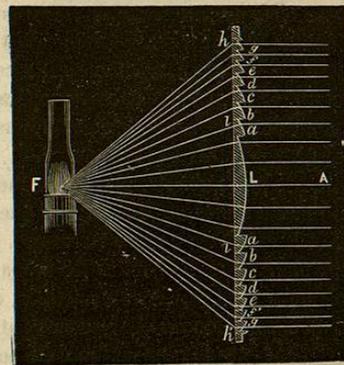


Fig. 686.
Lentilles à échelons, pour les phares.

les autres points de la source forment, à l'émergence, des faisceaux semblables, parallèles à des axes secondaires qui sont toujours très peu inclinés sur l'axe principal. Le faisceau total est donc très lumineux: il est assez peu divergent pour n'éprouver qu'une faible diminution d'intensité avec la distance; mais il est cependant assez divergent pour que sa section puisse présenter, vers les limites de l'horizon, des dimensions assez considérables.

Les sources de lumière employées ont été d'abord des lampes à huile, à plusieurs mèches, et à flamme très intense. On leur substitue aujourd'hui la lumière électrique, du moins pour les phares les plus importants. — Afin que les navigateurs puissent distinguer les divers phares les uns des autres, on détermine, dans chacun d'eux, des *éclipses* de lumière, d'une durée déterminée. Pour cela, on dispose, autour de la source lumineuse, plusieurs systèmes de lentilles à échelons: la lanterne qui les porte tourne, d'un mouvement uniforme, autour d'un axe vertical. Chaque système de lentilles ne projette alors la lumière, dans

une direction déterminée, que pendant un temps assez court : le navigateur, placé dans cette direction, cesse donc d'apercevoir le feu jusqu'au moment où le système suivant vient prendre la position du premier. — Parfois aussi, on place, devant un ou plusieurs de ces systèmes de lentilles, des verres colorés. — Les colorations et les intervalles d'alternance des feux sont réglementés pour chaque phare et connus des marins.

III. — DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE.

815. Déterminations anciennes de la vitesse de la lumière.

— La lumière se propage avec une vitesse considérable : nous avons déjà vu (658) que cette vitesse est incomparablement plus grande que celle du son. Aussi, est-ce en opérant sur des distances énormes, comme celles qui nous séparent des astres, que l'on a cherché d'abord à mesurer la vitesse de la lumière.

On sait, par exemple, que les planètes ne sont pas lumineuses par elles-mêmes : elles ne sont visibles que par la lumière qu'elles reçoivent du Soleil, et qu'elles nous renvoient. On sait, d'autre part, que certaines planètes, et en particulier la planète Jupiter, sont accompagnées de planètes plus petites, ou *satellites*, qui tournent autour d'elles, pendant qu'elles tournent elles-mêmes autour du Soleil. — Or, pendant le mouvement de Jupiter autour du Soleil, il arrive que, à certaines époques, tel ou tel de ses satellites entre dans le cône d'ombre que Jupiter produit derrière lui, et alors ce satellite *s'éclipse*, c'est-à-dire qu'il cesse d'être lumineux, pour redevenir lumineux à l'instant où il sortira du cône d'ombre : ces divers instants peuvent être calculés avec exactitude, au moyen des lois des mouvements des astres. — Mais nous ne commençons pas à voir le satellite à l'instant même où il redevient lumineux : l'intervalle de temps qui s'écoule, entre l'instant où *l'éclipse cesse* réellement et l'instant où *nous voyons* l'astre reparaitre, exprime le temps que met la lumière pour parcourir l'espace qui nous sépare de lui. Ce temps lui-même est variable aux diverses époques de l'année, selon que la Terre est plus ou moins éloignée de l'astre.

C'est par des observations de ce genre que l'astronome danois Røemer détermina le premier, en 1672, la vitesse de propagation de la lumière. Il lui assigna une valeur de 77 000 lieues, ou 308 000 kilomètres, par seconde. — En admettant ce résultat, la lumière mettrait environ 8 minutes 13 secondes pour franchir la distance du Soleil à la Terre.

Une cinquantaine d'années après, Bradley parvint à un résultat sensiblement égal, par une méthode tout à fait différente, mais fondée toujours sur des observations astronomiques.

814. **Expériences modernes.** — **Méthode de M. Fizeau.** — La méthode employée par M. Fizeau a permis de mesurer la vitesse de la lumière en opérant sur des distances de quelques kilomètres, comme celle qui avait servi à mesurer la vitesse du son dans l'air (658).

Les premières expériences de M. Fizeau, publiées en 1849, ont été effectuées entre Montmartre et Suresnes : la distance des deux stations était de 8653 mètres. Voici quelle était la disposition de l'appareil. — A Montmartre, était placé un tube de lunette T' (fig. 687), dont l'objectif L' avait son axe principal dirigé vers la station de Suresnes : au foyer principal f' de cet objectif, était un petit miroir plan mn , qui fermait le tube. D'autre part, à Suresnes, était placé un tube semblable T , disposé de manière que l'axe principal de son objectif L fût dans le prolongement de celui de l'autre ; soit f le foyer principal de cet objectif. A droite du tube T , était placée la flamme d'une lampe a , au foyer principal d'une lentille l qui transmettait les rayons parallèlement à son axe ; une seconde lentille l' tendait à faire converger les rayons vers son foyer b , mais ces rayons rencontraient alors une petite lame de verre inclinée gg' , qui les réfléchissait en partie, et les amenait à venir converger au point symétrique de b par rapport à la surface réfléchissante : la disposition était telle, que ce point de concours fût précisément le foyer principal f de la lentille objective L . Après s'être croisés en ce

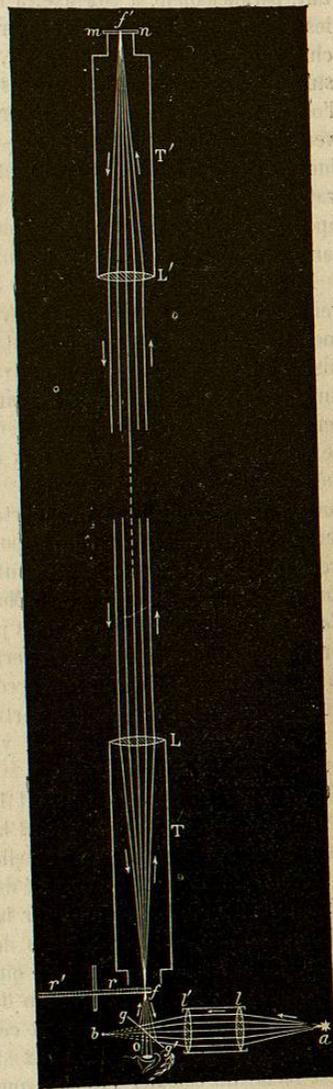


fig. 687.

Appareil de M. Fizeau, pour la mesure de la vitesse de la lumière.

point f , les rayons venaient tomber sur la lentille L , qui les transmettait, parallèlement à son axe, à la lentille L' de Montmartre : celle-ci les faisait converger en son foyer f' , sur le miroir mn , en sorte que chacun de ces rayons reprenait, en sens inverse, le chemin qu'avait suivi son symétrique. Les rayons, après avoir traversé l'objectif L' et l'objectif L , revenaient donc se croiser en f , et rencontraient de nouveau la lame de verre gg' : celle-ci ne renvoyait qu'une partie de la lumière vers la lampe, et transmettait l'autre partie à l'œil de l'observateur, placé en O . — En résumé, donc, l'observateur placé à Suresnes apercevait ainsi, dans la direction de Montmartre, la lumière de la lampe qui était placée à côté de lui.

Mais on avait disposé en outre, à Suresnes, sur la gauche de l'appareil, une roue dentée verticale rr' , dont le bord correspondait précisément au point f . Cette roue étant mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, dont on pouvait graduer à volonté la vitesse; la lumière ne pouvait franchir le point f qu'aux instants où la roue présentait, en ce point, l'espace *creux* compris entre deux dents : le passage de la lumière était intercepté, aux instants où la roue présentait, en ce même point, le *plein* de l'une de ses dents. — Cela posé, supposons que, la roue ayant reçu une certaine vitesse de rotation, un rayon venant de la lampe franchisse le point f , au moment où se présente un *creux* de la roue dentée. Si, pendant le temps que met ensuite ce rayon pour se propager de Suresnes à Montmartre et revenir à Suresnes, le *plein* de la dent suivante est venu prendre la place du *creux*, ce rayon sera intercepté au retour. Il en sera d'ailleurs de même pour tous les autres rayons qui pourront lui succéder, les dimensions des intervalles creux étant égales à celles des parties pleines. Dès lors, l'œil placé en O ne recevra aucune lumière : il y aura *éclipse* complète, tant que la roue conservera la même vitesse.

Or, supposons que, en mettant la roue en mouvement, et en augmentant d'abord progressivement la vitesse de rotation, on soit parvenu à lui donner une vitesse telle qu'il se produise une éclipse de lumière. Le mécanisme est disposé de manière qu'il permet de connaître le nombre de tours effectués par la roue en une seconde; comme on connaît d'ailleurs le nombre des dents de la roue, on en déduit la valeur de la fraction de seconde qui représente, dans l'expérience, le temps nécessaire à la substitution d'un *plein*, au *creux* qui le précède. Dans ces conditions, ce temps est celui que met la lumière pour franchir l'espace qui sépare les deux stations, aller et retour. Dès lors, il est facile de calculer l'espace que parcourt la lumière en une seconde (*).

(*) Si l'on donne à la roue dentée une vitesse double de la précédente, les rayons transmis, à l'aller, par les *creux*, viennent rencontrer au retour les *creux* suivants, et la lumière *reparaît* pour l'œil de l'observateur. — Si l'on donne à la roue une

Les expériences de M. Fizeau ont donné, pour valeur de la vitesse de la lumière, environ 300 000 kilomètres par seconde : c'est un nombre très voisin de celui qui avait été obtenu par Rømer (813). — De nouvelles expériences, faites par M. A. Cornu, au moyen de la même méthode, et avec quelques modifications destinées à en augmenter la précision, ont donné 300 330 kilomètres.

Des expériences toutes différentes, effectuées par Foucault, à l'aide d'un procédé qui permettait d'opérer sur une distance de quelques mètres seulement, avaient fourni, à peu près à la même époque que les expériences de M. Fizeau, un résultat très voisin du sien.

vitesse triple de la première, il se produit une nouvelle *éclipse*; et ainsi de suite, pour des vitesses de rotation croissantes. — Chacune de ces expériences permet de calculer la valeur de la vitesse de la lumière, en sorte qu'on peut, en prenant la moyenne des résultats, obtenir finalement cette valeur avec une grande précision.