

bord D, et accélère ainsi le mouvement du balancier. C'est encore pour la même raison que l'autre bord E du cylindre est taillé en biseau; lorsque l'extrémité de la dent atteint ce bord, elle glisse sur la petite face oblique, et donne une impulsion au balancier.

L'échappement à cylindre, que nous venons de décrire, est pour le balancier ce que l'échappement à ancre est pour le pendule. Dans ces deux échappements, tant qu'une dent est arrêtée, soit par le cylindre, soit par l'ancre, elle reste complètement immobile. De même, dans l'un comme dans l'autre, le régulateur est constamment sous l'influence du moteur, influence très-faible, il est vrai, mais qui n'en existe pas moins, puisque les dents frottent sur la pièce qui les arrête, qu'ensuite, au moment où elles se mettent en mouvement, elles donnent une impulsion à cette pièce. L'échappement à cylindre est excellent, et suffit bien pour les montres ordinaires; mais il n'en est pas de même pour les montres d'une grande précision, auxquelles on donne le nom de *chronomètres*, *montres marines*, *garde-temps*. Pour la construction de ces montres, qui doivent marcher pendant plusieurs mois sans se déranger sensiblement, on a imaginé un autre échappement, dans lequel on a fait disparaître cette influence continuelle du moteur sur le régulateur, et qui, pour cela, porte le nom d'*échappement libre*. Voici en quoi il consiste :

Un ressort A (fig. 31) dont l'épaisseur diminue progressivement

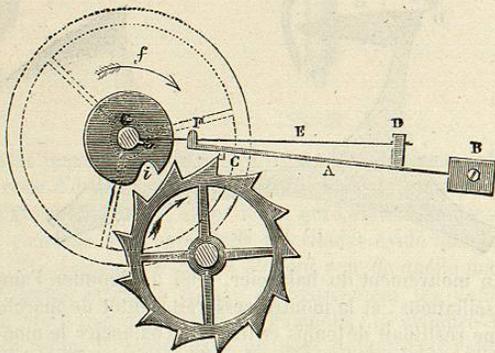


FIG. 31.

d'un bout à l'autre, est fixé, à son extrémité amincie, dans un talon B. Ce ressort porte une saillie C, contre laquelle viennent bu-

ter successivement les diverses dents de la roue d'échappement. Il porte en outre un petit talon D, dans lequel est fixé un second ressort très-flexible E. Ce second ressort passe sous l'extrémité recourbée d'un crochet F, qui termine le premier ressort; en sorte qu'il peut s'abaisser au-dessous de ce crochet sans que rien s'y oppose; tandis que, s'il s'élève, il entraîne le crochet avec lui, et soulève ainsi le ressort A. L'axe G du balancier est muni d'un doigt a, qui oscille en même temps que lui, et qui rencontre l'extrémité du petit ressort E à chaque oscillation. Lorsque le mouvement a lieu dans le sens de la flèche f, le doigt abaisse le petit ressort en passant; mais le ressort A reste immobile, ainsi que la roue d'échappement. Dans l'oscillation contraire, le doigt a soulève le ressort E; celui-ci soulève à son tour le ressort A; la dent qu'arrêtait la saillie C passe, et cette saillie, ramenée aussitôt dans sa position par le ressort A, arrête la dent suivante. Au moment où une dent échappe, une autre dent de la même roue d'échappement vient donner une impulsion au bord i d'une entaille pratiquée dans un petit disque fixé à l'axe du balancier: de cette manière, le moteur restitue au balancier, par une action presque instantanée, le mouvement qu'il a pu perdre pendant qu'il a effectué deux oscillations. Sauf le moment où cette impulsion est donnée au balancier, on voit qu'il oscille sans être soumis en aucune façon à l'influence de la force du moteur.

§ 18. La nature du moteur et du régulateur que l'on emploie dans une montre permet de déplacer comme on veut la machine entière. Cependant ce déplacement a une légère influence sur la marche de la montre. Cette influence, qui est toujours négligeable pour les montres ordinaires, peut devenir sensible pour les montres d'une grande précision, surtout lorsqu'elles éprouvent des mouvements brusques ou irréguliers. Aussi, lorsqu'on transporte de pareilles montres et qu'on a besoin de compter sur la grande exactitude de leur marche, doit-on prendre certaines précautions pour se mettre à l'abri des variations qui pourraient résulter du transport même. C'est ainsi que les montres marines, dont on se sert, dans la navigation, pour la détermination des longitudes, comme nous le verrons plus tard, sont installées dans les navires de manière à ne pas participer à tous les mouvements occasionnés par les vagues. La figure 32 fait voir la disposition que l'on adopte pour cela. Le mécanisme de la montre est contenu dans une boîte métallique entièrement recouverte par le cadran. Cette boîte est munie de deux tourillons A, A, diamétralement opposés, au moyen desquels elle est suspendue à un anneau métal-

lique qui l'environne. La montre peut tourner librement autour de l'axe formé par l'ensemble de ces deux tourillons; son centre de gravité se trouve d'ailleurs notablement au-dessous de cet axe : en sorte que, par la seule action de la pesanteur, le cadran tend constamment à se placer horizontalement, en supposant toutefois que l'axe AA lui-même soit horizontal. L'anneau métallique qui supporte les tourillons A, A, est de son côté suspendu au moyen

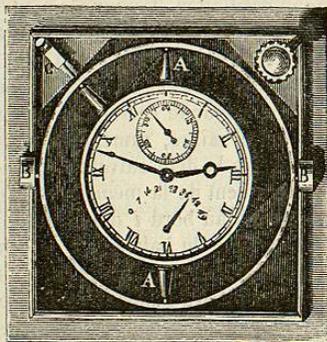


FIG. 32.

deux tourillons B, B, et peut tourner librement autour de la ligne qui les joint, en entraînant avec lui l'axe AA et la montre. Au moyen de cette double suspension, le cadran de la montre peut rester exactement horizontal quelle que soit la position que l'on donne à la boîte qui contient tout l'appareil. La pesanteur, en abaissant toujours autant que possible le centre de gravité de la montre, fait d'abord tourner l'anneau métallique autour de la ligne BB, de telle manière que l'axe AA soit horizontal; mais en même temps elle fait tourner la montre autour de cet axe, et amène ainsi la surface du cadran qui la surmonte à n'être inclinée d'aucun côté. Un petit verrou C, que l'on peut pousser de manière à le faire pénétrer dans une ouverture de l'anneau, ainsi que dans une sorte de douille fixée à la montre, permet d'ailleurs de supprimer à volonté le double mouvement autour des axes AA, BB.

Une montre marine, étant installée dans un navire comme nous venons de l'expliquer, ne conservera cependant pas une position horizontale, lorsque le navire éprouvera des mouvements brusques et irréguliers; elle sera soumise elle-même à des balancements quelquefois très-prononcés. Mais ces mouvements s'effectueront toujours avec beaucoup de douceur, et sa marche n'en éprouvera qu'une influence très-faible, comparativement à ce qui aurait lieu si elle était liée invariablement au navire, de manière à participer à tous ses mouvements.

§ 19. Dans un grand nombre de circonstances, surtout dans les observations astronomiques, on a besoin de noter à un moment

déterminé le temps marqué par une horloge ou un chronomètre, sans cependant pouvoir jeter les yeux sur le cadran. Dans de pareils cas, on a recours à divers moyens, pour suppléer à l'impossibilité dans laquelle on se trouve de lire directement et immédiatement les nombres d'heures, minutes et secondes auxquels correspondent les aiguilles.

Quand il s'agit d'une horloge dans laquelle l'échappement fait entendre un bruit net et distinct à chaque oscillation du pendule, on regarde d'avance le temps que marquent les aiguilles, puis on observe le phénomène dont on s'occupe, tout en comptant les secondes successives, à mesure qu'on entend le bruit produit par l'échappement. On peut donc ainsi connaître exactement le nombre de secondes marqué par l'aiguille des secondes, à un moment déterminé de l'observation, sans avoir besoin pour cela de regarder cette aiguille. Quant aux indications des aiguilles des minutes et des heures, elles peuvent être connues sans difficulté.

Pour atteindre le même but à l'aide des chronomètres, dans lesquels l'échappement ne fait pas assez de bruit pour qu'on opère comme on vient de le dire, on a imaginé deux moyens différents qui sont très-commodes l'un et l'autre.

Le premier consiste à arrêter instantanément la marche de l'aiguille des secondes, à l'aide d'un bouton que l'on pousse, au moment où l'on a besoin de connaître le temps que marque le chronomètre; de cette manière on peut lire ce temps un peu plus tard, lorsque l'observation que l'on fait ne s'y oppose plus.

Le second moyen consiste à disposer l'aiguille des secondes de telle façon, qu'en poussant un bouton, on lui fasse déposer instantanément sur le cadran une marque apparente, telle qu'un point noir : en regardant le cadran quelques instants après, on voit tout de suite dans quelle position se trouvait l'aiguille au moment où l'on a

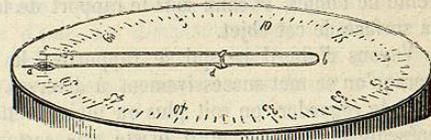


FIG. 33.

poussé le bouton, tout aussi bien que si l'aiguille s'était arrêtée dans cette position. La figure 33 indique la forme que l'on donne pour cela à l'aiguille des secondes. Cette seconde disposition des chronomètres est préférable à la première, en ce qu'elle permet de noter les temps correspondant à diverses phases successives et très-rapprochées d'un même phénomène; ces temps seront indiqués

par les divers points qu'on aura fait marquer par l'aiguille aux instants convenables.

INSTRUMENTS QUI SERVENT A AUGMENTER LA PUISSANCE DE LA VUE.

§ 20. **Vision d'un objet.** — Avant d'entrer dans la description des instruments qui servent à augmenter la puissance de la vue, c'est-à-dire des *lunettes* et des *télescopes*, examinons d'abord de quelle manière s'opère la *vision d'un objet*. Cette étude nous mettra à même de comprendre sans peine comment la vision est modifiée, lorsqu'au lieu de regarder l'objet directement, ou, comme on dit, à *l'œil nu*, on le regarde en interposant une lunette ou un télescope entre cet objet et l'œil.

Lorsqu'un corps est lumineux, soit que la lumière émane du corps lui-même, soit qu'il soit simplement éclairé par un autre corps lumineux placé dans son voisinage, on peut considérer chaque point de sa surface comme envoyant des rayons de lumière dans toutes les directions possibles en dehors de cette surface. Pour *regarder* ce corps, on place son œil de manière à permettre à une certaine quantité des rayons de lumière, qui sont émis par la surface du corps, de pénétrer à travers l'ouverture de la prunelle; ces rayons éprouvent dans l'intérieur de l'œil des déviations occasionnées par les diverses matières transparentes qu'ils ont à traverser, et arrivent enfin sur la rétine, où ils produisent une sensation qui détermine la vision du corps. Supposons maintenant qu'on rapproche son œil de l'objet que l'on regarde : la vision de cet objet se modifie, et les modifications qu'elle éprouve peuvent être étudiées sous trois points de vue différents : 1° sous le rapport de la netteté de la vision, 2° sous le rapport de la grandeur apparente de l'objet, 3° enfin sous le rapport de la clarté apparente de la surface de cet objet.

Voyons d'abord ce qui se rapporte à la netteté de la vision. Lorsqu'on se met successivement à diverses distances d'un corps pour le regarder, on voit plus ou moins nettement les détails que présente sa surface; et il existe une certaine distance pour laquelle ces détails se distinguent mieux que pour toute autre distance. C'est ainsi que, si l'on veut lire dans un livre dont les caractères sont trop fins, on place naturellement le livre à une certaine distance des yeux; cette distance est telle que les caractères se voient mieux que si le livre était plus près ou plus loin. Cette distance particulière, qui correspond à la plus grande netteté de la vision, se nomme la *distance de la vue distincte*. Elle n'est pas

la même pour tout le monde; souvent même elle est différente pour les deux yeux d'une même personne. Sa valeur est ordinairement de 2 à 3 décimètres. En général, on peut dire que la vision d'un objet est plus ou moins nette, suivant que la distance de cet objet à l'œil se rapproche plus ou moins de la distance de la vue distincte.

Considérons maintenant la vision sous le rapport de la grandeur apparente de l'objet. Si l'on regarde le corps M (*fig. 34*), en plaçant son œil au point O, la ligne droite qui joint deux points A et B de ce corps sera vue sous un certain angle AOB.

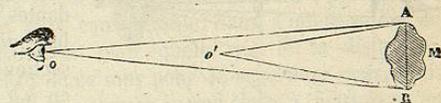


Fig. 34.

Mais si l'œil, au lieu d'être en O, vient se placer en O', à une distance de M moitié de la distance précédente, la ligne AB sera vue sous un angle AOB qui sera double du précédent, en admettant toutefois que la ligne AB soit petite relativement aux distances OM et O'M. De même, si la distance de l'œil à l'objet se réduit au tiers, au quart, etc., de la distance primitive OM, l'angle sous lequel sera vue la ligne AB deviendra le triple, le quadruple... de l'angle AOB. Ces angles AOB, AO'B..., se nomment les grandeurs apparentes de la ligne AB : la grandeur apparente d'une ligne devient donc double, triple, quadruple, ... de ce qu'elle était primitivement, lorsque la distance de l'œil à cette ligne se réduit à la moitié, au tiers, au quart, ... de la distance primitive. En même temps, il est facile de reconnaître que la grandeur apparente de la surface du corps auquel cette ligne appartient devient quatre fois, neuf fois, seize fois... plus grande. On est ainsi conduit à cette loi : *La grandeur apparente d'une des dimensions d'un objet varie en raison inverse de la distance de l'œil à cet objet, et la grandeur apparente de sa surface varie en raison inverse du carré de cette distance.*

Voyons enfin ce qui a rapport à la clarté apparente de la surface de l'objet. L'œil, étant placé à une certaine distance du corps M (*fig. 35*), reçoit de la lumière qui émane d'un grand nombre de points de la surface de ce corps : considérons un de ces points en particulier, le point m, par exemple. Ce point envoie, ainsi que nous l'avons dit, des rayons de lumière dans toutes les directions en dehors de la surface du corps dont il fait partie; mais, de tous ces rayons, l'œil ne reçoit que ceux qui sont compris à l'intérieur

de la surface conique qui a pour sommet le point m , et pour base l'ouverture ab de la prunelle. Supposons maintenant que l'œil se rapproche du corps M , de manière à réduire de moitié la distance à laquelle il se trouve de ce corps, et soit $a'b'$ la nouvelle position

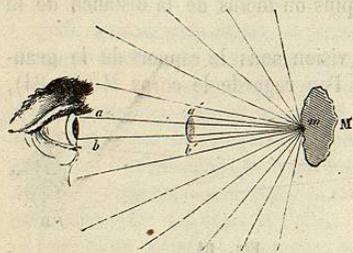


FIG. 35.

de la prunelle. En $a'b'$, les dimensions transversales du cône de lumière mab sont deux fois plus petites que les dimensions correspondantes de ce cône vers la base ab ; la grandeur de la section transversale du cône en $a'b'$ n'est donc que le quart de la grandeur de la base ab de ce cône, c'est-à-dire qu'elle n'est que le quart de l'ouverture de la prunelle. Il en résulte que l'ouverture de la prunelle en $a'b'$ laissera pénétrer à l'intérieur de l'œil quatre fois plus de rayons de lumière émanés du point m que lorsque cette ouverture était placée en ab . Ce que nous venons de dire pour la lumière émanée du point m peut évidemment se répéter pour celle qui vient de tous les autres points de la surface du corps M qui sont dans son voisinage. On en conclura sans peine que, si la distance de l'œil à l'objet diminue de moitié, la quantité de lumière que l'œil reçoit d'une portion quelconque de la surface de cet objet devient quatre fois plus grande. Mais, en même temps, la grandeur apparente de cette portion de surface est également quadruplée, ainsi que nous l'avons expliqué il n'y a qu'un instant; elle augmente donc dans le même rapport que la quantité de lumière que l'œil en reçoit, et il en résulte que la clarté de la surface ne change pas. Il en serait évidemment encore de même pour toute nouvelle position que l'œil prendrait par rapport à l'objet.

Ainsi, en résumé, lorsqu'on regarde un objet lumineux successivement à diverses distances : 1° l'objet est vu avec une netteté plus ou moins grande, suivant que sa distance à l'œil se rapproche plus ou moins de la vue distincte; 2° la grandeur apparente de chaque dimension de l'objet varie en raison inverse de sa distance à l'œil, et la grandeur apparente de sa surface varie en raison inverse du carré de cette distance; 3° enfin la clarté de la surface de l'objet reste la même, quelle que soit sa distance à l'œil.

Ce dernier résultat paraît en contradiction avec ce que l'on ob-

serve tous les jours, car on sait que, à mesure qu'on se rapproche d'une surface, la clarté de cette surface augmente constamment; si bien que les peintres, dans leurs tableaux, ne mettent pas la même teinte sur des surfaces également lumineuses, qui sont situées, les unes au premier plan, les autres au second plan. Mais il faut faire attention qu'il y a ici une cause qui modifie la clarté de l'objet qu'on regarde, cause qui n'existait pas dans le cas sur lequel nous avons raisonné tout à l'heure : c'est la présence de l'air qui existe entre l'objet et l'œil, en quantité d'autant plus grande que leur distance est plus considérable. Sans l'interposition de l'air, un mur blanc paraîtrait clair, quelle que fût la distance à laquelle on se trouverait de ce mur pour le regarder; mais, dans la réalité, ce mur paraît de moins en moins clair, à mesure qu'on s'en éloigne, parce que la quantité d'air interposée entre ce mur et l'œil augmente de plus en plus, et qu'elle absorbe, par conséquent, une quantité de lumière de plus en plus grande. Si, dans les raisonnements qui précèdent, nous avons fait abstraction de l'air qui s'interpose entre l'œil et l'objet, c'est que cela nous était nécessaire pour la suite.

§ 21. **Propriétés des lentilles.** — Les lunettes étant formées par la réunion de plusieurs verres à surface sphérique, ou *lentilles*, nous commencerons par rappeler brièvement les propriétés de ces lentilles.

Les lentilles se divisent en deux classes distinctes, d'après la manière dont elles agissent sur les faisceaux de rayons lumineux : les unes se nomment *lentilles convergentes*, les autres *lentilles divergentes*. Les premières sont celles dont l'épaisseur est plus



FIG. 36.



FIG. 37.



FIG. 38.



FIG. 39.



FIG. 40.



FIG. 41.

grande au centre que vers les bords. Leurs deux faces sont ordinairement convexes; mais l'une d'elles peut être plane, ou même concave : en sorte que, en coupant une pareille lentille en deux, par un plan mené suivant son axe de figure, on aura une section présentant une des trois formes indiquées ici (fig. 36, 37 et 38). Dans les lentilles divergentes, au contraire l'épaisseur est moindre au centre que vers les bords; et leur section présente une des trois formes que montrent les figures 39, 40 et 41.

Considérons une lentille convergente (fig. 42), exposée aux rayons de lumière qui émanent d'un point lumineux A, situé sur son axe de figure, et suffisamment éloigné. Ceux de ces rayons

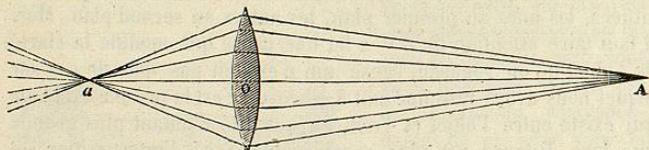


FIG. 42.

qui tombent sur la lentille, la traversent en s'infléchissant plus ou moins, et vont, après leur sortie, converger, à très-peu près, en un même point *a*. Si le point lumineux A se rapproche de la lentille, le point *a*, où convergent les rayons émergents, s'en éloigne. Le point A se rapprochant ainsi de plus en plus, il arrive un moment

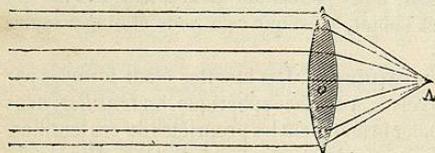


FIG. 43.

où le point *a* se trouve à l'infini, c'est-à-dire que les rayons émergents sont parallèles (fig. 43). La position particulière qu'occupe alors le point A,

est ce que l'on nomme le foyer principal, ou simplement le *foyer* de la lentille; la distance de ce foyer à la lentille se nomme sa *distance focale*. Si le point A se rapproche encore de la lentille, les rayons de lumière qu'il lui envoie restent divergents après l'avoir traversée, comme ils l'étaient avant; seulement leur di-

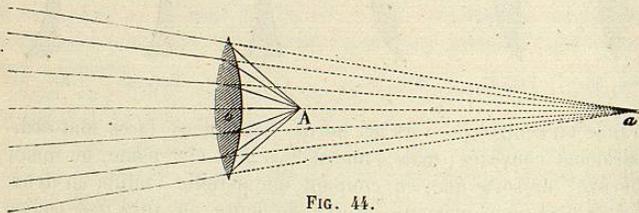


FIG. 44.

vergence a diminué, et leurs directions prolongées vont passer par un point *a* situé du même côté de la lentille que le point A (fig. 44). L'effet de la lentille sur les rayons de lumière qui émanent du point A est donc de les rendre convergents, ou de

diminuer leur divergence, suivant que ce point est plus loin ou plus près de la lentille que son foyer; si le point A est au foyer lui-même, la lentille rend parallèles les rayons qui en émanent; de même, si la lentille reçoit un faisceau de rayons lumineux parallèles à son axe, elle les fait converger vers le foyer.

Une lentille convergente agit d'une manière entièrement ana-

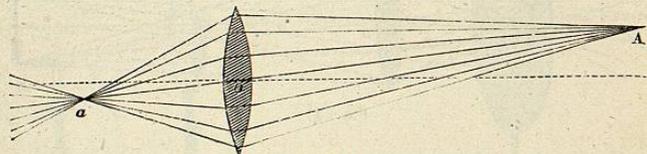


FIG. 45.

logue sur les rayons de lumière qui émanent d'un point A situé à une petite distance de son axe (fig. 45), ou bien sur les rayons parallèles dont la direction fait un petit angle avec cet axe, (fig. 46). Parmi les rayons que le point A envoie à la lentille, il y en a nécessairement un qui n'est dévié ni d'un côté ni d'un autre; on dé-

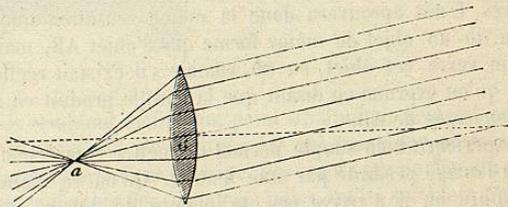


FIG. 46.

montre que ce rayon passe toujours par un même point O, quelle que soit la position qu'occupe le point lumineux A, pourvu qu'il ne s'éloigne pas beaucoup de l'axe de la lentille: ce point O se nomme le *centre optique* de la lentille.

L'action des lentilles divergentes sur les faisceaux de rayons de lumière est inverse de celle des lentilles convergentes. Si les rayons qui arrivent sur une pareille lentille sont convergents, elle les rend moins convergents, ou parallèles, ou divergents; lorsqu'ils sont parallèles, elle les rend divergents; lorsqu'ils sont divergents, elle augmente leur divergence.

§ 22. Supposons qu'un objet lumineux AB (fig. 47), soit placé en avant d'une lentille convergente, au delà du foyer F de cette lentille. Les rayons de lumière qui partent du point A de cet ob-

jet, et qui traversent la lentille, convergent ensuite vers le point a ; les rayons qui partent du point B convergent vers le point b ; et il en est de même pour les rayons qui partent de tous les autres points de l'objet que l'on considère. Cela étant, concevons que l'on

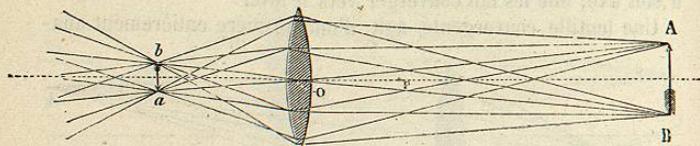


FIG. 47.

place son œil au delà de l'endroit ab où se trouvent les points de concours de ces différents faisceaux de rayons de lumière. Les rayons partis du point A, rendus convergents par la lentille et se rencontrant au point a , pénétreront à l'intérieur de l'œil en y produisant la même sensation que s'ils provenaient d'un point lumineux situé en a ; les rayons émanés du point B se comporteront comme s'ils partaient d'un point lumineux située en b ; et ainsi des autres. L'œil éprouvera donc la même sensation que s'il y avait en ab un objet de même forme que l'objet AB, mais renversé; on verra cet objet, en ab , comme s'il existait réellement. C'est ce qu'on exprime en disant que la lentille produit en ab une image renversée de AB.

Une expérience bien simple permet de mettre complètement en évidence l'image produite par une lentille. Qu'on se mette dans une chambre où il n'arrive pas de lumière du dehors, soit que toutes les ouvertures soient hermétiquement fermées, soit qu'on opère pendant la nuit; qu'on dispose dans cette chambre obscure, sur une table, une bougie allumée, P (fig. 48), et à une certaine distance une lentille L, montée sur un pied, et tournée de manière qu'une de ses faces soit en regard de la flamme de la bougie; qu'on place enfin, de l'autre côté de la lentille, un carton blanc P', à une distance convenable, et l'on apercevra sur ce carton une image renversée de la flamme de la bougie, ainsi que d'une portion de la bougie elle-même, qui est éclairée par le voisinage de la flamme.

§ 23. Lorsqu'on veut observer en détail un objet de petites dimensions, on le regarde avec une loupe, c'est-à-dire avec une lentille fortement convergente, et on le voit ainsi avec des dimensions beaucoup plus grandes. Voici comment cet effet se produit. L'objet

AB (fig. 49), étant placé entre la lentille et son foyer F, les rayons de lumière qui émanent du point A, et qui traversent la lentille, ne perdent pas toute leur divergence; mais après qu'ils l'on tra-

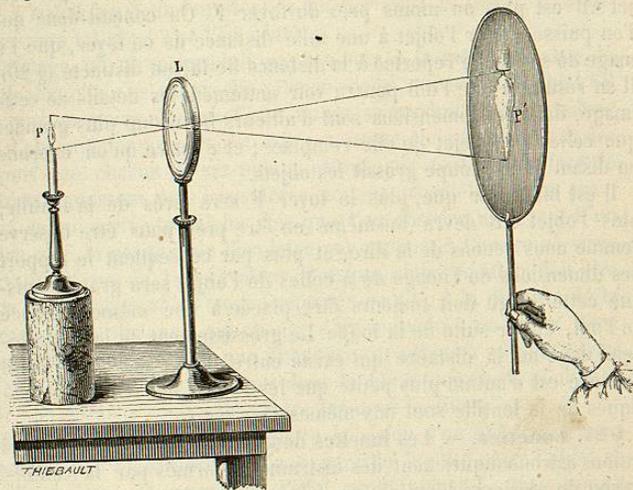


FIG. 48.

versée, ils semblent venir d'un point a , situé au delà du point A, sur le prolongement de la ligne AO qui passe par ce point A et par le centre optique O de la loupe. Les rayons qui partent du point B éprouvent également des déviations telles, qu'ils semblent venir du

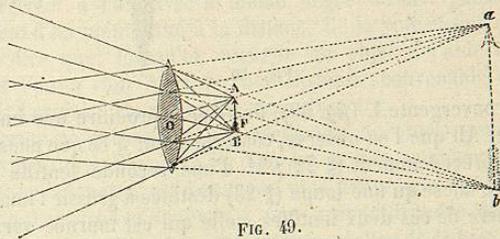


FIG. 49.

point b , situé sur le prolongement de la ligne BO; et il en est de même pour tous les autres points de l'objet AB. L'œil, qui est placé de l'autre côté de la loupe, et qui reçoit les rayons de lumière émanant de cet objet, éprouve donc la même impression que si

la loupe n'existait pas et que l'objet AB fût remplacé par un objet de même forme *ab*. L'image *ab*, que l'œil aperçoit, est plus ou moins éloignée de la loupe, et par suite de l'œil, suivant que l'objet AB est plus ou moins près du foyer F. On conçoit donc que l'on puisse placer l'objet à une telle distance de ce foyer, que l'image *ab* se trouve reportée à la distance de la vue distincte (§ 20). Il en résultera que l'œil pourra voir nettement les détails de cette image, dont les dimensions sont d'ailleurs beaucoup plus grandes que celles de l'objet qu'elle remplace; et c'est ce qu'on exprime en disant que la loupe grossit les objets.

Il est bien clair que, plus le foyer F sera près de la lentille, plus l'objet AB devra lui-même en être près pour être observé comme nous venons de le dire, et plus par conséquent le rapport des dimensions de l'image *ab* à celles de l'objet sera grand; puisque cette image doit toujours être placée à une même distance de l'œil, et par suite de la loupe. Le grossissement de la loupe dépend donc de la distance qui existe entre elle et son foyer; cette distance est d'autant plus petite que les rayons des surfaces sphériques de la lentille sont eux-mêmes plus petits.

§ 24. **Lunettes.** — Les lunettes dont on se sert dans les observations astronomiques sont des instruments formés par la combinaison de plusieurs lentilles, au moyen desquels on peut voir les objets beaucoup mieux que si on les regardait à l'œil nu. Une lunette, réduite à sa plus grande simplicité, se compose : 1° d'une

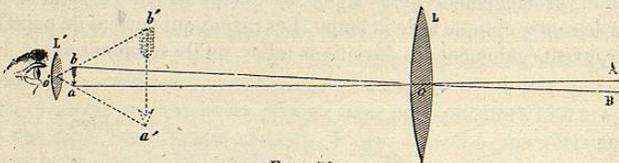


FIG. 50.

lentille convergente L (fig. 50), destinée à produire une image *ab* de l'objet AB que l'on observe, conformément à ce que nous avons expliqué précédemment (§ 22); 2° d'une seconde lentille L', qui n'est autre chose qu'une loupe (§ 23) destinée à grossir l'image *ab*. La première de ces deux lentilles, celle qui est tournée vers l'objet AB, se nomme pour cette raison l'*objectif*; la seconde, près de laquelle l'observateur met son œil pour regarder dans la lunette, se nomme l'*oculaire*. Ces deux lentilles sont montées aux deux extrémités d'un tuyau noirci à l'intérieur, et destiné à empêcher qu'il n'arrive à l'oculaire des rayons lumineux autres que ceux qui

viennent directement de l'objectif. Ce tuyau, dont la présence n'est pas indispensable, sert en outre à relier l'oculaire et l'objectif l'un à l'autre, de sorte qu'il suffit de le faire mouvoir pour déplacer à la fois les deux lentilles, et amener ainsi la lunette à se diriger vers tel objet que l'on veut.

L'image *ab* ne se produit pas toujours à la même distance de l'objectif; elle s'en rapproche plus ou moins, suivant que l'objet AB est plus ou moins éloigné. Cette image se produit au foyer même de l'objectif, lorsque l'objet AB est assez éloigné pour que les rayons que chacun de ses points envoie sur toute la surface de l'objectif puissent être considérés comme parallèles entre eux : c'est ce qui arrive toutes les fois que l'on observe un astre. D'un autre côté, la position de l'observateur, puisque cette position doit être telle que l'image *ab* se trouve reportée en *a'b'*, à la distance de la vue distincte, distance qui change d'un individu à un autre. C'est pour cette double raison que l'oculaire est adapté à un petit tuyau que l'on enfonce plus ou moins dans le tuyau principal, pour établir une distance convenable entre les deux lentilles.

§ 25. Voyons de quelle manière la vision d'un objet se trouve modifiée par l'interposition d'une pareille lunette entre l'objet et l'œil; et pour cela examinons l'effet produit sous les trois points de vue indiqués précédemment (§ 20), c'est-à-dire sous le rapport de la netteté de la vision, de la grandeur apparente de l'objet et de la clarté apparente de la surface de cet objet.

Il résulte d'abord de l'idée simple que nous nous sommes faite d'une lunette, que les rayons lumineux émanés d'un même point de l'objet, et déviés dans leur route par leur passage à travers la lunette, arrivent à l'œil avec le même degré de divergence que s'ils venaient d'un point situé à la distance de la vue distincte. On peut donc dire que, lorsqu'on regarde un objet à l'aide d'une lunette, si l'on a soin d'établir une distance convenable entre l'objectif et l'oculaire, la vision est toujours nette.

Les lunettes ne grossissent pas réellement les objets, puisqu'il est bien évident que l'image *a'b'*, d'où les rayons semblent partir en sortant de la lunette, est beaucoup plus petite que l'objet AB lui-même qui se trouve toujours à une grande distance de l'objectif, mais ce ne sont pas les dimensions réelles de l'objet et de l'image *a'b'* qu'il faut comparer, pour avoir une idée de la puissance de la lunette que l'on emploie; ce sont les grandeurs apparentes de l'objet et de l'image qu'il importe de mettre en parallèle, Nous devons seulement examiner si l'objet paraît plus grand lors-

qu'on le regarde avec la lunette que lorsqu'on le regarde à l'œil nu. Or, il est aisé de voir que la grandeur apparente de la ligne AB vue directement, c'est-à-dire sans lunette, est sensiblement égale à l'angle AOB, ou bien, ce qui revient au même, égal à aOb ; car la longueur de la lunette peut-être complètement négligée relativement à la distance à laquelle se trouve l'objet AB. D'un autre côté, on peut prendre l'angle $a'O'b'$ ou bien $a'O'h$ pour la grandeur apparente de l'image $a'b'$; car l'œil se place toujours très-près de l'oculaire, et par conséquent du point O', pour recevoir les rayons qui viennent de cette image. Le rapport de la grandeur apparente de l'image $a'b'$ à celle de la ligne AB est donc égal au rapport des angles $a'O'b'$ et aOb . Ce rapport se nomme le *grossissement* de la lunette. Pour en avoir une expression simple, nous observons d'abord que, les angles aOb et aOb' étant toujours petits, ab peut être indifféremment regardé comme un arc de cercle ayant pour centre, soit le point O, soit le point O'; c'est-à-dire, que le rapport des angles aOb et aOb' est égal au rapport inverse des distances de l'image ab aux deux points O' et O. Nous remarquons ensuite que, vu la grande distance à laquelle se trouve l'objet AB, l'image ab se produit sensiblement au foyer de l'objectif (§ 21), et que, d'un autre côté, l'oculaire doit être placé de telle manière que ab soit très-près de son foyer, pour reporter $a'b'$ à la distance de la vue distincte (§ 23); nous pourrions donc dire que le grossissement de la lunette est égal au rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire. On conçoit, d'après cela, qu'en construisant une lunette, au moyen d'un objectif et d'un oculaire convenablement choisis, on pourra obtenir un grossissement aussi fort qu'on voudra.

Examinons enfin l'effet produit par une lunette, sous le rapport de la clarté apparente de la surface de l'objet qu'on observe. Chaque point M de cet objet envoie des rayons lumineux sur toute la surface de l'objectif. Ces rayons, rendus convergents par l'action de la lentille, vont passer par un point m appartenant à l'image ab (fig. 51); ils continuent ensuite leur route, et forment un faisceau divergent qui vient tomber sur la surface de l'oculaire; enfin cette seconde lentille diminue leur divergence, de telle façon qu'ils semblent venir du point m' de l'image $a'b'$. Si l'on regardait directement l'image ab , sans se servir de l'oculaire, on devrait mettre son œil à une distance de cette image égale à la distance de la vue distincte; à cette distance le faisceau des rayons qui passent par le point m se trouverait trop large pour pénétrer tout entier par l'ouverture de la prunelle; l'œil ne recevrait donc

qu'une portion des rayons que le point M envoie à l'intérieur de la lunette. Mais l'oculaire, en diminuant la divergence de ces rayons peu après leur passage par le point m , et en permettant en outre à l'œil de se rapprocher beaucoup de ce point, fait que le faisceau tout entier peut traverser la prunelle et entrer dans

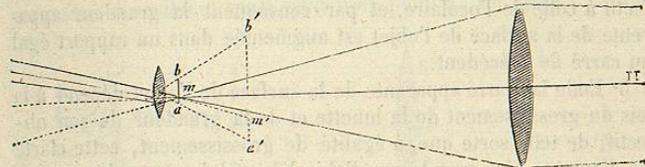


FIG. 51.

l'œil. Ainsi l'œil reçoit, de chaque point de l'objet observé, la totalité des rayons que ce point envoie sur la surface de l'objectif, en faisant abstraction toutefois de la perte de lumière qui résulte du passage des rayons à travers les lentilles. Avec cette restriction, on peut donc dire que, si l'on regarde d'abord un objet à l'œil nu, puis qu'on l'observe au moyen d'une lunette, la quantité de lumière envoyée par chaque point de l'objet à l'intérieur de l'œil augmente dans le rapport de la surface de l'objectif à l'ouverture de la prunelle. En réalité, cette quantité de lumière est augmentée dans un moins grand rapport, en raison de l'absorption d'une partie des rayons par les masses de verre qu'ils traversent. Si la grandeur apparente de la surface de l'objet se trouvait augmentée par l'effet de la lunette, précisément dans le même rapport que la quantité de lumière que l'œil reçoit de chacun des points de cette surface, la clarté apparente de la surface resterait la même, ainsi que cela a lieu pour la vision directe d'un objet, lorsqu'on s'en rapproche plus ou moins (§ 20). Mais l'accroissement de la grandeur apparente de l'objet, résultant de l'emploi d'une lunette, dépend des distances focales de l'objectif et de l'oculaire; tandis que l'accroissement de la quantité de lumière que l'œil reçoit de chaque point de la surface de cet objet dépend de la grandeur de l'objectif: ces deux causes, étant entièrement distinctes, pourront avoir une influence relative plus ou moins grande, et la clarté apparente de la surface de l'objet sera augmentée ou diminuée par l'emploi de la lunette, suivant que la seconde cause l'emportera sur la première, ou inversement.

En résumant ce que nous venons de dire, nous verrons que l'emploi d'une lunette, pour observer un objet, modifie la vision de la manière suivante :