

568. Grossissement d'une loupe, pour une vue déterminée. — On appelle *grossissement d'une loupe, pour un observateur déterminé*, le rapport du diamètre apparent sous lequel cet observateur voit, au travers de la loupe, une dimension déterminée de l'objet, à l'angle sous lequel il verrait cette même dimension à l'œil nu, à la distance minimum de sa vue.

D'après ce qui précède, si p est la puissance de la loupe, l'angle sous lequel une dimension z de l'objet est vue *au travers de la loupe* a sensiblement pour mesure zp . Pour un observateur déterminé, cette même dimension z , vue *à l'œil nu*, et placée à la distance minimum D , serait vue sous un angle mesuré par $\frac{z}{D}$, angle d'autant plus grand que la distance D qui caractérise sa vue est plus petite. Le *grossissement* G , c'est-à-dire le rapport de ces deux angles, est donc exprimé, pour l'observateur dont il s'agit, par

$$G = p \cdot D \quad \text{ou} \quad G = \frac{D}{f}.$$

On voit donc que le grossissement produit par une loupe de puissance déterminée n'est pas le même pour un myope que pour un presbyte. — Le myope, quand il observe à l'œil nu, place l'objet à une distance D moindre que le presbyte; par suite, il distingue, *à l'œil nu*, des détails que ne peut distinguer le presbyte. Mais le grossissement qui est produit, *pour lui*, par une loupe déterminée, c'est-à-dire le progrès qu'il réalise par l'adjonction de cette loupe à son œil, est moindre qu'il ne le serait pour un presbyte.

569. Défaut d'achromatisme de la loupe simple. — **Loupes composées.** — La marche des rayons lumineux qui traversent une loupe semble indiquer, au premier abord, que l'achromatisme doit se produire de lui-même, et que jamais les images ne doivent paraître irisées. Si, en effet, l'image formée par les rayons rouges partis du point A (fig. 589) vient se faire en un point A' de l'axe secondaire AC , l'image formée par les rayons violets partis du même point devra se produire en un point A'' du même axe secondaire. Le centre optique de l'œil étant supposé très près du point C , les deux images du point A seront vues dans la même direction CAA'' et paraîtront se superposer. — Cependant, l'expérience montre que les contours des images données par la loupe sont toujours irisés, et d'autant plus que les courbures des deux faces sont plus prononcées; cette dernière observation montre que le défaut d'achromatisme est dû à l'aberration de sphéricité (523), laquelle n'est pas la même pour les rayons rouges que pour les rayons violets.

En employant, au lieu d'une lentille, une *loupe composée*, c'est-à-dire un système de deux lentilles présentant des courbures moindres, et fixées à peu de distance l'une de l'autre, on peut obtenir, à puissance égale, des images bien moins irisées.

570. Microscope composé. — Le *microscope composé* est formé par la réunion d'un *objectif* convergent, disposé de manière à donner une image réelle, plus grande que l'objet, et d'un *oculaire* fonctionnant par

rapport à cette image aérienne comme une loupe, c'est-à-dire lui substituant une image virtuelle qui est encore agrandie (*).

La figure 591 indique la marche des rayons : l' est l'objectif, dont les foyers sont en f et en f' ; LL' est l'oculaire, dont les foyers sont en F et F' . — L'objet AB , placé à une distance Pc de l'objectif *un peu supérieure à la distance focale principale f'* , donne une image réelle A_1B_1 , renversée et agrandie. L'oculaire LL' est placé à une distance P_1C de l'image A_1B_1 , *inférieure à sa distance focale principale $F'C$* ; les rayons qui se sont croisés aux différents points de l'image aérienne A_1B_1 se comportent, par rapport à l'oculaire, comme s'ils émanaient d'un objet placé en A_1B_1 : il se forme une image virtuelle $A'B'$, visible pour l'œil placé au delà de l'oculaire. — On met au point en réglant la distance Pc , de manière que l'image virtuelle vienne se former sensiblement à la distance minimum de la vision distincte.

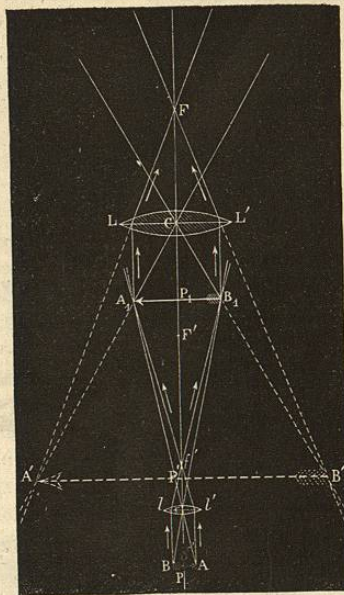


Fig. 591. — Formation des images dans le microscope composé.

571. Détails de construction microscope. — L'oculaire et

l'objectif sont assujettis dans un tube métallique AB , supporté par un collier C (fig. 592); les objets, placés entre deux lames de verre mince, sont déposés sur la plaque P ou *porte-objet*, au-dessus de l'ouverture circulaire pratiquée en son milieu. Lorsque les objets sont transparents, on les éclaire en dessous, au moyen du miroir concave M , sur lequel on reçoit la lumière des nuages ou celle d'une lampe, et qui renvoie cette lumière dans l'ouverture du porte-objet. Lorsque les objets sont opaques, on les éclaire par la partie supérieure, au moyen d'une lentille convergente placée latéralement. — Le collier C , qui soutient le tube du microscope, est fixé à la colonne creuse D ; une vis V , placée dans l'axe de cette colonne, permet de faire monter ou descendre la colonne elle-même, de manière à éloigner ou à rapprocher le tube AB du porte-objet, pour mettre au point.

(*) L'invention du microscope composé remonterait, suivant certains auteurs, au xv^e siècle, et serait due au lunetier Zacharias Jansen, de Middelbourg; suivant d'autres, elle serait due au naturaliste Leuwenhœck, et daterait du $xvii^e$ siècle.

L'objectif B est, en général, formé de deux ou trois lentilles à très court foyer, montées dans des garnitures métalliques qui s'adaptent les unes aux autres. L'oculaire A est également formé de deux lentilles convergentes, constituant une *loupe composée*. — On a, pour un même instrument, plusieurs systèmes d'objectifs et d'oculaires, que l'on peut substituer les uns aux autres pour faire varier la puissance de l'instrument.

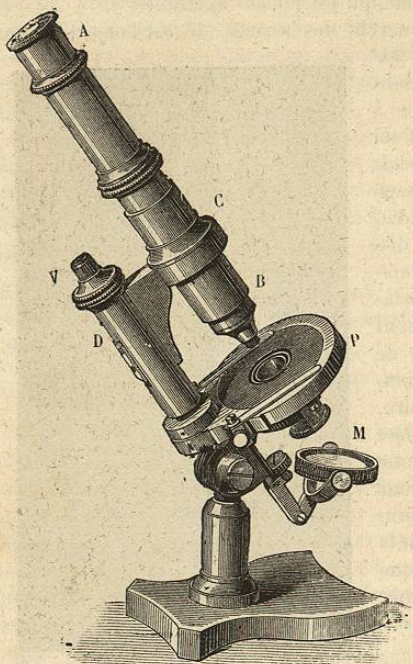


Fig. 592. — Microscope composé.

572. Puissance d'un microscope. — Un microscope, de même qu'une loupe, doit être considéré comme d'autant plus puissant, qu'il permet de voir sous un angle plus grand une dimension déterminée de l'objet.

Or, supposons que le centre optique de l'œil soit placé au foyer F (fig. 591) de la lentille oculaire (*). Si l'on désigne par α l'angle

$A'FP'$ sous lequel il voit l'image $A'P'$ de la dimension AP de l'objet, on a

$$\text{tang } \alpha = \frac{A'P'}{FP'} = \frac{LC}{FC} = \frac{A_1P_1}{FC}; \text{ ce qu'on peut écrire}$$

$$\text{tang } \alpha = \left(\frac{A_1P_1}{AP} \times \frac{1}{FC} \right) AP.$$

Or, dans la parenthèse, le premier facteur représente l'agrandissement, par rapport à l'objet, de l'image réelle formée par l'objectif W (565); le second facteur représente la puissance de l'oculaire (567), fonctionnant comme loupe par rapport à cette image aérienne. — Dès lors, en confondant toujours l'angle α avec sa tangente, on devra considérer la *puissance P* du microscope comme représentée par un coefficient, caractéristique de l'instrument lui-même, et égal au produit de l'agrandissement dû à son objectif, par la puissance de son oculaire.

(*) On verra plus loin (573) que c'est la position que doit occuper l'œil, pour embrasser tout le champ de l'instrument.

573. Mesure expérimentale de la puissance d'un microscope, au moyen de la chambre claire. — La figure 595 représente une chambre claire que l'on peut adapter aux microscopes, et qui permet d'obtenir une mesure expérimentale de la puissance.

Un petit miroir métallique mn , percé d'une ouverture, se fixe, au moyen d'une bague métallique, au-dessus de l'oculaire L, de manière à être incliné d'environ 45 degrés sur l'axe du tube : un prisme à réflexion totale abc est disposé latéralement, de manière que sa face hypoténuse soit sensiblement parallèle à mn . L'œil placé en O reçoit, au travers de l'ouverture du miroir mn , les rayons émis par l'objet AB et transmis par l'instrument. D'autre part, si l'on dispose une feuille de papier P au-dessous du prisme abc , à une distance sensiblement égale à la distance minimum D de la vision distincte, les rayons envoyés par cette feuille, se réfléchissant sur la face hypoténuse ac , puis sur le miroir mn , arrivent à l'œil suivant les mêmes directions que les rayons venus de l'objet. Pour l'observateur, l'image virtuelle de l'objet semble donc se peindre sur la feuille de papier elle-même (*).

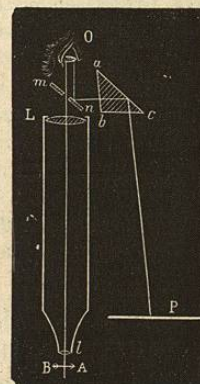


Fig. 595. — Chambre claire adaptée au microscope.

Pour mesurer la puissance P de l'instrument, on place sur le porte-objet un micromètre, divisé en centièmes de millimètre, comme celui qui a été décrit précédemment (565), et l'on dispose sur la feuille de papier une règle divisée en millimètres, de manière que l'image des divisions du micromètre se projette sur la règle. — Supposons que 3 divisions de la règle soient couvertes par 1 division grossie du micromètre. Le diamètre apparent sous lequel l'œil voit, dans la chambre claire, ces 3 divisions de la règle, c'est-à-dire une longueur de $0^m,003$, a pour mesure $\frac{0,003}{D}$ (en supposant D évalué en mètres). Le diamètre apparent sous lequel l'œil voit, dans le microscope, une division du micromètre, de longueur $0^m,00001$, a pour mesure $0,00001 \times P$.

En égalant ces deux diamètres apparents, on en déduit $P = \frac{0,003}{0,00001 \times D}$, ou $P = \frac{300}{D}$. Si la distance D est de $0^m,20$, la puissance est $\frac{300}{0,20}$, ou 1500.

— Quelle que soit la vue de l'observateur qui effectue cette détermination, l'expérience fournit toujours sensiblement la même valeur pour la puissance, car le nombre des divisions de la règle couvertes par

(*) On peut ainsi suivre avec la pointe d'un crayon, sur le papier, les contours des images, et en obtenir un dessin fidèle.

une division grossie du micromètre croît proportionnellement à la distance D.

574. Grossissement d'un microscope, pour une vue déterminée. — Pour le microscope, comme pour la loupe, on appelle *grossissement, pour un observateur déterminé*, le rapport du diamètre apparent sous lequel cet observateur voit, dans le microscope, une dimension déterminée de l'objet, à l'angle sous lequel il verrait cette même dimension à l'œil nu, à la distance minimum de sa vue.

Soit P la puissance du microscope, quantité caractéristique de l'instrument lui-même, et soit D la distance minimum de la vision distincte, pour l'observateur dont il s'agit. L'angle sous lequel une petite dimension z de l'objet est vue dans l'instrument a sensiblement pour mesure zP . L'angle sous lequel cet observateur verrait cette même dimension, à l'œil nu et à la distance D, a pour mesure $\frac{z}{D}$; il est d'autant plus grand que la distance D qui caractérise sa vue est plus petite. Le grossissement G, c'est-à-dire le rapport de ces deux angles, est donc exprimé, pour l'observateur dont il s'agit, par

$$G = P.D.$$

Les remarques que nous avons faites sur le grossissement produit par la loupe (568) s'appliquent donc au microscope. — Les observateurs les plus myopes (c'est-à-dire ceux pour lesquels la distance D a la plus petite valeur) sont ceux qui obtiennent, par l'emploi d'un microscope de puissance déterminée, le moindre accroissement du diamètre apparent sous lequel ils voient les objets à l'œil nu, à la même distance.

575. Champ du microscope. — Point oculaire. — Le *champ* d'un microscope est l'espace dans lequel doit être compris un point extérieur, pour que son image puisse être vue par l'œil placé à l'oculaire.

Soient W l'objectif (fig. 591), LL' l'oculaire, A un point de l'objet et A_1 son foyer conjugué par rapport à l'objectif. Les rayons qui concourent à la production de l'image A_1 forment, avant la réfraction, un faisceau divergent qui a pour sommet A et pour base W' ; après la réfraction, un faisceau convergent qui a pour base W' et pour sommet A_1 . Pour que le point A soit compris dans le champ, il suffira donc que ce dernier faisceau rencontre l'oculaire. Or le faisceau WA_1 est toujours formé de rayons qui s'écartent très peu de son axe cA_1 ; on peut donc dire que la condition, au moins approximative, pour que le point A soit compris dans le champ, c'est que la droite Ac , menée du point A au centre optique de l'objectif, aille rencontrer l'oculaire. — De là résulte enfin que, si l'on imagine un cône ayant son sommet au centre optique c de l'objectif et s'appuyant sur les bords de l'oculaire LL' , la nappé inférieure de ce cône sera la *limite du champ*.

Si maintenant on considère les rayons qui forment les axes des faisceaux lumineux correspondants aux divers points du champ, ces rayons, passant tous au centre optique c de l'objectif, se comportent comme s'ils émanaient du point c lui-même, et viennent ensuite, après avoir été réfractés par l'oculaire, passer par le foyer conjugué de c par rapport à LL' ; et comme la distance cC de l'objectif à l'oculaire est toujours assez grande par rapport à la longueur focale CF de l'oculaire, le foyer conjugué de c est situé très peu au delà du foyer F. — C'est donc en ce point que doit être placé le centre optique de l'œil, pour embrasser le champ tout entier. C'est pourquoi ce point reçoit le nom de *point oculaire*. — L'instrument porte un *œillet*, formé par une plaque métallique placée devant l'oculaire et percée d'une ouverture contre laquelle l'œil doit être appliqué.

576. Lunette astronomique. — La lunette astronomique comprend, comme le microscope composé, un *objectif* convergent, donnant une image réelle de l'objet, et un *oculaire* convergent, faisant fonction de loupe, et donnant une image virtuelle qui est contemplée par l'œil (*).

Quand la lunette astronomique est destinée à l'observation d'objets lumineux très éloignés, tels que les astres, l'objectif doit avoir une *surface* aussi grande que possible, afin d'admettre la plus grande quantité possible de lumière, contribuant à la formation de l'image réelle. Or, une lentille ne peut avoir une grande surface qu'à la condition d'avoir de grands rayons de courbure et, par suite, une *distance focale* considérable. — Il faut aussi remarquer que, quand on observe un objet de diamètre apparent sensible (une planète ou un objet terrestre), l'image réelle fournie par l'objectif, dans le plan focal principal, est d'autant plus grande que la distance focale de l'objectif est plus grande. — De là, la longueur qu'on est conduit à donner aux lunettes astronomiques, longueur d'autant plus grande que l'instrument est plus grossissant.

La figure 594 rend compte de la formation des images. Soient L l'objectif et L' l'oculaire; l'objet est supposé à gauche de L et très éloigné. L'image A_1B_1 , réelle, renversée, et très diminuée, se forme dans le plan focal principal de l'objectif: sur la figure, on s'est borné à tracer les axes secondaires ACA_1 et BCB_1 , de ses extrémités. L'oculaire L' , à travers lequel on regarde l'image aérienne A_1B_1 , a son foyer principal F un peu à gauche de cette image; il substitue à cette image une image virtuelle $A'B'$, droite par rapport à A_1B_1 , c'est-à-dire renversée par rapport à l'objet.

L'impossibilité où l'on est de changer la distance de l'objet à l'instrument, comme on le faisait pour le microscope, oblige ici à faire mouvoir l'oculaire, pour *mettre au point*. — L'objectif, formé par un système de

(*) L'invention de la *lunette astronomique* paraît due à Zacharias Jansen, et remonte aux dernières années du xvi^e siècle.

lentilles achromatiques, est assujéti en A, à l'extrémité d'un gros tube de métal AB (fig. 595); dans l'autre extrémité B, s'engagent deux

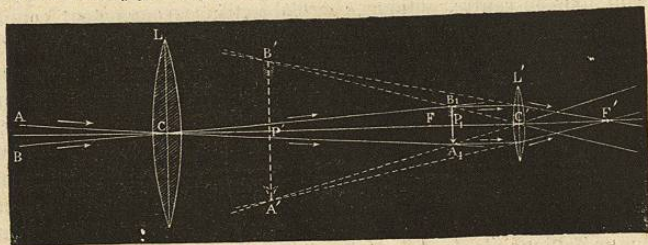


Fig. 594. — Formation des images dans la lunette astronomique.

tirages CD et EF, c'est-à-dire deux tubes de diamètres plus petits, dont le dernier porte l'oculaire F. Cet oculaire est toujours, comme dans le microscope, un *oculaire composé*. — Pour obtenir une image aussi parfaite que possible, on commence par faire glisser le tube EF dans le tube CD, jusqu'à ce que l'image apparaisse avec une certaine netteté; on achève ensuite de mettre au point, en imprimant au tube CD de petits

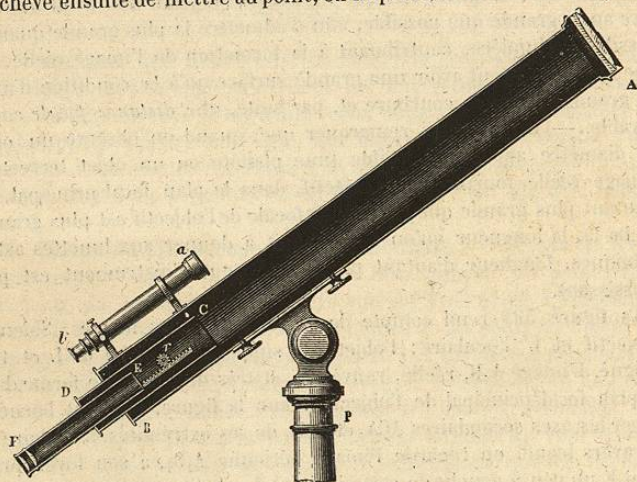


Fig. 595. — Lunette astronomique.

déplacements, au moyen de l'engrenage r qui correspond à un bouton extérieur.

577. Grossissement d'une lunette astronomique. — On appelle *grossissement* d'une lunette astronomique, le rapport du diamètre apparent de l'une des dimensions de l'image, vue dans l'instrument, au diamètre apparent de la dimension homologe de l'objet vu à l'œil nu.

Mais ici, la distance de l'objet ne pouvant pas varier au gré de l'observateur, il est nécessaire de considérer le diamètre apparent de l'objet tel qu'il est vu, sans instrument, *dans sa position réelle*.

Pour évaluer le diamètre apparent de la dimension $A'B'$ de l'image virtuelle vue au travers de l'oculaire (fig. 594), supposons que le centre optique de l'œil soit au *foyer principal* F' de la lentille (*). Le demi-diamètre apparent de l'image $A'B'$, ou l'angle $B'F'P'$, a pour mesure $\frac{B'P'}{F'P'}$ ou $\frac{L'C'}{F'C'}$; c'est-à-dire $\frac{B_1P_1}{f}$, en remarquant que $L'C'$ est égal à B_1P_1 , et en désignant par f la distance focale de l'oculaire; le diamètre apparent de l'image est donc exprimé par $\frac{A_1B_1}{f}$. — Pour évaluer le diamètre apparent de la dimension homologue AB de l'objet, vu sans instrument, nous supposons, eu égard à la grande distance de cet objet, que l'œil soit transporté au centre optique C de l'objectif: il voit alors la dimension AB sous l'angle ACB , dont la valeur est $\frac{A_1B_1}{C P_1}$, c'est-à-dire $\frac{A_1B_1}{F}$, en désignant par F la distance focale de l'objectif. Le grossissement linéaire G est donc exprimé par le rapport de $\frac{A_1B_1}{f}$ à $\frac{A_1B_1}{F}$, c'est-à-dire que l'on a

$$G = \frac{F}{f} (**).$$

Le grossissement est donc d'autant plus grand, que F est lui-même plus grand par rapport à f ; c'est là une remarque importante, sur laquelle nous reviendrons plus loin.

578. Mesure expérimentale du grossissement. — Pour mesurer le grossissement d'une lunette, on peut employer une sorte de chambre claire, analogue à celle qui nous a servi pour mesurer la puissance du microscope composé (575) et dont la figure 596 indique la disposition. On installe, à une grande distance de l'instrument, une échelle divisée; l'œil, placé comme l'indique la figure 596, voit l'échelle à travers la lunette, par l'ouverture du miroir m , tandis que les rayons réfléchis successive-

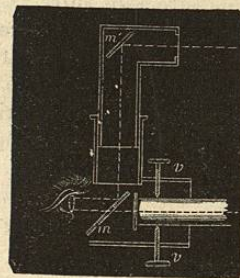


Fig. 596.

(*) On verra plus loin (580) que c'est cette position qu'il faut donner à l'œil, pour embrasser tout le champ de l'instrument.

(**) Lorsqu'on suppose, comme on le fait souvent, que le centre optique de l'œil se confond avec le *centre optique de l'oculaire*, on trouve, pour valeur du grossisse-

ment par les deux miroirs m' et m la font voir telle qu'elle apparaîtrait à l'œil nu. Le grossissement est donné par le nombre n de divisions, vues par réflexion, qui se superposent à une seule division vue à travers la lunette.

579. Réticule. — **Fixation de l'axe optique.** — Dans les recherches astronomiques, les lunettes servent surtout à déterminer exactement les *directions* dans lesquelles se trouvent les astres, par rapport à l'observateur, à un moment donné. Il est donc nécessaire de fixer, dans l'instrument lui-même, une *ligne de visée*.

Pour arriver à ce résultat, on place à l'intérieur du tube, dans le plan même où se forme l'image *réelle* fournie par l'objectif, un *réticule* (fig. 597), c'est-à-dire un diaphragme présentant une ouverture circulaire dans laquelle sont tendus deux fils très fins, perpendiculaires entre eux : ce sont ordinairement des fils d'araignée. — Pour viser un astre, on dirige la lunette de façon que l'œil, placé derrière l'oculaire, voie l'image de cet astre coïncider avec le point de croisement des fils. Il ne peut en être ainsi, que si l'astre lui-même est situé dans le prolongement de la droite qui passe par le point de croisement des fils et par le centre optique de l'objectif (527).



Fig. 597.
Réticule.

Par suite, le point de croisement des fils détermine, avec le centre optique de l'objectif, une droite qui doit être considérée comme liée à la lunette elle-même, et qui sert à définir la ligne de visée. — C'est cette droite qu'on nomme *l'axe optique* de la lunette (*).

Des cercles gradués, sur lesquels se meuvent les lunettes, servent à mesurer les angles dont on doit déplacer leur axe optique pour passer d'un astre à un autre.

580. Champ de la lunette. — **Point oculaire.** — Le *champ* d'une lunette astronomique est l'espace dans lequel doit être compris un point extérieur pour que son image soit visible dans la lunette. Il est limité par la nappe antérieure d'un cône ayant son sommet au centre optique de l'objectif, et s'appuyant sur les bords de l'ouverture circulaire du diaphragme (fig. 597).

Il en résulte que le champ est d'autant plus petit que la distance focale principale de l'objectif est plus grande, c'est-à-dire que le grossissement,

$G = \frac{CP_1}{C'P_1}$, ou $\frac{F}{C'P_1}$. Si, de plus, on suppose l'œil adapté pour la vision à une très grande distance, l'image A_1B_1 doit, pour être vue distinctement dans l'oculaire, être placée très près de son foyer. — C'est ce qu'on exprime quelquefois en disant que l'expression $\frac{F}{f}$ donne la valeur du grossissement pour un œil infiniment presbyte.

(*) La lunette du cathétomètre (fig. 20) n'est autre chose qu'une lunette astronomique, disposée pour la vision d'objets rapprochés; c'est, en quelque sorte, un instrument intermédiaire entre la lunette astronomique et le microscope composé. L'axe optique y est déterminé, comme dans la lunette astronomique, par un réticule placé dans le plan où se fait l'image réelle donnée par l'objectif.

sement de la lunette est plus considérable (577). Aussi est-il difficile, avec les lunettes très grossissantes, de trouver, sur la voûte céleste, un astre déterminé, faute de pouvoir amener simultanément dans le champ les autres astres qui serviraient de repères. C'est pourquoi on adjoint, aux grandes lunettes, une *lunette chercheur* ab (fig. 595), ayant un grossissement beaucoup moindre et un champ beaucoup plus grand. L'axe optique du chercheur est rendu sensiblement parallèle à celui de la grande lunette : lorsqu'il est pointé sur un astre déterminé, celui de la grande lunette l'est au moins approximativement, et cet astre apparaît dans le champ.

Il y a, dans la lunette astronomique comme dans le microscope, un *point oculaire*, c'est-à-dire un point par lequel passent les rayons de tous les points du champ : c'est le foyer conjugué, par rapport à l'oculaire, du centre optique de l'objectif (575); il se confond sensiblement avec le deuxième foyer F' de l'oculaire (fig. 594). L'œil, placé de manière que son centre optique soit en F' , voit le champ tout entier. — L'instrument porte, comme le microscope, un *ocillon*, formé par une plaque métallique placée devant l'oculaire et percée d'une ouverture contre laquelle l'œil doit être appliqué.

581. Divers systèmes d'oculaires composés, adaptés au microscope et à la lunette astronomique. — Les oculaires des microscopes et des lunettes sont toujours formés par un système de deux lentilles, constituant un *oculaire composé*. Une théorie complète montre que, si l'objectif de l'instrument est achromatique, c'est-à-dire s'il fournit une image réelle dénuée d'irisation, il est possible, par une disposition convenable des deux lentilles de l'oculaire composé, de faire en sorte que l'image virtuelle soit également dépourvue d'irisation. — Selon la position de ces lentilles par rapport à l'image fournie par l'objectif, le système prend le nom d'*oculaire négatif* ou d'*oculaire positif*.

1° L'*oculaire négatif* peut être considéré comme différant d'un oculaire simple LL' (fig. 598) par l'addition d'une seconde lentille L_1L_1' , placée entre l'objectif ll' et le plan où viendraient se former les images réelles : de là résulte que l'image réelle d'un point tel que m n'est plus au point m' , où l'objectif tendait à la former, mais en un point m_1' , situé entre le point m' et le centre optique C_1 : c'est ce point m_1' que l'on regarde au travers de la lentille LL' (*).

2° L'*oculaire positif* n'est autre chose qu'une *loupe composée*, formée de deux lentilles convergentes, qui sont situées l'une et l'autre au delà de l'image réelle donnée par l'objet. Cette image réelle peut donc ici se former; on la regarde au travers du système des deux verres.

Pour le microscope, on emploie généralement un oculaire *négatif* particulier, connu sous le nom d'*oculaire d'Huyghens* : dans cet oculaire, la dis-

(*) Cette lentille L_1L_1' est quelquefois désignée sous le nom de *verre de champ*, ou de *lentille collective*. On voit, en effet, que l'interposition de cette lentille ramène vers le centre C l'axe du faisceau provenant du point m qui vient rencontrer cette lentille. Il peut donc arriver que ce faisceau rencontre alors la lentille LL' , lors même que la droite cm' ne la rencontrerait pas. Par suite, la présence de la lentille L_1L_1' augmente le champ de l'instrument.

tance des deux lentilles est égale au double de la longueur focale de la lentille la plus voisine de l'œil, et aux deux tiers de celle de l'autre lentille. Cet

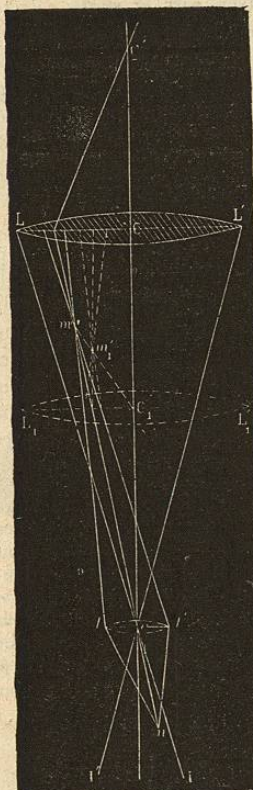


Fig. 598. — Oculaire négatif.

oculaire est celui qui donne le champ le plus vaste, pour une puissance déterminée du microscope. — On l'emploie aussi dans la lunette astronomique, mais seulement quand la lunette ne doit pas être pourvue d'un réticule.

Lorsque la lunette astronomique doit servir à viser dans une direction bien définie, l'axe optique doit avoir toujours une même direction, par rapport à l'instrument. Or, cette condition serait difficilement réalisée avec un oculaire négatif; le réticule devrait alors être placé dans le plan où se forme la deuxième image réelle m'_1 (fig. 598), afin que l'œil situé derrière la lentille LL' pût voir dans un même plan l'image virtuelle de m'_1 et l'image virtuelle du réticule; par suite, à chaque observation, les déplacements que l'on imprimerait à l'oculaire tout entier, pour mettre au point, auraient pour effet de modifier la direction de l'axe optique. — Le plus souvent, dans la lunette astronomique, on emploie un oculaire positif particulier, connu sous le nom d'*oculaire de Ramden*: il est formé de deux lentilles égales, séparées par une distance qui est les deux tiers de leur longueur focale commune.

582. Lunette terrestre. — Le renversement des images, qui n'a pas d'inconvénient dans les observations astronomiques, serait peu commode pour l'observation des objets terrestres. — On désigne sous le nom de *lunettes terrestres*, ou *longues-vues*, des lunettes qui diffèrent de la lunette astronomique par l'interposition, entre l'objectif et l'oculaire, d'un système

de lentilles ayant pour but de substituer, à l'image réelle et renversée qui est fournie par l'objectif, une autre image redressée, par rapport à laquelle l'oculaire fonctionne toujours comme une loupe. — Voici la disposition qui est le plus souvent adoptée.

Au delà de l'image réelle et renversée A_1B_1 (fig. 599) qui est fournie par l'objectif (l'objectif est supposé à gauche de la figure), on place une première lentille C_1 , à une distance de A_1B_1 moindre que sa distance focale principale C_1f_1 ; cette lentille substitue, à l'image réelle A_1B_1 , une image virtuelle A_2B_2 , qui est encore renversée par rapport à l'objet, et qui est plus grande que A_1B_1 . Au delà de C_1 est une seconde lentille C_2 , placée à une distance de A_2B_2 qui diffère peu

du double de sa distance focale principale; l'image A_2B_2 se comporte alors par rapport à cette lentille comme un objet, en sorte qu'elle donne en A_3B_3 une image réelle, renversée par rapport à A_2B_2 , c'est-à-dire redressée par rapport à l'objet, et dont la grandeur diffère peu de celle

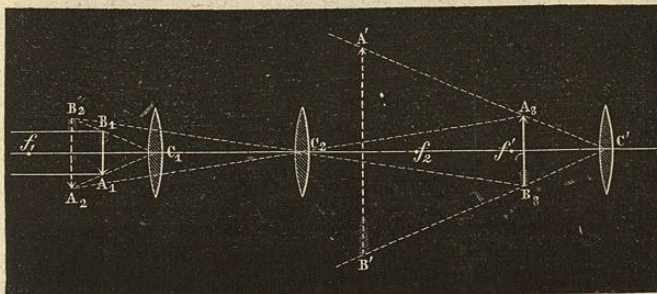


Fig. 599. — Oculaire terrestre.

de A_2B_2 . — C'est cette image redressée qu'on regarde au travers de la lentille oculaire C' , dont le foyer principal est en f' , de manière qu'elle fonctionne comme une loupe, substituant à l'image A_3B_3 une image virtuelle et grossie $A'B'$, droite par rapport à l'objet.

On donne le nom d'*oculaire terrestre* au système des trois lentilles C_1, C_2, C' , qui sont fixées dans un même tube, mobile à tirage, de manière à permettre la mise au point. — L'ensemble des deux lentilles C_1 et C_2 a reçu le nom de *véhicule* (*).

583. Lunette de Galilée. — La lunette de Galilée, dans laquelle l'oculaire est une lentille divergente, permet d'obtenir une image droite sans l'interposition de verres supplémentaires, qui sont toujours une cause de perte de lumière, soit par absorption, soit en raison des

(*) Le redressement de l'image pourrait être produit par l'emploi d'une seule lentille complémentaire C_2 , qui substituerait alors, à l'image réelle A_1B_1 fournie par l'objectif, une image réelle placée dans une position analogue à celle de A_2B_2 dans la figure 599. Mais il est facile de voir qu'il en résulterait une diminution considérable du champ. En effet, avec le système des deux lentilles C_1 et C_2 , le champ est approximativement mesuré par l'angle d'un cône ayant pour sommet le centre optique de l'objectif (supposé à gauche de la figure 599), et pour base la surface de la lentille C_1 ; si, pour redresser l'image, on n'employait que la lentille C_2 , la base du cône dont l'angle mesure le champ serait la surface de la lentille C_2 ; la base s'éloignant ainsi du sommet du cône, l'angle du cône serait notablement moindre. — Donc, en opérant le redressement au moyen d'un véhicule formé de deux lentilles, au lieu d'une seule, on a 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. 599), on emploie le plus ordinairement un système de deux lentilles fonctionnant comme un oculaire négatif (581, 1°). — Le système connu sous le nom d'*oculaire terrestre* comprend alors, en définitive, quatre lentilles, assujetties dans un même tube à tirage.

réflexions partielles qui se produisent à chacune de leur surface. — On va voir, en outre, que la longueur de l'instrument est beaucoup réduite.

La figure 400 indique la marche des rayons lumineux. Soit A_1B_1

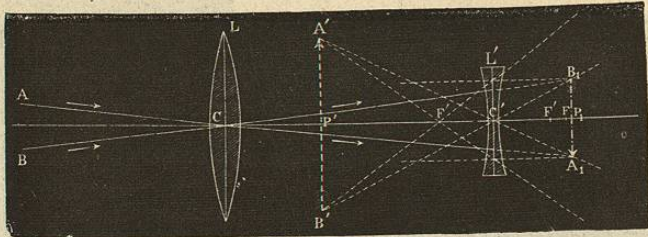


Fig. 400. — Lunette de Galilée.

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 $C'F'$, et cherchons ce que deviennent alors les rayons qui seraient venus concourir en A_1 . Considérons en particulier un rayon qui, passant par le point A_1 , tomberait sur l'oculaire parallèlement à l'axe principal : en traversant l'oculaire divergent, ce rayon serait réfracté de manière que son prolongement géométrique vint passer par le foyer principal virtuel situé

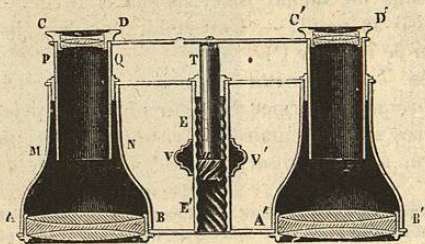


Fig. 401. — Lorgnettes jumelles.

en F' , à gauche de la lentille (554) : 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 déterminera 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 (*).

(*) Dans la lunette de Galilée, l'image de l'objectif formée par l'oculaire est virtuelle ; il n'existe donc pas, comme dans la lunette astronomique (580), une position de l'œil permettant de recevoir tous les rayons transmis par l'instrument. On a intérêt à placer l'œil le plus près possible de l'oculaire, afin de recevoir le plus grand nombre possible des rayons divergents qui en sortent. — Le champ varie avec la position de la pupille derrière l'oculaire.

584. Lorgnettes-jumelles. — Les lorgnettes de spectacle, ou jumelles, se composent de deux lunettes de Galilée, assujetties parallèlement. Les tubes qui portent les objectifs $AB, A'B'$ (fig. 401) sont réunis par des traverses, à leurs 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 au point pour les deux yeux. Il suffit, pour cela, de faire tourner sur lui-même le tube EE' , au moyen de la molette saillante VV' que l'on tient entre les doigts : le pas de vis pratiqué intérieurement sur la paroi de ce tube fait alors mouvoir dans un sens ou dans l'autre la tige T , qui est fixée à la traverse DC' (*).

585. Télescope de Newton. — On comprend sous le nom de télescopes, des instruments où la lentille objective, qui, dans les lunettes, reçoit la lumière des objets, est remplacée par un miroir concave.

Dans le télescope de Newton, un miroir sphérique concave MN (fig. 402) est fixé au fond d'un tube, de manière que son centre C soit

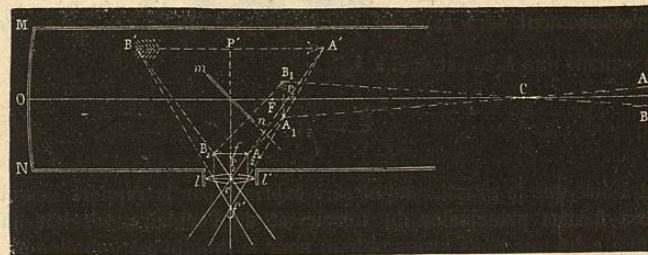


Fig. 402. — Télescope de Newton.

sur l'axe du tube. — L'axe du tube étant dirigé vers un objet, le miroir tendrait à 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 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 W , fonctionnant comme loupe, et fixé dans un tube à tirage, sur le côté du tube : en réglant le tirage, on amène l'image virtuelle $A'B'$ à apparaître nettement, pour la vue de l'observateur.

(*) Dans les bonnes lorgnettes, chacun des objectifs et des oculaires est ordinairement composé de trois lentilles, formant un système achromatique.

(**) Ici encore, on a supposé l'objet placé bien au delà des limites de la figure, et l'on s'est contenté de tracer les axes secondaires AC et BC , qui iraient passer par deux points extrêmes de l'objet : c'est sur ces axes que se trouvent les points correspondants A_1 et B_1 de l'image.