

rapport des angles BCF et CFD, qui convient au parallélisme des rayons rouges et des rayons violets, par exemple, n'étant pas celui qui convient aux rayons intermédiaires, il en résulte qu'avec deux prismes on ne peut en réalité achromatiser que deux des rayons du spectre. Pour obtenir l'achromatisme parfait, il faudrait sept prismes de substances inégalement dispersives et dont les angles réfringents seraient convenablement déterminés.

Quant à la réfraction, elle n'est pas corrigée en même temps que la dispersion, car il faudrait pour cela que la puissance réfractive des corps variât, comme l'avait supposé Newton, dans le même rapport que leur pouvoir dispersif, ce qui n'a pas lieu. Par conséquent, le rayon émergent EO ne sort pas parallèlement au rayon incident SI, et il y a déviation sans décomposition sensible.

Les lentilles achromatiques se forment de deux lentilles de substances inégalement dispersives. L'une A, de flint, est concave-convexe divergente (fig. 370); l'autre, B, de crown-glass, est biconvexe, et l'une de ses faces peut coïncider exactement avec la face concave de la première. Avec les lentilles, comme avec les prismes, il faudrait sept verres pour obtenir l'achromatisme parfait; mais deux suffisent dans tous les instruments d'optique, et on leur donne la courbure nécessaire pour achromatiser les rayons rouges et les rayons jaunes.

* 500. **Absorption de la lumière par les milieux transparents.** — On ne connaît pas de substance d'une transparence parfaite. Le verre, l'eau, l'air même, éteignent graduellement la lumière qui les traverse, et, sous une épaisseur suffisante, ces milieux peuvent l'affaiblir assez pour qu'elle n'agisse plus sur la rétine. On observe, en effet, qu'un grand nombre d'étoiles qui ne sont pas visibles, même par le ciel le plus pur, quand on est dans les plaines, le deviennent quand on s'élève sur les hautes montagnes.

Cette perte graduelle qu'éprouve la lumière en traversant les milieux diaphanes se nomme *absorption*; elle a pour cause la réflexion que subit la lumière sur les molécules des corps transparents. Si tous les rayons simples étaient également transmissibles à travers les milieux diaphanes, ceux-ci seraient incolores. Or, il n'en est jamais ainsi: ce qui montre que, comme les corps diathermanes ne se laissent pas traverser également par les différents rayons calorifiques (397), de même les corps diaphanes laissent passer plus facilement certains rayons lumineux que d'autres. Le milieu prend alors la couleur pour laquelle il est le plus diaphane. C'est pour cette raison que, sous une grande épaisseur, l'air paraît bleu; une lame de verre épaisse est verte. Le verre coloré en rouge par le protoxyde de cuivre ne laisse passer que les rayons rouges, et absorbe tous les autres, même sous une petite épaisseur.

Du reste, pour plusieurs milieux transparents, la coloration varie avec l'épaisseur. Par exemple, le perchlorure de chrome, qui est vert sous une faible épaisseur, devient rouge foncé sous une épaisseur plus grande. On nomme *polychromiques* les substances dont la teinte varie ainsi avec l'épaisseur. On explique ce phénomène en admettant que l'absorption n'est pas la même pour les sept couleurs simples.

C'est par un effet d'absorption que les rayons du soleil sont moins intenses quand cet astre est à l'horizon que lorsqu'il est au zénith, car l'épaisseur de l'atmosphère est alors bien plus considérable.

CHAPITRE V.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

501. **Divers instruments d'optique.** — On nomme *instruments d'optique*, des combinaisons de lentilles, ou de lentilles et de miroirs, qui peuvent se diviser en trois groupes, suivant les usages auxquels on les destine. 1° Les instruments qui ont pour objet d'amplifier les images des corps que leurs petites dimensions ne permettent pas d'observer à l'œil nu: ce sont les *microscopes*. 2° Les instruments qui servent à observer les astres ou les objets très-éloignés: ce sont les *télescopes* et les *lunettes*. 3° Les instruments propres à projeter, sur un écran, des images réduites ou amplifiées qui peuvent être utilisées dans l'art du dessin, ou montrées à de nombreux observateurs; tels sont: la *chambre claire*, la *chambre obscure*, le *daguerrotypage*, la *lanterne magique*, la *fantasmagorie*, le *mégascope*, le *microscope solaire* et le *microscope photo-électrique*. Les deux premiers groupes ne donnent que des images virtuelles, et le dernier que des images réelles, excepté la *chambre claire*.

INSTRUMENTS QUI GROSSISSENT LES OBJETS.

502. **Microscope simple.** — Les *microscopes*, comme on l'a déjà dit ci-dessus, sont des instruments destinés à augmenter la puissance de la vue en grossissant les objets. On en distingue deux: le *microscope simple* et le *microscope composé*.

Le *microscope simple*, ou *loupe*, est simplement une lentille convergente à court foyer, avec laquelle on regarde des objets placés en deçà de son foyer principal. Quoique nous ayons déjà donné la construction de l'image ainsi obtenue (481), nous la répétons ici, pour y ajouter quelques détails.

L'objet AB, que l'on veut observer, étant placé entre la lentille et son foyer principal F (fig. 378), on mène les axes secondaires AO et BO; puis, des points A et B, des rayons parallèles à l'axe. Or, on a vu (478, 2°) qu'à leur sortie de la lentille, ces rayons vont passer par le second foyer F', et que, sortant divergents par rapport aux axes secondaires, leurs prolongements vont couper ceux-ci en des points A' et B', qui sont les foyers virtuels des points A et B. On a donc en A'B' l'image droite, virtuelle et amplifiée de l'objet AB.

La position et la grandeur de cette image ne sont point fixes; elles varient avec la distance de l'objet au foyer. Par exemple, l'objet se rapprochant de la lentille, l'angle des axes secondaires augmente, et les rayons réfractés, prolongés, les coupent en $a'b'$. L'image est donc plus petite et rapprochée. Au contraire, si l'objet

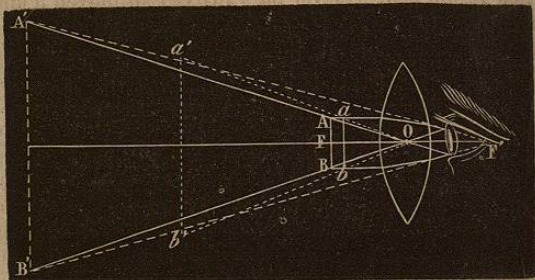


Fig. 372.

s'éloigne de la lentille, l'angle des axes secondaires diminue, et leur intersection par les prolongements des rayons réfractés ayant lieu au delà de $A'B'$, l'image est plus éloignée et plus grande. On peut donc toujours, en faisant varier la distance de la lentille à l'objet, éloigner ou rapprocher l'image. On va voir ci-après (503) que c'est à l'aide de cette propriété qu'on obtient la netteté des images dans les microscopes et les lunettes.

Les aberrations de réfrangibilité et de sphéricité sont d'autant plus grandes dans le microscope simple, qu'il est plus grossissant. On a déjà vu (499) que l'aberration de réfrangibilité se corrige au moyen de lentilles achromatiques, et celle de sphéricité à l'aide de diaphragmes qui ne laissent passer que les rayons voisins de



Fig. 373.

l'axe, rayons pour lesquels l'aberration de sphéricité est négligeable (485). On corrige encore ce genre d'aberration en faisant usage, non plus d'une seule lentille très-convergente, mais de deux lentilles plan-convexes superposées, leurs faces planes étant tournées vers l'objet qu'on regarde (fig. 373). Quoique chacune de ces lentilles soit moins convexe que la lentille simple qu'elles remplacent, leur système grossit autant, mais avec une aberration

moindre, parce que la première rapproche de l'axe les rayons qui tombent sur la seconde. Ce système de lentilles est connu sous le nom de *doublet de Wollaston*.

Pour faciliter l'emploi du microscope simple, M. Raspail lui a donné la disposition représentée dans la figure 374. Un support horizontal E, qui peut s'élever ou s'abaisser au moyen d'une crémaillère et d'un pignon à bouton D, porte un *ocillon* noir m , au centre duquel est enchâssée une lentille plus ou moins convexe. Au-dessous est le *porte-objet*, qui est fixe, et sur lequel, entre deux lames de verre b , est placé l'objet qu'on veut observer. Comme il est nécessaire que l'objet soit fortement éclairé, on reçoit la lumière diffuse de l'atmosphère sur un réflecteur concave de verre M, qu'on incline de manière que les rayons réfléchis viennent tomber sur l'objet. Pour se servir de ce microscope, on place l'œil très-près de la lentille, qu'on abaisse vers l'objet ou qu'on élève jusqu'à ce qu'on trouve la position où l'image apparaît avec le plus de netteté.

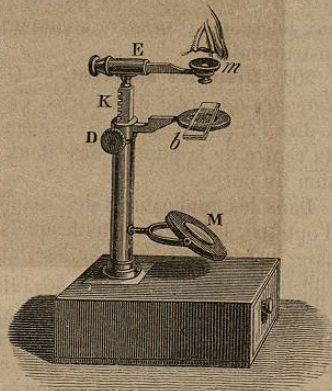


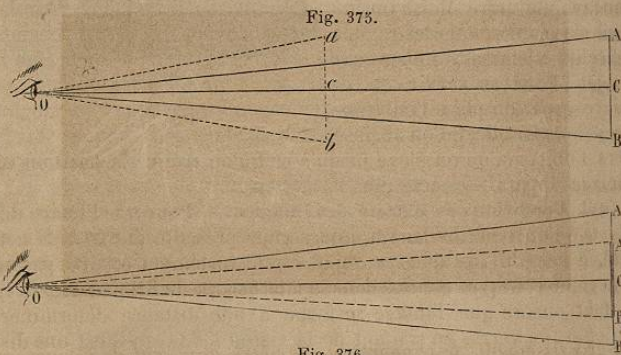
Fig. 374.

503. **Conditions de netteté des images.** — Pour que l'image des objets qu'on regarde dans le microscope présente une grande netteté, il ne suffit pas que ces objets soient fortement éclairés par un réflecteur concave, comme dans le microscope de Raspail (fig. 374), il faut encore que l'image se forme à une distance déterminée. En effet, on verra, en traitant de la vision (533), qu'il est une distance à laquelle l'œil voit plus nettement qu'à toute autre, et qu'à cause de cela on désigne sous le nom de *distance de la vue distincte*. Elle varie avec les individus; mais pour un œil bien conformé, elle est comprise dans les limites de 25 à 30 centimètres. C'est donc à environ 25 ou 30 centimètres de l'œil que doit se former l'image. D'où l'on voit que pour chaque observateur il faut *mettre au point*, c'est-à-dire adapter le microscope à la distance de la vue distincte de celui qui observe. Or, c'est ce qu'on obtient toujours en faisant varier très-peu la distance de la lentille à l'objet, car on a vu précédemment (fig. 372) qu'un léger déplacement de l'objet en imprime un très-grand à l'image. Avec la loupe,

qu'on tient à la main, on obtient immédiatement ce résultat en l'écartant ou l'approchant de l'objet. Dans le microscope de Raspail (fig. 374) et dans le microscope composé (fig. 379), les lentilles étant fixes, c'est l'objet qu'on éloigne ou qu'on rapproche, en faisant mouvoir le porte-objet. Tout ce qu'on vient de dire de la mise au point dans les microscopes, s'applique aux lunettes et aux télescopes; on verra comment elle s'obtient, en traitant de ces instruments.

504. **Diamètre apparent.** — On nomme *grandeur apparente* ou *diamètre apparent* d'un corps, l'angle sous lequel on le voit, c'est-à-dire l'angle AOB (fig. 375) formé par deux rayons visuels menés du centre de la pupille aux deux extrémités d'une même dimension du corps.

Dans les applications des diamètres apparents aux instruments d'optique, les angles sous lesquels on voit les objets sont toujours assez petits pour qu'on puisse, aux arcs qui mesurent ces angles, substituer leurs tangentes. Le rapport de deux angles est alors le



même que celui de leurs tangentes. Cela admis, il en découle les deux principes suivants :

I — Pour un même objet, vu à des distances inégales, le diamètre apparent est en raison inverse de la distance à l'œil de l'observateur.

II — Pour deux objets, vus à la même distance, le rapport des diamètres apparents est le même que celui des grandeurs absolues.

On va voir ci-après l'application de ces principes à la mesure du grossissement dans les instruments d'optique.

Pour les démontrer théoriquement, supposons que l'objet AB (fig. 375) soit transporté en *ab*, à une distance telle, que *Oc* soit la moitié de *OC*. D'après un

théorème connu de trigonométrie, les deux triangles rectangles ACO et *acO* fournissent les égalités

$$\text{tang } AOC = \frac{AC}{CO}, \text{ et } \text{tang } aOc = \frac{ac}{cO}.$$

Or, $ac = AC$, et $cO = \frac{CO}{2}$; donc $\text{tang } aOc$ est double de $\text{tang } AOC$, et, par suite, l'angle *aOc* est double de *AOC*; d'où l'on voit qu'à une distance deux fois moindre, le diamètre apparent est deux fois plus grand. On trouverait de même qu'à une distance trois fois plus petite, il est triple; ce qui démontre le premier principe.

Pour démontrer le second, soient deux objets AB et A'B' (fig. 376) situés à la même distance de l'observateur, et supposons l'œil placé sur une droite OC perpendiculaire sur le milieu de AB. Si l'on prend OC pour unité, les droites AC et A'C représentent immédiatement les tangentes des angles AOC et A'OC; on a donc, d'après ce qui a été dit plus haut, $\frac{AOC}{A'OC} = \frac{AC}{A'C}$, ou, en doublant les deux termes de chaque rapport, $\frac{AOB}{A'OB'} = \frac{AB}{A'B'}$, égalité qui est l'expression du deuxième principe énoncé ci-dessus.

505. **Mesure du grossissement.** — Dans le microscope simple, et dans les divers instruments d'optique, on prend pour mesure

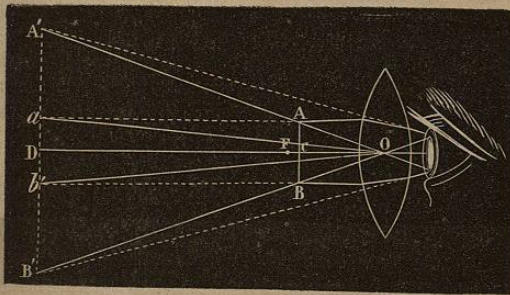


Fig. 377.

du grossissement, le rapport du diamètre apparent de l'image au diamètre apparent de l'objet, supposés placés tous les deux à la même distance, celle de la vue distincte. Mais, dans chaque instrument, il importe de chercher une expression du grossissement plus facile à déterminer.

Considérons d'abord la loupe, soient AB l'objet qu'on observe, et A'B' son image (fig. 377). Si l'on projette AB sur A'B', en *ab*, le grossissement, d'après la définition qui précède, est le rapport des

deux angles A'OB' et *aOb*. Or, on a vu (504) que $\frac{A'OB'}{aOb} = \frac{A'B'}{ab} = \frac{A'B'}{AB}$ [1], puisque $ab = AB$; mais A'B' est la grandeur absolue de

l'image et AB celle de l'objet; donc on peut aussi dire que, dans le microscope simple, le grossissement est le rapport de la grandeur de l'image à celle de l'objet.

Cela posé, les deux triangles semblables A'OB' et AOB fournissent l'égalité $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OD}{OC}$, dans laquelle OD est la distance de la vue distincte d , et OC approximativement la distance focale f de la lentille; on peut donc poser $\frac{A'B'}{AB} = \frac{d}{f}$; c'est-à-dire que dans le microscope simple on a pour valeur approchée du grossissement le rapport de la distance de la vue distincte à la distance focale principale de la lentille. D'où l'on conclut que le grossissement est d'autant plus fort : 1° que la lentille est à plus court foyer, c'est-à-dire qu'elle est plus convergente; 2° que la distance de la vue distincte de l'observateur est plus grande.

Des lentilles de rechange permettent de varier le grossissement, mais dans de certaines limites, si l'on veut conserver à l'image toute sa netteté : avec le microscope simple, on obtient un grossissement très-net jusqu'à 120 fois en diamètre.

Le grossissement qu'on vient de considérer est le grossissement en diamètre, ou le grossissement linéaire. Le grossissement superficiel égale le carré du grossissement linéaire. Par exemple, si celui-ci est 40, le grossissement superficiel est 1600.

506. **Microscope composé.** — Le microscope composé, réduit à son plus grand degré de simplicité, est formé de deux verres len-

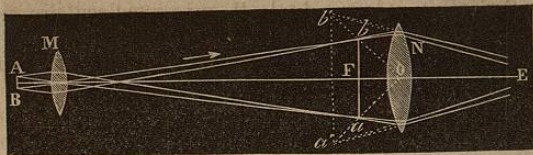


Fig. 378.

ticulaires convergents, l'un à court foyer, nommé *objectif*, parce qu'il est tourné vers l'objet; l'autre, qui est moins convergent, se nomme *oculaire*, parce qu'il est près de l'œil de l'observateur.

La figure 378 représente la marche des rayons lumineux et la formation de l'image dans le microscope composé réduit à deux verres. Un objet AB étant placé très-près du foyer principal de l'objectif M, mais un peu au delà par rapport à ce verre, une image ab réelle, renversée et déjà amplifiée, va se former de l'autre côté de l'objectif (481, 1°). Or, la distance des deux verres M et N est

telle, que le lieu de l'image ab se trouve entre l'oculaire N et son foyer F. Il résulte de là que pour l'œil placé en E, qui regarde cette image avec l'oculaire, ce dernier verre produit l'effet du microscope simple, ou loupe (481, 2°), et substitue à l'image ab une seconde image $a'b'$, qui est virtuelle et amplifiée de nouveau. Cette deuxième image, droite par rapport à la première, est renversée par rapport à l'objet. On peut donc dire, en dernière analyse, que le microscope composé n'est autre chose qu'un microscope simple, appliqué, non plus à l'objet, mais à son image déjà amplifiée par une première lentille.

507. **Microscope composé d'Amici.** — Nous n'avons fait connaître ci-dessus que le principe du microscope composé; il nous reste à décrire cet appareil et ses principaux accessoires. Inventé vers la fin du xvi^e siècle, il a reçu successivement de nombreux perfectionnements. Les plus importants ne datent que d'une quarantaine d'années, et sont dus principalement à Amici, en Italie, et à Charles Chevalier, en France.

La figure 379 représente, dans ses parties essentielles, le microscope connu sous le nom de *microscope d'Amici*, ou *microscope de Ch. Chevalier*. Dans les anciens microscopes, le tube H, dans lequel est l'oculaire, était toujours vertical, et les lentilles n'étaient pas achromatiques. C'est Amici qui, le premier, adopta une disposition qui permet de placer le tube horizontal ou vertical à volonté; et c'est Ch. Chevalier qui, le premier, en 1823, appliqua les lentilles achromatiques au microscope. Le dessin ci-après représente le microscope dans la position horizontale, qui fatigue moins la vue; mais il peut aussi se placer verticalement. Pour cela, le tube coudé G s'enlève, et le grand tube H, qui porte l'oculaire, se monte à sa place sur l'objectif E. Enfin, on peut encore donner au microscope une position inclinée. A cet effet, on retire un boulon m , qui fixe l'appareil à sa partie inférieure, et on fait mouvoir tout le système sur une charnière a , qui lie le microscope à une colonne cylindrique qui lui sert de support.

Sur une tige rectangulaire parallèle à cette colonne est le *porte-objet* B. Celui-ci peut s'élever ou s'abaisser au moyen d'un petit pignon qui engrène dans une crémaillère, et qu'on fait marcher à l'aide d'un bouton D. L'objet o qu'on veut observer est placé entre deux lames de verre C posées sur le porte-objet. Un réflecteur concave M, de verre, reçoit la lumière diffuse de l'atmosphère et la réfléchit sur l'objet, qui se trouve ainsi fortement éclairé, condition indispensable à cause du grossissement. Le porte-objet est percé, à son centre, d'une ouverture qu'on aperçoit au travers des lames C, et qui laisse passer la lumière renvoyée par le réflecteur. C'est en

élevant ou en abaissant lentement le porte-objet qu'on obtient la mise au point, c'est-à-dire qu'on imprime à l'image réelle bc un léger déplacement (fig. 378), jusqu'à ce que l'image virtuelle $b'c'$ se forme à la distance de la vue distincte (503).

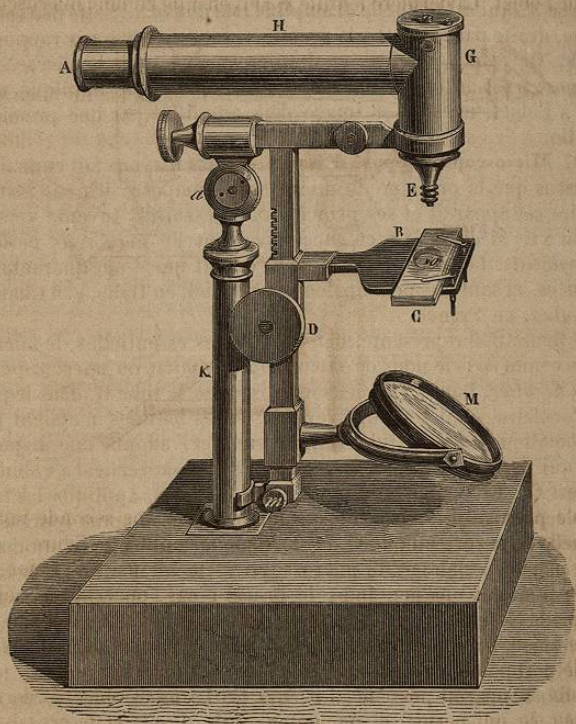


Fig. 379 (h = 25).

La figure 380 montre la position des verres et la marche des rayons dans le microscope. L'objectif E est formé d'une, de deux ou de trois lentilles achromatiques, comme celle qui est représentée en M, dont les distances focales principales sont de 8 à 10 millimètres, et qui équivalent à une lentille unique, d'une distance focale de 2 millimètres environ. L'oculaire est formé de deux lentilles plan-convexes m et n . Quant à la marche de la lumière, elle est facile à suivre. Les rayons lumineux, après s'être réfléchis sur le miroir M, viennent concourir vers l'objet o , et de là se dirigent vers l'objectif E. Après l'avoir tra-

versé, ils rencontrent un prisme rectangle p , de cristal, sur l'hypoténuse duquel ils subissent la réflexion totale (467). Prenant alors la direction du tube AB, les rayons lumineux vont tomber sur la lentille n , et forment au delà une image bc réelle et amplifiée de l'objet. La dernière lentille m agit ensuite comme microscope

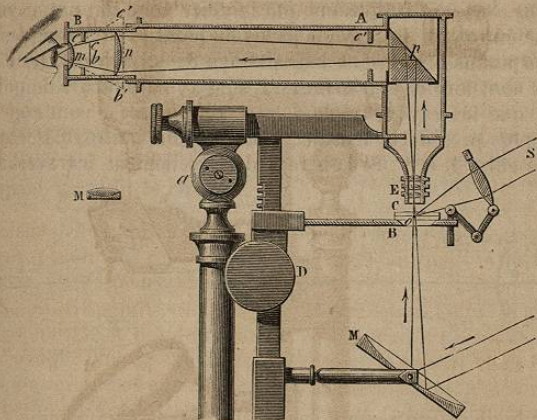


Fig. 380.

simple pour substituer à cette première image une seconde image virtuelle et encore amplifiée $b'c'$, comme le montre la figure.

Le mode d'éclairage du microscope varie selon que l'objet est transparent ou opaque. Dans le premier cas, on éclaire l'objet, comme ci-dessus, au moyen d'un réflecteur placé au-dessous du porte-objet; dans le second, on fait usage d'une lentille soutenue par le porte-objet, et qui concentre les rayons S sur l'objet.

Enfin, l'appareil possède plusieurs oculaires et objectifs de rechange, ce qui permet d'augmenter ou de diminuer le grossissement. On obtient aussi un grossissement plus faible en supprimant une des lentilles de l'objectif et même deux.

508. **Achromatisme du microscope, oculaire de Campani.** — Dans le microscope composé, réduit à deux verres, comme on l'a supposé dans la figure 378, non-seulement il se produirait une forte aberration de sphéricité, mais les images seraient irisées sur les bords par un effet de dispersion (498), et le seraient d'autant plus, que le microscope serait plus grossissant. C'est pour corriger ces aberrations que l'objectif et l'oculaire ne sont pas simples, mais composés de plusieurs verres, comme le représente la figure 380,

dans laquelle non-seulement l'objectif est formé de trois petites lentilles achromatiques, mais l'oculaire se compose de deux lentilles n et m , dont la première suffit seule pour produire l'achromatisme, lorsque le microscope n'est pas très-grossissant.

En effet, soient ab l'objet qu'on observe, O l'objectif et O' l'oculaire (fig. 381), et supposons que le verre n ne soit pas encore interposé entre eux. Les rayons partis du point b , par exemple, étant plus ou moins dispersés à leur passage dans l'objectif, les rayons rouges vont former leur foyer en R sur l'axe secondaire du point b ; tandis que les rayons violets, plus réfringibles, vont concourir en V , plus près de la lentille; puis les cinq autres faisceaux du spectre entre R et V . Si l'on regarde actuellement, à travers l'ocu-

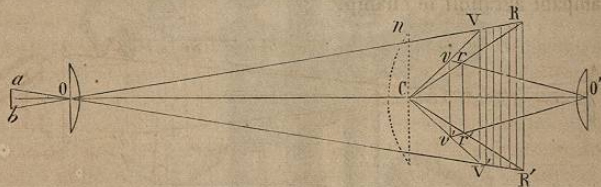


Fig. 381.

laire O' , les sept zones colorées $VRV'R'$, les couleurs se superposant dans la partie centrale, celle-ci paraît blanche, tandis que les bords sont colorés en rouge et en orangé; mais qu'on interpose la lentille n , et la coloration disparaît. En effet, ayant tiré les axes secondaires CR , CR' , CV et CV' , on sait qu'en sortant de la lentille n , les rayons rouges iront former leur foyer en r , sur l'axe secondaire CR , et les rayons violets en v , plus près de la lentille. Or, en combinant convenablement les courbures des lentilles n et O' , et tout en conservant à la dernière une distance telle, que l'image se fasse toujours à la distance de la vue distincte, on arrive à obtenir que les foyers v et r soient en ligne droite avec le centre optique de l'oculaire. Les autres faisceaux colorés formant d'ailleurs leurs foyers très-sensiblement sur la ligne vr , lorsqu'on regarde à travers l'oculaire les sept faisceaux, ceux-ci étant vus sous le même angle, il y a recombinaison de la lumière, et toute coloration cesse.

Le verre n , qu'on nomme *lentille de champ*, ou *oculaire de Campani*, produit donc l'achromatisme. De plus, en rapprochant les rayons de l'axe, il diminue l'aberration de sphéricité; enfin, on va voir qu'il augmente encore le *champ* du microscope.

509. **Champ dans les instruments d'optique.** — Dans le micro-

scope et dans les autres instruments d'optique, le *champ* est l'espace angulaire dans lequel sont compris tous les points visibles à travers l'oculaire. Il est limité par la surface conique qui a pour sommet le centre optique de l'objectif, et pour base l'ouverture du diaphragme pq placé en avant de l'oculaire (fig. 382). En prolongeant cette surface de l'autre côté de l'objectif, en aob , on détermine quelle est la partie visible de l'objet AB , ou le *champ*.

L'objet ayant une certaine étendue, la figure montre qu'on n'en voit qu'une partie tant que le verre n n'est pas interposé; mais si l'on ajoute celui-ci, des rayons tels que Bop , qui étaient interceptés par le diaphragme, sont déviés vers l'oculaire, et le point B , qui n'était pas visible, le devient; d'où l'on voit que l'oculaire de Campani agrandit le champ.

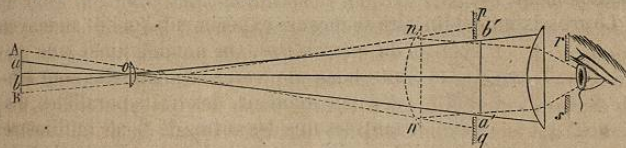


Fig. 382.

La grandeur du champ varie avec l'ouverture du diaphragme et avec sa distance à l'objectif. Plus cette distance est grande, plus le champ est petit. Il diminue aussi quand le grossissement augmente; car plus l'oculaire est convergent, plus son diamètre est petit, et plus est resserré le faisceau qui le traverse. Enfin, la position de l'œil a aussi de l'influence sur l'étendue du champ. En effet, à leur sortie de l'oculaire, il y a un point où les rayons vont converger, c'est le *point oculaire*. Or, c'est là que doit être placé l'œil pour embrasser tout le champ. Plus près ou plus loin, il ne recevrait qu'une partie des rayons qui sortent de l'instrument. Pour fixer la position de l'œil, on place en avant de l'oculaire un *ailleton noir* rs , percé d'une ouverture centrale, de manière que l'œil placé devant cette ouverture se trouve juste au point oculaire.

510. **Grossissement du microscope composé, micromètre.** — Dans le microscope composé, comme dans le microscope simple, le grossissement est le rapport du diamètre apparent de l'image au diamètre apparent de l'objet, supposés placés l'un et l'autre à la même distance, celle de la vue distincte; ou, ce qui revient au même (504, principe II), le grossissement est le rapport de la grandeur absolue de l'image à celle de l'objet.

Il est facile de reconnaître que ce grossissement est le produit

du grossissement de l'objectif par celui de l'oculaire. En effet, si l'on se reporte à la figure 378, le grossissement de l'objectif est $\frac{ab}{AB}$, et celui de l'oculaire $\frac{a'b'}{ab}$. Or le produit de $\frac{ab}{AB}$ par $\frac{a'b'}{ab}$ est $\frac{a'b'}{AB}$, qui est bien le grossissement total.

En s'appuyant sur les principes relatifs aux diamètres apparents (504), on pourrait exprimer le grossissement $\frac{a'b'}{AB}$ en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire, et des distances de l'objet et de l'image à ces deux verres; mais le grossissement ne pourrait se calculer ainsi qu'assez péniblement et avec peu de précision; c'est pourquoi on préfère le déterminer expérimentalement.

Le grossissement linéaire se mesure expérimentalement au moyen du *micromètre*. On nomme ainsi une petite lame de verre sur laquelle sont tracés, au diamant, des traits parallèles, distants les uns des autres de $\frac{1}{100}$ de millimètre. Le micromètre se place au-devant de l'objectif, à la place de l'objet; puis, au lieu de recevoir directement dans l'œil les rayons qui émergent de l'oculaire O, on les reçoit sur une lame de verre à faces parallèles A (fig. 383), inclinée de 45 degrés; et l'on place l'œil au-dessus, de manière à voir l'image des traits du micromètre se

former, par réflexion, sur une échelle divisée en millimètres, qui est tracée sur un écran E. Comptant alors le nombre de divisions de l'échelle qui correspond à un certain nombre de traits de l'image, on en déduit le grossissement. Par exemple, si l'image occupe, sur l'échelle, 45 millimètres, et comprend 15 traits du micromètre, en supposant que l'intervalle de ceux-ci soit de $\frac{1}{100}$ de millimètre, la grandeur absolue de l'objet sera de $\frac{15}{100}$ de millimètre, et celle de l'image étant de 45 millimètres, le grossissement sera le quotient de 45 par $\frac{15}{100}$, ou 300. Dans cette expérience, l'œil doit être écarté de l'écran E d'une distance égale à celle de la vue distincte, distance qui varie d'un observateur à un autre, mais qui, comme on l'a déjà vu, est de 25 à 30 centimètres. Le grossissement du microscope se détermine aussi à l'aide de la chambre claire, qui sera décrite plus tard (517).

Une fois le grossissement d'un microscope connu, il est facile d'en déduire la grosseur absolue des objets placés au-devant de

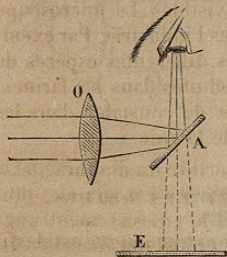


Fig. 383.

l'objectif. En effet, le grossissement étant le quotient de la grandeur de l'image par la grandeur de l'objet, il s'ensuit que pour avoir la grandeur de ce dernier, il n'y a qu'à diviser la grandeur de l'image par le grossissement: c'est ainsi qu'on peut trouver, par exemple, le diamètre des globules du sang, et, en général, de tous les objets microscopiques. Le grossissement a été porté jusqu'à 4500 en diamètre, et même au delà; mais alors l'image perd en clarté ce qu'elle gagne en étendue. Pour obtenir des images nettes et bien éclairées, le grossissement linéaire ne doit pas dépasser 500 à 600.

511. **Applications du microscope.** — Le microscope a été la source des découvertes les plus curieuses en botanique, en zoologie, en physiologie. Des animaux dont l'existence était restée jusqu'alors inconnue ont été observés dans le vinaigre, dans la pâte de farine, dans les fruits secs, dans certains fromages; la circulation et les globules du sang sont devenus visibles. Le microscope offre aussi de nombreuses applications dans l'industrie. Par exemple, il donne le moyen de reconnaître les différentes espèces de féculs, les falsifications trop souvent introduites dans les farines, dans les chocolats, etc.; il permet encore de constater dans les étoffes la présence du coton, de la laine, de la soie.

INSTRUMENTS QUI RAPPROCHENT LES OBJETS.

512. **Lunette astronomique.** — La *lunette astronomique* est destinée à l'observation des astres; réduite à sa plus simple expression, elle se compose, de même que le microscope, d'un objectif

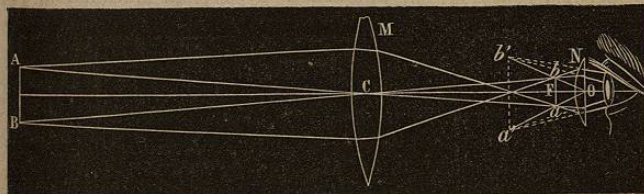


Fig. 384.

et d'un oculaire convergents. L'objectif M (fig. 384) donne de l'astre qu'on regarde une image renversée ab , placée entre l'oculaire N et son foyer principal, et cet oculaire, qui fait l'office de loupe, donne ensuite une image $a'b'$ virtuelle, droite et amplifiée de l'image ab . La lunette astronomique a, comme on voit, beaucoup d'analogie avec le microscope; mais ces instruments présentent

cette différence que, dans le dernier, l'objet étant très-près de l'objectif, l'image se forme beaucoup au delà du foyer principal et déjà amplifiée, en sorte qu'il y a grossissement par l'objectif et par l'oculaire; tandis que dans la lunette astronomique, l'astre qu'on regarde étant très-éloigné, les rayons incidents sont parallèles, et l'image va se former au foyer principal de l'objectif infiniment plus petite que l'objet. Il ne peut donc y avoir grossissement que par l'oculaire; c'est pourquoi ce verre doit être très-convergent.

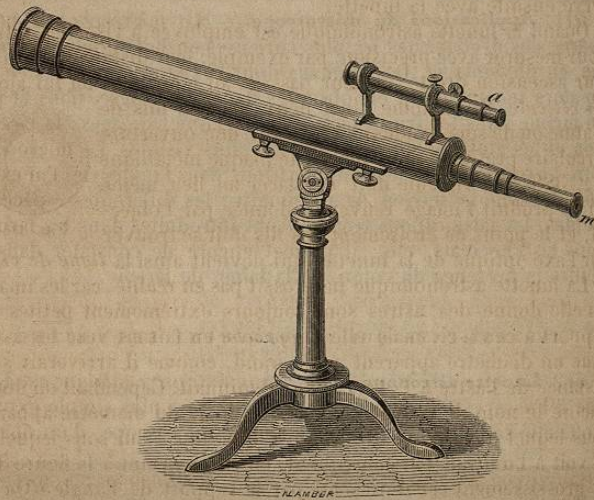


Fig. 385.

La figure 385 représente une lunette astronomique montée sur pied. Elle se compose d'un long tuyau de laiton, noirci à l'intérieur, afin de détruire toute réflexion qui renverrait vers l'oculaire d'autres rayons que ceux qui viennent de l'astre qu'on observe. A l'extrémité la plus large est l'objectif, qui est à grand diamètre et achromatique. A l'autre extrémité est un tuyau *m*, court et à petit diamètre, dans lequel est l'oculaire. Ce tuyau peut s'enfoncer plus ou moins dans le tuyau principal; ce qui donne le moyen de rapprocher ou d'écarter l'oculaire de l'image réelle *ab* fournie par l'objectif (fig. 384). On obtient ainsi la mise au point en portant à la distance de la vue distincte l'image virtuelle *a'b'*. Pour les presbytes, on enfonce l'oculaire davantage; on le tire pour les myopes. Quant à la composition de l'oculaire, elle est la même que dans le

microscope composé (fig. 380) : un premier verre remplissant l'office d'oculaire de Campani, et un deuxième celui de loupe. L'image qu'on obtient dans la lunette est renversée, mais cela ne présente aucun inconvénient pour l'observation des astres.

Au-dessus du tuyau principal est une petite lunette *a* qu'on nomme *chercheur*. Les lunettes d'un grand pouvoir amplifiant, ayant peu de champ, ne sont pas d'un usage commode pour chercher un astre; c'est pourquoi on regarde d'abord avec le chercheur, qui grossit moins, mais qui a plus de champ; puis on observe ensuite avec la lunette.

Quand la lunette astronomique est employée à viser les astres, pour mesurer avec précision, par exemple, leur distance zénithale, leur ascension droite, ou leur passage au méridien, on lui ajoute un *réticule*. On nomme ainsi deux fils très-fins de platine ou de soie, tendus en croix sur une ouverture circulaire pratiquée dans une petite plaque métallique (fig. 386). Le réticule doit se placer au lieu même où se produit l'image renversée donnée par l'objectif, et le point de croisement des fils doit se trouver sur l'axe optique de la lunette, qui devient ainsi la *ligne de visée*.



Fig. 386.

La lunette astronomique ne grossit pas en réalité, car les images qu'elle donne des astres sont toujours extrêmement petites par rapport à ceux-ci; mais elle *rapproche* en faisant voir les astres sous un diamètre apparent plus grand, comme il arriverait si la distance de l'astre à l'observateur diminuait. Cependant on donne encore le nom de grossissement au rapport du diamètre apparent sous lequel on voit l'astre dans la lunette à celui sous lequel on le voit à l'œil nu. Par conséquent, en se reportant à la figure 384, le grossissement est représenté par le rapport de l'angle *b'Oa* ou *bOa*, sous lequel on voit l'image, à l'angle *bCa = ACB*, sous lequel on voit l'astre à l'œil nu; car il est évident que, vu la distance de l'astre, son diamètre apparent est le même, que l'œil soit en C ou en O. Or, on sait (504, principe 1) que les deux angles *bOa* et *bCa*, qui correspondent à la même dimension *ba*, sont en raison inverse des distances OF et CF; donc $\frac{bOa}{ACB} = \frac{CF}{OF}$. C'est-à-dire que dans la

lunette astronomique, le grossissement a pour mesure le rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire, en admettant que les deux foyers coïncident. Le grossissement est donc d'autant plus fort, que l'objectif est moins convergent et que l'oculaire l'est davantage. On voit en même temps que la longueur de la lunette égale la somme des distances focales de l'oculaire et de l'objectif; d'où il résulte qu'elle est d'autant plus longue, que la

distance focale est plus grande, c'est-à-dire que le pouvoir amplifiant est plus fort. Dans une bonne lunette, le grossissement ne dépasse pas 1000, et la longueur de l'instrument atteint alors 8 mètres.

513. **Lunette terrestre.** — La *lunette terrestre*, ou *longue-vue*, ne diffère de la lunette astronomique que parce que les images sont redressées. Ce redressement s'obtient à l'aide de deux verres convergents P et Q (fig. 387), placés entre l'objectif et l'oculaire. L'objet étant supposé en AB, à une plus grande distance que ne peut le représenter le dessin, son image va se former, renversée et très-petite, en *ba*, de l'autre côté de l'objectif. Or, la seconde lentille P est à une distance telle, que son foyer principal coïncide avec l'image *ab*; d'où il résulte que les rayons lumineux qui passent en *b*, par exemple, prennent, après avoir traversé la lentille P, une direction parallèle à l'axe secondaire *bO* (478 et 479). De même,

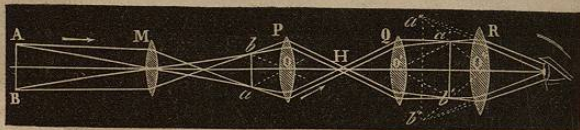


Fig. 387.

les rayons qui passent en *a* prennent une direction parallèle à l'axe *aO*. Après s'être croisés en H, ces divers rayons traversent une troisième lentille Q dont le foyer principal coïncide avec le point H. Le faisceau *BbH* va donc concourir en *b'* sur un axe secondaire *O'b* parallèle à sa direction; le faisceau *AaH* allant de même concourir en *a'*, il se produit en *a'b'* une image redressée de l'objet AB. C'est cette image qu'on regarde, de même que dans la lunette astronomique, avec un oculaire convergent R, placé de manière qu'il se comporte comme une loupe, c'est-à-dire que sa distance à l'image *a'b'* soit moindre que sa distance focale principale; d'où il résulte qu'il donne en *a''b''* une image virtuelle, droite et amplifiée de l'image *a'b'*. Les lentilles P et Q, qui ne servent qu'à redresser l'image, sont fixées dans un tube de cuivre, à une distance constante et égale à la somme de leurs distances focales principales. Quant à l'objectif M, il est mobile dans un tube, et peut s'approcher ou s'écarter de la lentille P, afin que l'image *ab* vienne toujours se former au foyer de cette lentille, quelle que soit la distance de l'objet qu'on regarde. La distance de la lentille R peut aussi varier de manière que l'image *a''b''* se fasse à la distance de la vue distincte.

La lunette terrestre peut servir comme lunette astronomique; mais il faut pour cela un oculaire de rechange, celui-ci devant être plus grossissant dans la dernière lunette que dans la première.

Toutefois les astronomes préfèrent la lunette à deux verres, parce qu'elle absorbe moins de lumière.

Dans la lunette terrestre, le grossissement est le même que dans la lunette astronomique, en supposant toutefois que les verres redresseurs P et Q soient de même convexité.

514. **Lunette de Galilée.** — La *lunette de Galilée*, ou *lunette de spectacle*, est la plus simple des lunettes, car elle ne se compose que de deux verres, un objectif convergent M et un oculaire divergent R (fig. 388), et donne immédiatement une image redressée.

L'objet étant représenté par la droite AB, son image tend à aller se former en *ba*, renversée, réelle et plus petite; mais en traversant l'oculaire R, les rayons émis des points A et B se réfractent en s'écartant respectivement des axes secondaires *b'O* et *a'O*, qui correspondent aux points *b* et *a* de l'image. Il en résulte que

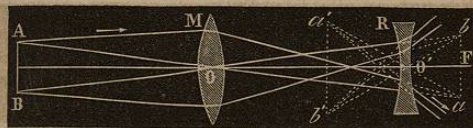


Fig. 388.

ces rayons, prolongés en sens contraire de leur direction, vont concourir sur ces axes en *a'* et en *b'*; l'œil qui les reçoit voit donc en *a'b'* une image droite et amplifiée, qui paraît plus rapprochée parce qu'elle est vue sous un angle *a'O'b'* plus grand que l'angle *AO'B* sous lequel on aperçoit l'objet. Quant au grossissement, de même que dans la lunette astronomique, il a pour valeur approchée le rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire. En effet, le grossissement égale $\frac{a'O'b'}{AOB} = \frac{b'O'a}{bOa} = \frac{OF}{O'F}$ (504,

principe 1), en admettant que les foyers de l'oculaire et de l'objectif coïncident. Il découle de là que l'écartement des deux verres est la différence de leurs distances focales respectives, et par conséquent que la lunette de Galilée est très-courte et très-portative. Elle a l'avantage de faire voir les objets dans leur véritable position, et, de plus, n'ayant que deux verres, elle absorbe peu de lumière; mais à cause de la divergence des rayons émergents, elle a peu de champ, et il est nécessaire, pour en faire usage, de placer l'œil très-près de l'oculaire. Celui-ci peut s'approcher ou s'écarter de l'objectif, de manière que l'image *a'b'* se forme toujours à la distance de la vue distincte.

La lunette de spectacle, ou *jumelles*, est la même que celle que