

M. Janssen a montré qu'on peut faire apparaître, dans le spectre d'une lumière artificielle, celles de ces raies telluriques qui sont situées de part et d'autre de la raie D, en faisant traverser à cette lumière une couche épaisse de vapeur d'eau : c'est donc surtout à la présence de la vapeur d'eau dans notre atmosphère qu'il faut attribuer la production des raies telluriques voisines de la raie D. D'ailleurs, ces mêmes raies semblent diminuer par un temps sec et froid, lorsque l'atmosphère ne contient qu'une très faible quantité de vapeur d'eau.

M. Janssen a également montré que d'autres raies telluriques, appartenant aux groupes A et B, peuvent apparaître dans le spectre d'une lumière artificielle, quand cette lumière a traversé une couche épaisse d'oxygène comprimé. Ces autres raies telluriques seraient dues à l'absorption, par l'oxygène de l'air, des radiations correspondantes.

554. Résultats relatifs à l'étude physique des corps célestes. —

Les planètes ne nous renvoyant que la lumière qu'elles reçoivent du Soleil, on devait s'attendre à retrouver, dans leurs spectres, les mêmes lignes obscures que dans le spectre solaire : c'est ce que confirme l'observation. — Mais une étude attentive a montré que les spectres fournis par Jupiter et par Saturne présentent, même quand ces astres sont bien au-dessus de notre horizon, des raies correspondantes à celles que produit la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre. On est ainsi conduit à admettre, comme d'autres observations l'avaient déjà fait penser, qu'il existe, à la surface de ces planètes, de grandes nappes d'eau, entretenant leur atmosphère dans un état d'humidité continuelle. — Quant à la Lune, l'analyse spectrale, aussi bien que les autres modes d'observation, indique qu'elle n'a pas d'atmosphère.

Les étoiles émettant une lumière propre, l'étude des spectres qu'elles fournissent présente un intérêt tout particulier. — Pour toutes les étoiles proprement dites, on obtient des spectres *continus*, sillonnés de raies obscures : ces astres sont donc constitués, comme le Soleil, par un noyau solide ou liquide, entouré d'une atmosphère absorbante. La nature chimique de cette atmosphère pourra être révélée par la position des lignes obscures, dans le spectre de chacune d'elles.

Quant aux *nébuleuses non résolubles*, c'est-à-dire dans lesquelles les instruments les plus puissants ne distinguent qu'une sorte de nuage lumineux, elles fournissent, en général, un spectre formé de quatre lignes brillantes, se détachant sur un fond obscur. Cette apparence est celle qui caractérise les corps entièrement gazeux : deux des raies brillantes appartiennent à l'hydrogène; les deux autres peuvent être attribuées à l'azote et au baryum.

CHAPITRE V

VISION. — INSTRUMENTS D'OPTIQUE. VITESSE DE LA LUMIÈRE.

I. — VISION.

555. *Structure de l'œil.* — Le globe de l'œil offre, chez l'homme, à peu près la forme d'une sphère : la figure 382 en représente une coupe, par un plan vertical dirigé d'avant en arrière. — L'enveloppe de ce globe est formée par une membrane blanche et opaque SS, à laquelle sa consistance a fait donner le nom de *sclérotique* (σκληρός, dur). — A la partie antérieure, la sclérotique est remplacée par une membrane incolore et transparente C, qui présente une courbure un peu plus prononcée que la sclérotique : on lui donne le nom de *cornée transparente*, pour la distinguer de la sclérotique, qu'on nomme aussi quelquefois *cornée opaque*.

A l'intérieur du globe, derrière la cornée et à une petite distance, se trouve une cloison membraneuse verticale, perpendiculaire à l'axe de l'œil : c'est l'*iris* I, I, percé en son centre d'une ouverture circulaire, la *pupille* P. La membrane de l'iris offre, chez les divers individus, des colorations différentes,

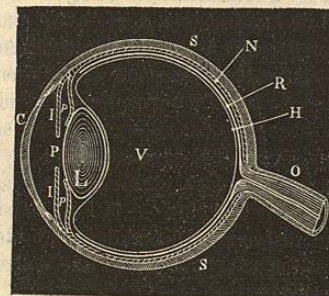


Fig. 382. — Coupe du globe de l'œil

variant du bleu au brun le plus foncé. — Derrière la pupille, à une très petite distance, se trouve une lentille convergente, le *cristallin* L : cette lentille est formée de couches superposées, dont les indices de réfraction vont en croissant des parties superficielles aux parties profondes ; elle est maintenue en avant par les *procès ciliaires* p, p.

La cavité du globe est ainsi séparée, par le cristallin et les procès ciliaires, en deux cavités. — La première, située en avant du cristallin, est remplie d'une humeur limpide et incolore, l'*humour aqueuse*. — La

seconde, qui occupe les deux tiers postérieurs de l'œil, renferme un liquide plus consistant : c'est l'*humeur vitrée*, entourée par la *membrane hyaloïde* H.

Enfin, par la partie postérieure du globe de l'œil, pénètre un nerf remarquable par sa grosseur, le *nerf optique* O. Ce nerf, après avoir traversé la sclérotique, s'épanouit en une membrane mince, la *rétine* R : celle-ci est séparée de la sclérotique, dont elle suit le contour, par une couche de matière noire ou *pigment*, supportée par une membrane intermédiaire, la *choroïde* N.

556. Actions exercées par les diverses parties de l'œil sur les rayons lumineux. — Les rayons lumineux émis sur le globe de l'œil par un point extérieur, après avoir traversé la cornée transparente C, pénètrent dans l'humeur aqueuse en subissant une déviation vers l'axe. Les rayons les plus rapprochés de l'axe pénètrent au travers de la pupille; ceux qui s'en écartent davantage sont interceptés par l'iris, qui joue ainsi le rôle d'une sorte de diaphragme par rapport au cristallin (*) : c'est la diffusion de ces rayons sur l'iris qui rend cette membrane visible à l'extérieur, avec la coloration qui lui est propre.

Les rayons qui ont traversé la pupille tombent sur le cristallin, qui les fait converger sur la rétine (**): l'impression produite sur cette membrane nerveuse est transmise par le nerf optique, et donne naissance à la sensation lumineuse.

557. Formation des images au fond de l'œil. — Si l'on prend un œil de bœuf et que, après avoir aminci la sclérotique jusqu'à la rendre transparente à sa partie postérieure, on place une bougie à 50 ou 40 centimètres en avant de la cornée, on voit, en regardant par derrière, se peindre sur le fond de l'œil une image *renversée* de la bougie.

L'ensemble des milieux de l'œil se comporte donc comme un *système convergent*, dont le centre optique C (fig. 386) serait à une petite distance de la face postérieure du cristallin et dont le foyer principal serait sur la rétine. — Si l'on considère un objet lumineux AB, placé à une distance suffisamment grande, les rayons émanés de cet objet vont former sur la rétine une image A'B', qui est *renversée et plus petite que l'objet*.

(*) L'ouverture de la pupille éprouve des variations de grandeur qui sont surtout en rapport avec l'éclat de la lumière qui arrive à l'œil. Lorsque l'on considère avec attention un œil fixé sur un objet peu lumineux, on constate que l'ouverture de la pupille s'agrandit, de manière à laisser arriver sur le cristallin le plus grand nombre possible de rayons. Au contraire, quand l'œil regarde un objet très brillant, la pupille se resserre, afin de diminuer la quantité de lumière qui, en arrivant sur la rétine, produirait sur elle une impression pénible.

(**) Le cristallin étant formé de couches successives, dont l'indice de réfraction va en décroissant à mesure qu'elles s'éloignent du centre, les rayons les plus distants de l'axe sont moins déviés que si la lentille présentait partout le même indice de réfraction qu'au centre. On conçoit donc que les rayons émanés d'un même point puissent concourir en un foyer, sans aberration de sphéricité appréciable.

Malgré ce *renversement de l'image*, nous voyons les objets dans leur situation véritable. Il en faut simplement conclure que les éléments nerveux de la rétine et du nerf optique possèdent des propriétés physiologiques telles, que si un point A' de la rétine se trouve au point de concours d'un faisceau lumineux convergent, nous *rapporçons* la position du point extérieur, d'où émane le faisceau divergent qui lui a donné naissance, en l'un des points de l'axe secondaire A'CA : il en est de même de B' et de tous les autres points de la rétine (*).

558. Vision à différentes distances. — **Distance minimum de la vision distincte.** — L'expérience de chaque jour montre que, pour les vues *normales*, l'œil est constitué de manière à donner, pour une distance très grande de l'objet, une image rétinienne nette; ainsi, pour de pareilles vues, quand l'atmosphère est bien transparente, la lune apparaît avec des contours bien arrêtés : c'est ce qu'on appelle la *vision à l'infini*. — A mesure que les objets se rapprochent, la vision peut encore conserver sa netteté, par une *accommodation* progressive de l'œil, dont le mécanisme réside principalement dans un changement de courbure des faces du cristallin, s'effectuant sous l'influence des contractions des parties musculaires, qui l'assujettissent sur son contour (**): le cristallin devenant ainsi plus convergent, l'image peut encore se former sur la rétine, malgré la diminution de la distance de l'objet.

D'après cela, les diverses particularités de la vision à différentes distances sont faciles à concevoir : — Pour les objets très éloignés, la vision est nette, mais les petits *détails* des objets ne sont pas perceptibles, parce que l'image rétinienne totale est extrêmement petite par rapport à l'objet, et que les points de l'objet qui sont voisins les uns

(*) Si quelques personnes croient trouver une difficulté dans la position renversée de l'image, c'est qu'elles tendent toujours à assimiler l'image formée sur la rétine aux images que nous obtenons sur des écrans extérieurs, et que nous percevons comme nous percevons des objets. Cette assimilation n'a évidemment aucune raison d'être.

(**) Ces changements de courbure peuvent être manifestés de la manière suivante. Lorsqu'on présente une bougie à l'œil d'une personne placée dans une chambre obscure, on distingue en regardant l'œil au moyen d'une loupe fixée au fond d'un tube, trois images de la bougie. — Celle de ces trois images qui est la plus rapprochée du spectateur est *droite et virtuelle*; c'est celle qui a été observée par tout le monde, et qui est formée par la réflexion des rayons sur la convexité de la cornée (500). Celle qui est la plus éloignée est également *droite et virtuelle*; elle est due à la réflexion sur la face antérieure du cristallin. Enfin, on aperçoit, entre les deux précédentes, une image *renversée et réelle* qui est produite par la réflexion sur la concavité de la face postérieure du cristallin (494, 1°). — Or si, laissant toujours la bougie en présence de l'œil, on fait regarder successivement, à la personne en expérience, d'abord un objet très éloigné, puis un objet situé à 15 ou 20 centimètres, on voit la première image de la bougie rester fixe, ce qui indique que la cornée ne change pas de forme. Mais, au moment où l'œil se fixe sur l'objet rapproché, on voit la seconde image droite s'avancer vers le spectateur, ce qui prouve que la face antérieure du cristallin devient *plus convexe*; l'image renversée éprouve aussi un petit déplacement, accusant une faible variation de courbure de la face postérieure.

des autres forment leurs foyers en des points extrêmement voisins. Or, la rétine est constituée par des éléments nerveux qui ont des diamètres appréciables (0,005 de millimètre environ) : si un même élément correspond aux foyers de plusieurs points de l'objet, il ne peut transmettre qu'une impression unique. — L'objet se rapprochant jusqu'à la distance d'environ 50 centimètres, à laquelle on place un livre pour lire, les *détails* deviennent de plus en plus faciles à distinguer, parce que l'image rétinienne grandit, et que les images des points voisins se séparent de plus en plus. Dans ces conditions, la vision se fait encore *sans fatigue*, les modifications des courbures du cristallin étant à peu près insensibles (*). — Enfin, quand l'objet s'approche jusqu'à environ 15 centimètres, distance *minimum* de la vision distincte pour les vues normales, la grandeur de l'image rétinienne continuant à augmenter, les détails de l'objet deviennent de plus en plus distincts; mais alors l'accommodation de l'œil, nécessaire pour que l'image se forme encore sur la rétine, est accompagnée d'une fatigue toujours sensible à la longue. — Là s'arrête la faculté d'accommodation : si l'on continue à rapprocher davantage l'objet, l'image tend à se former au delà de la rétine. Chacun des faisceaux lumineux émis par les divers points de l'objet produit alors sur la rétine un cercle, dont le diamètre est d'autant plus grand que l'objet est plus voisin de l'œil : ces cercles empiètent les uns sur les autres, et la vision devient confuse.

559. Principales espèces de vue. — Bescicles. — On appelle vues *normales*, ou vues *emmétropes*, celles dont il a été question jusqu'ici : le foyer principal de l'œil étant situé sur la rétine, ces vues distinguent nettement, *sans effort*, les objets placés à l'infini; elles peuvent encore distinguer nettement, *par accommodation*, les objets placés à des distances décroissantes, jusqu'à 15 centimètres environ.

On appelle vues *presbytes*, ou vues *longues*, celles qui perçoivent nettement, à peu près comme les vues normales, les objets très éloignés, mais qui s'en distinguent en ce que, les fibres musculaires qui assujettissent le cristallin ayant à peu près perdu la faculté de se contracter, la faculté d'accommodation est limitée à une distance notablement supérieure à 15 centimètres.

On appelle vues *myopes*, ou vues *courtes*, celles qui ne peuvent voir que d'une manière confuse les objets éloignés, le foyer principal de l'œil étant situé *en avant de la rétine*. Quand l'objet se rapproche à une distance inférieure à quelques mètres, l'image vient se former sur la rétine, et la vision devient nette. Enfin, par accommodation, ces vues peuvent encore distinguer nettement des objets placés à des distances inférieures à 15 centimètres.

(*) Le calcul montre que le plan de l'image se déplace d'environ 2 dixièmes de millimètre (c'est à peu près l'épaisseur de la rétine), quand l'objet se déplace depuis l'infini jusqu'à une distance de 50 centimètres.

On appelle *vues hypermétropes*, celles qui ne peuvent jamais percevoir que d'une manière confuse les objets situés à une distance finie, le foyer principal de l'œil hypermétrope étant situé *en arrière de la rétine*. Les rayons émanés d'un point placé à une distance finie iraient toujours former leur image derrière la rétine, au delà du foyer principal, à une distance d'autant plus grande que le point lumineux est plus rapproché. — Quand l'hypermétropie n'est pas très prononcée, l'œil hypermétrope peut voir, par accommodation, les objets extrêmement éloignés; mais la vision ne peut jamais être bien distincte, et elle exige toujours un effort.

L'emploi des *bescicles*, appelées vulgairement *lunettes*, est destiné à modifier les conditions de la vision, pour les vues presbytes, myopes ou hypermétropes, de manière à rendre ces conditions aussi semblables que possible à celles des vues normales.

1° Soit A (fig. 585) un point lumineux placé sur l'axe d'un œil *pres-*

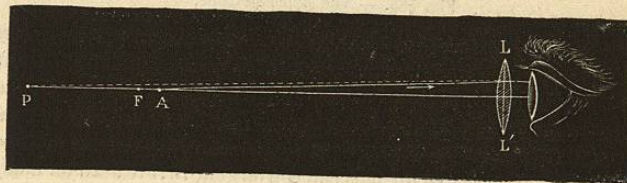


Fig. 585. — Vue presbyte.

byte, à une distance inférieure à celles auxquelles il peut voir distinctement. Plaçons devant cet œil une lentille *convergente* LL', dont la distance focale soit assez grande pour que le foyer principal F se trouve au delà de A : elle diminuera la divergence des rayons qui tombent sur l'œil, et tout se passera comme si ces rayons émanaient d'un point P situé de l'autre côté de F (550, 5°). Il suffira donc que les courbures de la lentille soient convenablement choisies, pour que P se trouve à une distance à laquelle cet œil puisse voir distinctement les objets.

2° Soit A (fig. 584) un point lumineux placé sur l'axe d'un œil *myope*,

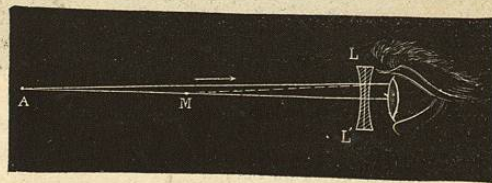


Fig. 584. — Vue myope.

à une distance supérieure à celles auxquelles il peut voir distinctement. Plaçons devant cet œil une lentille *divergente* LL' : elle augmentera la

divergence des rayons qui arrivent à l'œil, et tout se passera comme si ces rayons émanaient d'un point M, situé plus près de l'œil (555). Donc, si les courbures de la lentille sont convenablement choisies, ce point M pourra se trouver à l'une des distances auxquelles la vision est distincte, pour la vue myope dont il s'agit.

5° Soit A (fig. 385) un point lumineux placé sur l'axe d'un œil hyper-

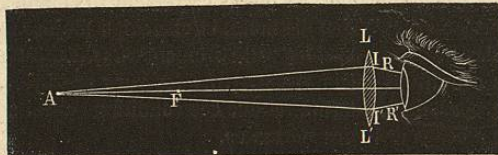


Fig. 385. — Vue hypermétrope.

métrope : les rayons divergents AI, AI', après réfraction par les milieux de l'œil, iraient converger *derrière la rétine*, et la vision du point A serait confuse. Plaçons devant cet œil une lentille convergente LL', dont la distance focale soit assez petite pour que le foyer principal F se trouve en deçà de A; après réfraction par la lentille, le faisceau divergent AI, AI' sera remplacé par un faisceau convergent IR, I'R'; et l'on conçoit que les rayons d'un pareil faisceau, après réfraction par les milieux de l'œil, iront se couper entre le centre optique et le foyer principal de l'œil. Si la distance focale de la lentille est convenablement choisie, l'image du point A pourra se former sur la rétine même.

560. **Diamètre apparent.** — **Estimation des grandeurs relatives des objets placés à une même distance.** — On désigne sous le nom de *diamètre apparent* d'un objet linéaire AB (fig. 386), dans une posi-

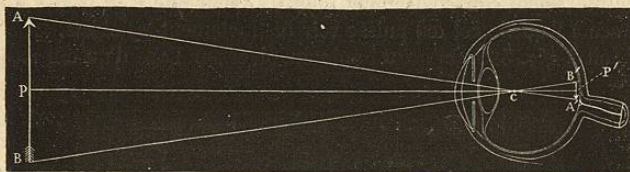


Fig. 386. — Diamètre apparent d'un objet.

tion déterminée, l'angle ACB formé par les droites menées du centre optique de l'œil aux extrémités de l'objet.

Pour nous rendre compte de cette dénomination, concevons divers objets tels que AB, placés à une même distance CP, et assez petits par rapport à CP pour que l'angle ACB soit toujours très petit lui-même. Pour chacun de ces objets, la dimension de l'image A'B' sur la rétine,

dimension à laquelle il est naturel de donner le nom de *diamètre apparent*, est telle que l'on ait $\frac{A'B'}{CP'} = \frac{AB}{CP}$; or $\frac{AB}{CP}$ n'est autre chose que le double de la tangente de l'angle ACP, ou sensiblement, eu égard à la petitesse des angles, la mesure de l'angle ACB lui-même. On peut donc écrire

$$A'B' = CP' \times \text{angle ACB};$$

dès lors, pour divers objets, si la distance CP reste constante, la dimension A'B' de l'image rétinienne est proportionnelle à la valeur de l'angle ACB. — Quand l'œil compare deux objets situés à une même distance, c'est par le rapport de leurs diamètres apparents qu'il juge du rapport des grandeurs des objets eux-mêmes.

Remarquons d'autre part que, si un même objet est placé successivement à diverses distances, son diamètre apparent diminue à mesure qu'il s'éloigne. Il est donc impossible que l'œil apprécie, par la seule comparaison des diamètres apparents, les rapports de grandeurs de plusieurs objets situés à des distances différentes; avec cette notion seule, et sans la notion des distances, il serait exposé aux erreurs les plus grossières.

561. **Axe visuel.** — **Angle optique.** — **Estimation des distances.** — Pour observer dans les meilleures conditions possibles tels ou tels points de l'espace, l'œil se dirige toujours de façon que les images viennent se former sur une petite dépression, située au milieu de la tache jaune, et où les éléments nerveux de la rétine sont plus rapprochés que dans toute autre région. — On nomme *axe visuel*, la droite qui passe par le centre optique de l'œil et par le centre de cette petite dépression.

Quand les deux yeux sont dirigés simultanément vers un point, on appelle *angle optique* l'angle que forment entre eux les axes visuels des deux yeux.

Si maintenant on regarde, avec les deux yeux, des points placés à des distances diverses, l'angle optique est d'autant plus petit que le point considéré est plus éloigné. — Pour chacun de nous, le sens du toucher a donné au sens de la vue une sorte d'éducation, d'après laquelle nous avons conscience de la valeur de l'angle que font les axes visuels de nos deux yeux, quand ils sont fixés, par exemple, sur un point situé à 30 ou 40 centimètres; à mesure que cet angle devient plus petit, nous jugeons que la distance qui nous sépare du point augmente.

Mais ces évaluations deviennent incertaines quand il s'agit de points très éloignés; l'angle optique est alors très petit, et ne varie plus que de quantités insensibles avec la distance. — C'est ainsi que nous ne pouvons nous faire aucune idée de la distance d'une étoile, ni même d'un phare placé sur une côte un peu éloignée.

562. Évaluation des grandeurs absolues des objets. — C'est en combinant les données qui nous sont fournies, comme on vient de le voir, d'une part sur les *diamètres apparents* des objets, d'autre part sur les *distances* qui nous en séparent, que nous jugeons de leur grandeur. — Ce jugement n'est réellement susceptible de quelque précision, que si le faible éloignement des objets nous permet d'en évaluer la distance avec assez d'exactitude.

Lorsque les objets sont *très éloignés*, nous arrivons encore à en apprécier la distance, au moins d'une manière approximative, par leur éclat relatif : la lumière qui arrive à l'œil, subit en effet, dans l'atmosphère, une absorption progressive qui en diminue l'intensité. Chaque observateur, selon l'expérience qu'il a acquise, arrive ainsi à une sûreté de jugement plus ou moins grande. Mais ce jugement peut être mis singulièrement en défaut, lorsque l'atmosphère présente une transparence beaucoup plus grande ou beaucoup plus faible que celle à laquelle l'œil est accoutumé : on peut être alors amené à des erreurs d'évaluation considérables. — En revanche, si, parmi les objets observés, il s'en trouve un de dimensions connues, un homme, un cheval, etc., l'évaluation de la distance acquiert immédiatement une précision plus grande, par la perception du diamètre apparent de cet objet particulier. — C'est ce qui justifie l'emploi des objets animés dans la peinture de paysages, pour contribuer, avec les dégradations de teintes, à rendre plus complètes les illusions de perspective.

563. Unité de l'impression produite par les deux yeux. — Lorsque nos deux yeux sont fixés simultanément sur un même point lumineux, nous ne voyons, en général, malgré la formation des deux images, qu'un seul point.

L'observation a montré que cette *unité d'impression* exige la réunion de deux conditions physiques ; il faut : 1° que les axes des deux yeux convergent vers le point lumineux ; 2° que les images produites sur les deux rétines occupent des positions rigoureusement correspondantes. — Si ces conditions ne sont pas simultanément réalisées, la sensation est double. C'est ainsi que, si l'on vient à déranger l'axe de l'un des yeux, en exerçant sur lui une légère pression, les objets paraissent doubles. C'est ainsi encore que, si nos deux yeux sont dirigés vers un point situé à une distance déterminée, dans le plan de symétrie de notre corps, tout point situé dans ce même plan, mais à une distance plus grande ou plus petite, nous paraît double.

564. Appréciation du relief. — **Stéréoscope.** — Les corps qui présentent des reliefs, lorsqu'ils sont placés à une petite distance, ne produisent pas, dans les deux yeux, des images identiques : les deux yeux n'ayant pas la même position par rapport à l'objet, l'un d'eux peut apercevoir certains points qui sont masqués pour l'autre, et réciproquement. — Ce sont ces deux sensations, produites *simultanément*

par deux images un peu différentes, qui donnent lieu à la perception du relief.

La meilleure preuve qu'on en puisse fournir est l'illusion qu'on éprouve, quand on a laissé quelques instants les yeux fixés sur les images du *stéréoscope*. — Les deux figures (dessins ou photographies) que l'on place dans l'instrument, en face des verres grossissants, ne sont pas identiques : elles reproduisent les deux aspects sous lesquels on verrait l'objet lui-même, placé à une distance convenable, en le fixant *successivement* avec chacun des deux yeux. L'effet de l'instrument est de diriger les rayons provenant de ces deux figures, comme s'ils partaient d'un objet unique, situé entre elles, et à une distance telle que la vision soit distincte. L'illusion du relief est complète, quand les images sont bien construites et quand l'instrument est bien adapté à la vue de l'observateur.

II. — INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

565. Microscope solaire. — Le microscope solaire est destiné à donner des images réelles et considérablement agrandies d'objets très petits.

La partie essentielle de l'appareil est une lentille convergente LL' (fig. 387) ayant une très petite distance focale principale ; f et f' sont

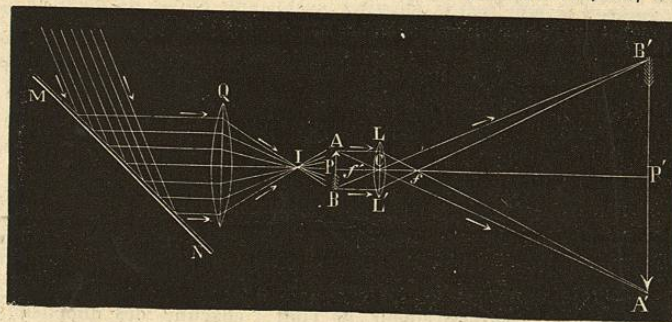


Fig. 387. — Microscope solaire.

ses deux foyers. L'objet AB fixé entre deux lames de verre maintenues par un *porte-objet*, est placé en face de cette lentille, à une distance CP un peu supérieure à la distance focale principale Cf' : il se forme une image réelle et renversée $A'B'$, beaucoup plus grande que l'objet : on la reçoit sur un écran, dans la chambre obscure où sont placés les spectateurs. La figure 387 indique la construction géométrique de l'image (530). — On fait varier la distance de la lentille LL' à l'objet de

manière à *mettre au point*, c'est-à-dire à obtenir sur l'écran une image aussi nette que possible.

La lentille Q et le miroir MN constituent un *système éclairant*. En effet, l'image A'B' étant beaucoup plus grande que l'objet, il est indispensable d'éclairer fortement l'objet, pour que l'image ait un éclat suffisant. — Les rayons du soleil, reçus sur le miroir plan MN qui est placé à l'extérieur de la pièce où se fait l'observation, sont réfractés par la lentille Q, en son foyer : l'objet est placé un peu au-delà (*).

Nous appellerons *agrandissement linéaire*, le rapport de deux dimensions homologues de l'image et de l'objet. La figure montre que l'on a $\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'B'}{LL'} = \frac{fP'}{fC}$. Dès lors, pour une même lentille, on obtiendra un agrandissement linéaire d'autant plus grand, que la distance fP' de l'écran au foyer sera plus grande. Pour une position déterminée de l'écran, l'agrandissement linéaire sera d'autant plus grand que la distance focale fC sera plus petite. — Pour le mesurer, on peut introduire dans l'appareil, à la place de l'objet AB, un *micromètre* consistant en une lame de verre sur laquelle le constructeur a tracé, à l'aide d'une machine spéciale, des traits distants entre eux d'un centième de millimètre. Si la distance des images de deux traits consécutifs, sur l'écran, est de 2 millimètres, on en conclura que l'agrandissement linéaire est représenté par 200 (**).

La *lanterne magique*, dont l'invention, due au P. Kircher, remonte au XVII^e siècle, repose sur les mêmes principes que le microscope solaire ; elle donne des images réelles et amplifiées de divers objets, peints ou photographiés sur des lames de verre. — L'éclairage est ordinairement produit par une lampe, munie d'un réflecteur, et par une lentille convergente qui concentre la lumière sur la lame de verre. L'agrandissement étant bien moindre que dans le microscope solaire, cet éclairage donne encore à l'image un éclat suffisant.

566. Loupe. — La loupe est une lentille convergente, que l'on place entre l'œil et les objets pour en mieux distinguer les détails.

Pour concevoir l'utilité de la loupe, on remarquera que, lorsqu'on cherche à distinguer à l'œil nu les détails d'un objet, on est conduit à le rapprocher progressivement de l'œil : chacune des dimensions linéaires de l'image rétinienne, ou le *diamètre apparent* de cette dimension (560), grandit en raison inverse de la distance. Mais, pour que la vision soit nette, il faut que l'objet soit toujours placé à une distance

(*) A défaut de la lumière solaire, on peut employer des lumières artificielles d'une grande intensité, comme la lumière de Drummond ou la lumière électrique.

(**) L'agrandissement superficiel, c'est-à-dire le rapport entre la surface de l'image et celle de l'objet, est égal au rapport des carrés de leurs dimensions homologues ; en d'autres termes, l'agrandissement superficiel est exprimé par le carré de l'agrandissement linéaire. Ainsi, dans l'exemple précédent, l'agrandissement superficiel serait représenté par 40 000.

au moins égale à la distance minimum D de la vision distincte (558). — L'interposition d'une lentille convergente, de longueur focale f plus petite que D, a pour effet de substituer à l'objet une image virtuelle, dont le diamètre apparent est supérieur à celui qu'aurait l'objet vu à l'œil nu.

Soit LL' une lentille convergente (fig. 588), C son centre optique, F et F' ses foyers principaux. D'après ce qu'on a vu (550, 5°), pour

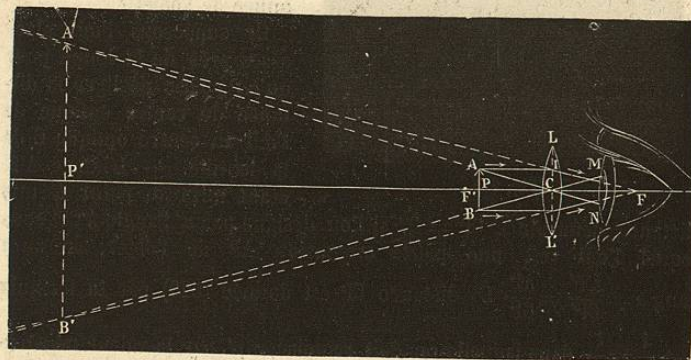


Fig. 588. — Formation des images dans la loupe.

qu'un objet AB donne une image virtuelle, il faut que la distance CP soit moindre que la distance focale principale CF' ; la figure 588 indique la construction géométrique de cette image. L'œil, placé dans le voisinage immédiat de la loupe, reçoit la plus grande partie des faisceaux lumineux émis sur la lentille par les divers points de AB, comme s'ils émanaient des points correspondants de A'B'.

Pour *mettre au point*, on règle la distance CP de l'objet à la lentille, en diminuant progressivement cette distance, jusqu'à ce que les détails de l'image A'B' arrivent à se distinguer autant que possible les uns des autres, l'image conservant toujours sa netteté. — La distance de l'image à l'œil est alors sensiblement égale à la distance minimum D de la vision distincte (*).

La figure 589, dans laquelle on a supposé, pour plus de simplicité, le centre optique de l'œil confondu avec le centre optique C de la lentille, montre que le diamètre apparent A'CB' de l'image est plus grand que le diamètre apparent aCb qu'aurait l'objet, s'il était vu à l'œil nu, à la même distance, en ab. Par suite, certains détails de l'objet, qui échappent

(*) Les mesures précises montrent que, pour que l'observation à la loupe puisse se continuer sans fatigue, il faut que la distance de l'image à l'œil soit un peu supérieure à D.

peraient à l'observation directe, pourront devenir perceptibles dans l'observation à la loupe.

567. Puissance d'une loupe. — Une loupe doit être considérée comme d'autant plus puissante, qu'elle permet de distinguer nettement de plus petits détails d'un objet; ou, en d'autres termes, qu'elle permet

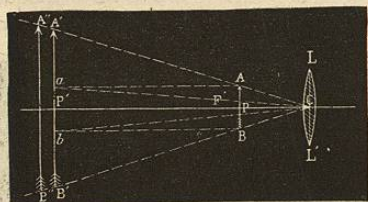


Fig. 589.

de voir sous un angle plus grand une dimension déterminée de l'objet. Or supposons l'œil placé assez près de la loupe pour qu'on puisse négliger la distance du centre optique de l'œil au centre optique C de la lentille. — L'image A'B' étant mise au point à une distance déterminée $CP = D$, si l'on désigne par α l'angle A'CP sous lequel l'œil voit une petite dimension AP de l'objet, on aura $\text{tang } \alpha = \frac{A'P'}{CP} = \frac{AP}{CP}$. La distance CP est donnée (529) par la formule

$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, dans laquelle on doit remplacer p' par la valeur négative $-D$, ce qui donne

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{D} = \frac{1}{f} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{p} = \frac{1}{f} + \frac{1}{D};$$

en remplaçant $\frac{1}{CP}$ par cette valeur de $\frac{1}{p}$, il vient

$$\text{tang } \alpha = \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{D} \right) AP.$$

On remarquera d'abord que, dans la parenthèse, le second terme est d'autant plus grand que la distance D de l'image à l'œil est plus petite. De là résulte, d'une part, que chaque observateur aura avantage à placer l'image à la distance *minimum* de sa vue; d'autre part, que, si cette condition est remplie, le diamètre apparent sous lequel apparaîtra la dimension AP de l'objet sera *plus grand pour un œil myope que pour un œil presbyte*.

Mais, ce qu'il faut remarquer surtout, c'est que, des deux termes de la parenthèse, le premier est toujours le plus grand: si la loupe est à *court foyer*, on pourra même considérer $\frac{1}{D}$ comme négligeable par rapport à $\frac{1}{f}$ et prendre comme mesure très approchée de $\text{tang } \alpha$, ou

de l'angle α lui-même, l'expression $\frac{1}{f} \cdot AP$ (*). — C'est la valeur de ce coefficient $\frac{1}{f}$ pour chaque loupe, qui caractérise la *puissance* de la loupe elle-même: la puissance d'une loupe est exprimée par un nombre qui est l'*inverse de sa distance focale* (évaluée en mètres). Une petite dimension quelconque z de l'objet (évaluée en mètres) pourra être vue, au travers de cette loupe, sous un angle mesuré approximativement par le produit $p \cdot z$ (**).

Dans la pratique, pour distinguer des détails de plus en plus petits, on fait usage de loupes ayant des puissances croissantes: d'après ce qu'on vient de voir, la puissance est d'autant plus grande que la loupe est à *plus court foyer*. — Mais on ne peut diminuer la distance focale d'une lentille mince, qu'en augmentant la courbure de ses faces, et en diminuant le diamètre de la loupe elle-même (le plus ordinairement, le diamètre de la loupe est à peu près égal à la moitié de sa distance focale). Dès lors, les loupes qui présentent un grand diamètre, comme B (fig. 590), sont des loupes peu puissantes; celles qui ont un petit diamètre, comme A, ont une puissance plus grande.

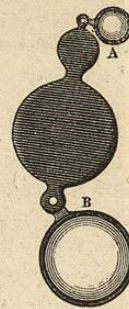


Fig. 590. — Loupes.

Quand on emploie des loupes très puissantes, comme celles qui servent aux études d'histoire naturelle, on les fixe le plus ordinairement à un support, au-dessus d'un *porte-objet* dont on peut régler la distance à la loupe au moyen d'une crémaillère, pour mettre au point. L'objet étant ainsi installé dans une position fixe, l'opérateur a les deux mains libres, pour les opérations de dissection. — L'appareil ainsi construit reçoit quelquefois le nom de *microscope simple*.

(*) Si l'on suppose l'œil placé de manière que son centre optique coïncide avec le foyer F de la loupe (fig. 588), $\text{tang } \alpha$ a pour mesure $\frac{A'P'}{FP}$, ou $\frac{IC}{FC}$ ou enfin $\frac{AP}{f}$. Dans cette position de l'œil, l'évaluation précédente de $\text{tang } \alpha$ n'est donc plus seulement approximative, mais rigoureuse. — On verra plus loin que cette position est précisément celle qu'il faut donner à l'œil, par rapport à l'oculaire fonctionnant comme loupe, dans le microscope ou dans la lunette astronomique (575 et 580).

(**) Soit, par exemple, une loupe ayant pour distance focale 0^m,04; sa puissance est $p = \frac{1}{0,04}$, ou $p = 25$. — Une longueur de 0^m,001 sera vue sous un angle mesuré approximativement par $0,001 \times 25$, ou 0,025. Si l'on veut évaluer cet angle en minutes, on remarquera que l'angle d'une minute a sensiblement pour mesure $\frac{1}{5438}$; en divisant donc 0,025 par $\frac{1}{5438}$, on obtient, pour la valeur de α , environ 86'.