

CHAPITRE IV

De l'examen des préparations.

590. Rappelons que, selon leur nature, les préparations peuvent être examinées à l'aide de la *lumière réfléchie*, comme lorsqu'on regarde un corps à l'œil nu, ou au contraire à l'aide de la *lumière transmise*, soit qu'on les étudie à l'aide d'un microscope, soit qu'on se serve de la loupe seulement.

En disant vu par lumière transmise ou *traversante*, on n'entend pas dire que la lumière est transmise au travers de l'objectif et de l'oculaire, car cela est toujours, mais on parle de la lumière qui, en général, réfléchi par le miroir, est projetée sur l'objet qu'elle traverse en se réfractant pour arriver ensuite à l'objectif.

D'autre part, en disant qu'on examine un corps à l'aide de la lumière réfléchi, on n'entend pas celle que réfléchit le miroir sur l'objet, mais celle qui est réfléchi par l'objet étudié lui-même, et qui, de là passe au travers de la loupe ou du microscope.

ART. I. — DE L'EXAMEN DES PRÉPARATIONS MICROSCOPIQUES EN GÉNÉRAL.

591. Le microscope étant muni de l'objectif et de l'oculaire dont on veut se servir et la lumière prise, on approche le premier de la platine, d'autant plus qu'il grossit davantage, sans toutefois qu'il descende jusqu'au niveau même de celle-ci.

On laisse, en effet, entre la surface de la platine et l'extrémité inférieure de l'objectif un intervalle un peu plus considérable que la préparation n'est épaisse, de manière à ce que celle-ci placée sur la platine puisse être glissée sous l'objectif sans le toucher.

L'exercice apprend assez vite à juger quelle est cette distance pour chacun des objectifs employés. On rapproche ou l'on éloigne ensuite l'objectif et naturellement tout le système optique avec lui jusqu'à ce qu'on aperçoive plus ou moins nettement l'objet préparé.

On peut aussi placer d'avance la préparation sur la platine, de manière à ce que l'objet se trouve au centre du trou, et descendre ensuite le tube du microscope jusqu'à ce qu'on aperçoive plus ou moins nettement le corps à examiner. En procédant ainsi, il faut agir avec prudence, pour que l'objectif ne vienne pas frapper la préparation et l'écraser ou briser le verre mince seul et même

aussi le porte-objet. Cette manœuvre, du reste, doit être exécutée toutes les fois que, ayant examiné un corps, on veut, sans le déranger, remonter le tube ou l'enlever tout à fait pour remplacer l'objectif employé par un autre.

Ces mouvements s'exécutent avec la crémaillère dans les microscopes qui en sont pourvus et en faisant simultanément tourner et glisser le tube dans son support, si le microscope est fait d'après ce dernier système. (Voy. p. 138, 142 et 145.)

Il est utile parfois de procéder en sens inverse de ce que nous venons de dire et cela particulièrement au début des études ou quand on opère avec un objectif dont on ne connaît pas la distance focale. Dans ce cas, on descend l'objectif jusqu'au niveau de la platine et même plus bas. Puis on remonte le tube jusqu'à ce qu'on puisse glisser au-dessous de l'objectif la préparation posée sur la platine et de la propreté de laquelle on s'est assuré afin de ne pas salir celui-là. On continue alors à remonter le système optique de bas en haut, jusqu'à ce que l'objet à examiner soit assez nettement visible.

Toutes les fois qu'on a à faire monter ou descendre l'objectif d'une hauteur d'un millimètre ou davantage, c'est par glissement du tube plutôt qu'en faisant tourner la vis micrométrique qu'il faut exécuter les mouvements de rapprochement et d'éloignement par rapport à l'objet, afin de ménager celle-ci et d'aller plus vite; car on prend en peu de temps l'habitude de faire aisément cette manœuvre, sans briser ni écraser la préparation sous-jacente.

Quand on voit plus ou moins nettement l'objet cherché on use alors de la vis micrométrique pour *mettre au point* de la vision distincte tant son ensemble que les diverses parties de son épaisseur et de ses deux surfaces, s'il est transparent; cela s'obtient en faisant monter et descendre tout le système optique à l'aide de tours ou portions de tours imprimés dans tel ou tel sens alternativement au pignon de la vis.

Comme, en réalité, le microscope ne nous fait voir nettement que les objets placés dans un plan mathématique situé au foyer même de l'objectif et parallèle à la grande circonférence des lentilles, on comprend que, pour avoir une notion exacte des corps préparés, il faut, pour chacun d'eux, à partir du niveau de l'une des faces de l'objet translucide observé, faire passer ce plan par la succession de points en nombre en quelque sorte infini qui se trouvent dans son épaisseur entre cette face et l'autre. On le dissèque ainsi par tranches en s'arrêtant au niveau de chacune des dispositions de

structure véritablement intime qu'il présente. C'est là ce qui donne au microscope cet inappréciable avantage de nous faire connaître, non-seulement la superficie des objets qu'il nous montre, comme cela est pour ceux qui sont habituellement soumis à notre examen, mais encore tout ce qui, dans leur épaisseur, est susceptible d'influer sur la direction et sur la nature de la lumière. C'est ensuite par la réunion synthétique de cette succession d'examen que nous nous représentons l'objet observé, que nous nous en faisons une idée ou image, dans toute la force du terme, quelque petit que soit cet objet.

Ces particularités sont surtout manifestes, quand ils s'agit de corpuscules sphériques, qui, en raison de ce qui vient d'être dit, nous montrent sous le microscope, leur circonférence mal limitée, quand nous voyons nettement les points de leur surface les plus rapprochés ou les plus éloignés de l'observateur, et dont nous ne voyons plus les détails qui sont là quand le plan de vision distincte, amené au niveau du centre de cette sphère, fait découvrir nettement la circonférence de cette section, ainsi que les granules, etc., semés dans ce cercle.

Ce résultat s'obtient comme on le sait déjà en faisant tourner la vis micrométrique qui élève et abaisse à volonté le système optique, pendant que l'objet étudié reste sur un plan fixe. Aussi faut-il presque toujours avoir la main sur cette vis et d'autant plus qu'on use d'objectifs d'un plus grand pouvoir amplifiant. On distingue même immédiatement des autres, les personnes habituées au maniement du microscope, au mouvement de leur main qui, au lieu de rester immobile, cherche la vis micrométrique, en même temps que l'œil poursuit l'objet dans le champ d'observation. Car il n'est presque pas d'objet vu par lumière transmise dont la minceur soit telle que tous les détails à étudier se trouvent placés sur un même plan, sur un plan assez étendu du foyer, pour que la vision en soit distincte d'une manière égale.

592. Quand la netteté des contours des objets a montré que, par les manœuvres précédentes, l'objet se trouve mis au point, il faut faire courir la préparation en divers sens sur la platine, soit en abandonnant la vis de rappel, soit mieux encore, en continuant à s'en servir dans le but déjà indiqué.

Ces mouvements de glissement de la préparation en divers sens sur la platine sont indispensables pour voir tous les objets qui sont placés entre les deux lames de verre, et cela d'autant plus que le

champ de l'objectif est plus étroit. C'est de la sorte qu'on prend ce qu'on appelle une idée de la préparation, c'est-à-dire en réunissant, de mémoire, en un tout, l'ensemble des objets ou des caractères d'un même objet, observés successivement sur tel ou tel point de la préparation, amenés au foyer de l'objectif par ces mouvements horizontaux de latéralité, d'avant en arrière, etc.

C'est ainsi qu'on voit les divers objets compris dans une préparation quand ils sont multiples, qu'on suit les divers points de la longueur de ceux qui sont allongés, filamenteux ou tubuleux et qu'on observe les diverses portions des coupes ou des corpuscules qui sont lamelleux comme certaines écailles, etc.

Pour faire exécuter à la préparation ces mouvements destinés à la parcourir en entier, on fait glisser le porte-objet sur la platine avec l'extrémité des pouces de chaque main ou d'une seule main, le poignet reposant sur la table.

L'habitude rend ce moyen aussi précis, plus commode et plus rapide même que l'emploi des vis micrométriques des platines mobiles ou chariots, malgré la nécessité où l'on est de faire ces mouvements à rebours, en raison du renversement des objets par les lentilles du microscope.

Lorsqu'on est arrivé à trouver un objet que l'on veut examiner, il faut de nouveau porter la main au pignon de la vis micrométrique placé au-dessous de l'oreille de la platine, et la faire mouvoir presque incessamment, de manière à élever ou abaisser l'objectif par des mouvements à peine sensibles, pour étudier la préparation dans toute son épaisseur comme nous l'avons dit.

On peut aussi d'une main faire glisser la plaque, et de l'autre faire mouvoir la vis micrométrique pour étudier certaines dispositions en combinant les deux mouvements. Ce n'est qu'en parcourant la préparation à la fois en largeur et en épaisseur (car les deux plaques qui semblent se toucher renferment cependant plusieurs couches superposées de fibres, de cellules, etc.), qu'on parvient à bien connaître la préparation, à se faire une idée nette de tous les éléments et de toutes leurs variétés, qui peuvent se trouver dans un même tissu.

On étudie ainsi les éléments anatomiques considérés isolément sous le point de vue de la forme, du volume absolu et comparatif, de la régularité ou de l'irrégularité de leurs bords, de leur couleur, etc., pour arriver à interpréter exactement les dispositions observées.

A. De l'interprétation des aspects de l'image des corps incolores examinés sous le microscope.

593. Examinons maintenant les données qui concernent l'interprétation de l'image des objets observés sous le microscope à l'aide de la lumière transmise.

Nous avons vu précédemment (p. 228-229) que l'usage de l'eau ou de tous les autres véhicules liquides ou demi-liquides, et même devenant solides en restant homogènes est de faire avec le couvre-objet que les corpuscules inclus forment un prisme plus ou moins épais, à faces parallèles. Dans ces conditions-là, que les rayons lumineux passent au sein de ce prisme d'un corps moins réfringent dans l'un qui l'est plus et *vice versa* comme les faces d'entrée et de sortie sont parallèles, la direction de la lumière sortant de l'ensemble de ces milieux reste toujours parallèle à la direction de son incidence.

Ce parallélisme persiste même pour les rayons qui ont subi par réfractions successives diverses, dans l'épaisseur de ce prisme, les phénomènes de convergence ou de divergence avec ou sans dispersion des rayons colorés composants (voy. p. 228 et 264), selon la nature des corps et le rapport des angles d'incidence et de réfraction; phénomènes qui représentent précisément les conditions nécessaires de la visibilité des corps transparents incolores traversés par la lumière. (Voy. p. 416 et 417.)

C'est même en raison de ce que la plupart des éléments anatomiques ont un pouvoir réfringent faible, soit d'une manière absolue, soit par rapport aux liquides dans lesquels on les prépare, qu'on emploie des réactifs qui augmentent leur visibilité en augmentant leur indice de réfraction, tandis que d'autres agissent sous ce rapport en les colorant de manière à ce qu'ils ne laissent passer que les rayons de telle ou telle teinte, ou en les coagulant; on les rend alors moins translucides, et ainsi leur image se dessine mieux sur la portion de la rétine qui, à leur place, est moins vivement ébranlée que sur leur pourtour. (Voy. p. 266.)

594. Dans l'examen des corpuscules incolores, comme le sont la plupart des éléments anatomiques, qui font partie du prisme à faces parallèles que représente la préparation (voy. p. 228), nous aurons à tenir compte des particularités qui suivent.

Il importe ici, comme précédemment, de toujours se rappeler que le microscope ne montre en quelque sorte que la coupe des objets

et que pour avoir une idée complète de leur forme, etc., il faut tourner incessamment dans un sens et dans l'autre la vis micrométrique qui nous fait voir successivement tous les points de leur épaisseur. C'est ainsi que nous arrivons à voir si nous avons sous les yeux des sphéroïdes, des cylindres ou des prismes aplatis ou non.

Les corps convexes, agissant ainsi que nous l'avons dit p. 265, à la manière des lentilles convergentes, on reconnaîtra leur forme sphérique à ce que, en partant du point où leur contour paraît net, leur centre deviendra brillant à mesure qu'on éloignera l'objectif; il deviendra foncé, si, au contraire, on le rapproche plus qu'auparavant. Si le corps est concave, comme le sont les hématies, il tend à disperser les rayons lumineux; il faut par suite abaisser l'objectif pour que le centre paraisse clair, et l'éloigner pour qu'il devienne foncé.

Les éléments anatomiques filamenteux, cylindriques ou prismatiques, recevant la lumière dans le sens de leur longueur, sur les faces opposées à celles qui sont tournées vers l'observateur, les rayons réfractés viennent se réunir du côté de l'élément, comme pour les corps sphériques ou lenticulaires; ce qui donne lieu à la formation d'une bande claire, dans le sens de leur longueur, au niveau de leur axe et de la plus grande épaisseur de leur section, bande qui est bordée de deux lignes parallèles plus foncée au niveau de leurs faces latérales. L'intensité des teintes de ces lignes est naturellement proportionnelle au volume et à la puissance réfractive de la substance des éléments. Il en est encore ainsi pour les saillies des écailles et autres objets microscopiques qui séparent les sillons dont elles sont striées, et c'est par là qu'on distingue les dépressions des saillies dans ces circonstances et autres analogues, comme par exemple sur les membranes plissées. Que ces filaments soient isolés ou contigus, ce phénomène a toujours lieu et permet de reconnaître la nature fibrillaire des parties complexes qu'on a sous les yeux, la direction des fibres dont les plans de contiguïté sont indiqués par les lignes foncées signalées plus haut séparant les bandes claires qui correspondent à la substance même de l'élément, s'il est au point de la vision distincte. Si, au lieu d'être parallèles, onduleuses ou non, les fibres sont entre-croisées et superposées, les entre-croisements des lignes claires et foncées donnent à la masse un aspect ponctué et granuleux.

Si enfin la trop forte pression du tissu préparé a rendu ces parties

molles cohérentes, au point d'en faire un amas homogène, celui-ci n'agissant dès lors que comme un seul prisme, la réfraction n'a plus lieu qu'en masse et confusément et non dans chaque fibre isolément.

Quand les cylindres et les prismes tubulés ou non sont onduleux, repliés ou vus par l'un de leurs bouts, le microscope, en raison de ce qui a été dit plus haut (p. 444-445), n'en montre que la section, dont l'aspect même varie selon que le corps est droit ou oblique. Mais, dans ce dernier cas particulièrement, on peut, en faisant tourner la vis micrométrique, en même temps qu'au besoin on fait courir la préparation, on peut, dis-je, suivre l'élément sur toute son étendue, de manière à juger de sa longueur et de ses inflexions.

Il en est de même pour les membranes qui sont planes ou courbes, repliées ou plissées, etc., pour les noyaux ovoïdes, les prolongements qui sont coniques, etc., tels que certains poils des articulations, etc.; lorsqu'ils dirigent l'un de leurs bouts vers l'observateur, ils ne montrent que leur section plus ou moins exactement circulaire, qui les fait ressembler à un sphéroïde, tant qu'on ne tourne pas la vis micrométrique pour juger de leur longueur et de leur forme réelle d'après les changements de largeur de cette section.

En même temps que, par ces mouvements de la vis micrométrique qui permet de parcourir en épaisseur tous les plans du prisme que représente la préparation, on juge de la forme et du volume des objets que celle-là renferme, on constate l'ordre de leur superposition, celui des granules qu'ils renferment, l'aspect que ceux-ci ou toute autre particule présentent selon qu'ils sont ou non au point de la vision distincte, puis de quelle façon la superposition des uns gêne l'examen des autres, etc...

C'est de la même manière encore que l'on reconnaît si la surface d'un corpuscule est lisse ou hérissée de saillies, de lignes, etc., comme le sont beaucoup d'espèces de grains de pollen, etc., et quel est de plus le lieu de l'insertion de ces prolongements, de quelque ordre qu'ils soient.

Sphères creuses et cylindres creux.

595. Les considérations qui vont suivre, empruntées à Nægeli et Schwendener¹, s'appliquent aux cellules cylindriques, aux noyaux offrant des vacuoles, aux grains de fécule à cavités sphériques,

¹ C. Nægeli et S. Schwendener, *Das Mikroskop, Theorie und Anwendung*, Leipzig, 1865, in-8°, p. 199 et suiv. J'en dois l'analyse à M. Thorens, interne des hôpitaux de Paris.

aux gouttelettes huileuses même, etc. Mais, pour simplifier, nous ne ferons que considérer des cylindres creux.

Les rayons lumineux qui vont former l'image de ces objets peuvent être divisés en quatre groupes :

1° Rayons périphériques qui traversent la paroi du cylindre, sans arriver à sa cavité ;

2° Rayons périphériques qui viennent frapper très-obliquement la surface interne du cylindre et qui y sont réfléchis ;

3° Rayons qui pénètrent dans la cavité du cylindre, sont réfléchis sur les parois, et arrivent à l'objectif après avoir subi une double réfraction ;

4° Rayons qui traversent la cavité du cylindre en ligne droite, et subissent une quadruple réfraction.

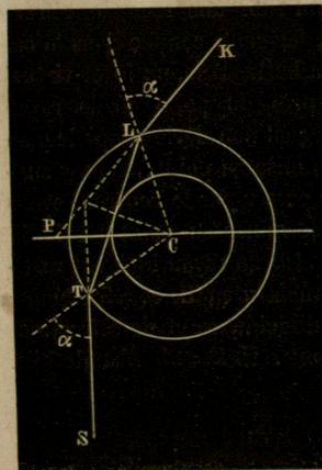


Fig. 111.

Les rayons qui ne subissent que deux réfractions se comportent comme dans un cylindre solide. Mais ce ne sont pas seulement les angles d'ouverture ω et δ , mais bien encore l'épaisseur des parois, qui déterminent jusqu'à quel point ils concourent à éclairer ces parois. Soit $STLK$ (fig. 111), un rayon limite, qui, après sa première réfraction, soit tangent à la circonférence interne; soit R le grand rayon, r le petit rayon du cylindre creux, $R - r$, l'épaisseur de la paroi; et α les angles d'incidence et de réfraction; n , l'indice de réfraction; nous avons : $\sin \alpha' = r$; $\sin \alpha = \frac{n \sin \alpha'}{R}$, d'où $\sin \alpha = \frac{\omega}{R}$. Tous les autres rayons qui traverseront de même les parois, devront donc satisfaire à la condition, $\sin \alpha > \frac{nr}{R}$. Mais il faut en outre que $\alpha - \alpha' < \frac{\omega + \delta}{4}$, ils seront donc perdus pour l'œil, quand $\frac{nr}{R}$ sera égal à une certaine grandeur déterminée. Dans des conditions données de réfraction, ils n'agiront donc que si les parois sont assez épaisses. Ainsi, soit $n = \frac{1,649}{1,555}$ (indices de réfractions entre le flint et l'eau) et

$\frac{r}{R} = 0,8$; on devra donc avoir comme valeurs minimum $\alpha > 81^\circ$, $\alpha' > 53^\circ 8'$; $\alpha - \alpha' = 28^\circ$. La somme des angles d'ouverture, $\omega + \delta$, devra être voisine de $4 \times 28 = 112^\circ$, dans le cas même où seuls les rayons les plus intenses doivent concourir à l'éclairage

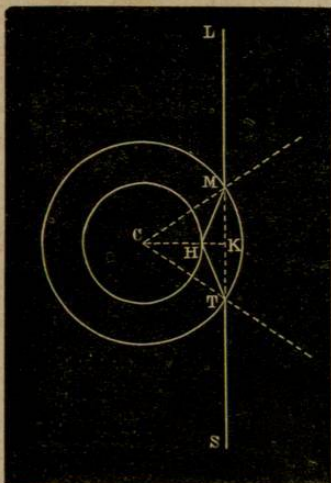


Fig. 112.

des parois du cylindre. Il en résulterait que, si d'autres rayons, suivant une marche différente, ne venaient les éclairer, ces parois paraîtraient complètement noires.

Les rayons qui ont été réfléchis sur la surface interne de la paroi, et ont subi une seconde réfraction, forment, comme dans le cas de la bulle d'air, un foyer virtuel très-près du point où le rayon émergent non dévié coupe le plan de la mise au point, ce plan supposé passer par le centre. Voyons à déterminer ce point : soit ST (fig. 112) un rayon incident vertical, réfléchi en H, et réfracté une

seconde fois en M; α et α' les angles d'incidence et de réfraction, R et r les deux rayons du cylindre; l'angle MKH = η ; l'angle MHK = γ . Le triangle MHK nous donne :

$$\rho = 180^\circ - [(\alpha - \alpha') + \eta];$$

$$\sin \rho = \sin (\alpha - \alpha' + \eta) = \sin (\alpha - \alpha') \cos \eta + \cos (\alpha - \alpha') \sin \eta$$

Dans le triangle CHM, on a : $\frac{CM}{CH} = \frac{\sin \eta}{\sin \alpha'}$;

d'où

$$\sin \eta = \frac{CM}{CH} \sin \alpha' = \frac{R}{r} \sin \alpha'$$

d'où

$$\sin \rho = \sin (\alpha - \alpha') \sqrt{1 - \left(\frac{R}{r} \sin \alpha'\right)^2} + \cos (\alpha - \alpha') \frac{R}{r} \sin \alpha'$$

De cette équation, on peut déterminer la direction du rayon émergent, pour quelque angle d'incidence que ce soit. Dans le cas où $\eta = 90^\circ$, γ est l'angle complémentaire de $(\alpha - \alpha')$; on a alors :

$$\cos (\alpha - \alpha') = \sin \eta = \frac{R}{r} \sin \alpha';$$

d'où

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin \alpha'}{\cos (\alpha - \alpha')}$$

De cette dernière expression, on peut conclure que, quel que soit l'angle d'incidence, on peut supposer une telle relation des diamètres externe et interne que le rayon émergent ait la même direction que le rayon incident. La direction de ce rayon, et par suite la position de son foyer virtuel, reculant d'autant plus vers l'intérieur du cylindre, que α est plus petit; ce foyer virtuel se présente sous le microscope, comme une ligne claire. Il serait assez intéressant, au point de vue pratique, de comparer sa position avec les diverses dimensions relatives de R et de r : c'est ce que représente la table suivante où F indique la distance de ce foyer du centre, ainsi que r, en fraction de R, pris pour unité. L'indice de réfraction

adopté est $\frac{1,5}{1,5359}$.

α	α'	r	F
20°	17° 44'	0,504	0,5420
25°	22° 6'	0,5768	0,4226
30°	26° 26'	0,4460	0,500
35°	30° 43'	0,5121	0,5755
40°	34° 55'	0,5746	0,6427
45°	39° 1'	0,6351	0,7070
50°	43°	0,6872	0,7660
55°	46° 50'	0,7368	0,8191
60°	50° 27'	0,7801	0,8660
65°	53° 48'	0,822	0,9065
70°	56° 48'	0,8594	0,9397
75°	59° 19'	0,8955	0,9659
80°	61° 16'	0,9259	0,9848

Ce foyer virtuel se trouve donc plus éloigné du centre que ne l'est la surface interne du cylindre. Le calcul démontre que tous les rayons, dont les angles d'incidence sont un peu plus forts ou plus faibles que les précédents paraissent provenir de points plus voisins de la périphérie; il en résulte que la partie la plus interne de la paroi dans une étendue égale à $F r$, se trouve dans l'ombre, tandis que la portion périphérique est faiblement éclairé; son éclairage est ensuite augmenté encore par l'effet des premiers rayons que nous avons considérés.

Il est donc complètement faux que la cavité d'une cellule cylindrique soit en réalité aussi grande qu'elle le paraît, d'après la situation de son ombre périphérique. L'erreur est d'autant plus grande que l'indice de réfraction est plus considérable. Les cavités dans l'inté-

rieur des grains de fécule, des noyaux, des gouttelettes d'huile, etc., paraissent donc toujours plus grandes qu'elles ne le sont réellement.

596. Quand les parois sont plus minces, la réflexion est plus complète, elle peut même être totale ; dans ce cas, la ligne claire a une très-grande intensité. C'est ce qui se voit surtout dans les cylindres de verre pleins d'air et plongés dans l'eau.

De l'inégale réfraction des divers rayons, il résulte que les bords de la ligne claire sont grises, bleues en dehors, rouges en dedans.

Le tableau suivant, indique les variations de distance de la ligne claire du centre, le grand rayon étant pris pour unité, en faisant varier r et l'indice de réfraction.

RAYON DE LA CAVITÉ. r	DISTANCE SÉPARANT LA LIGNE CLAIRE DU CENTRE.		
	$n = 1,5$	$1,4$	$1,35$
0,5	1,5356	1,5356	1,5356
0,6	0,5598	0,5256	0,5054
0,7	0,6707	0,6284	0,6064
0,8	0,7798	0,7329	0,7075
0,9	0,8842	0,8366	0,8085
	0,9698	0,9378	0,9095

597. Voyons maintenant les rayons qui pénètrent dans la cavité et sont réfléchis sur les parois, de manière à n'arriver à l'objectif qu'après quatre réfractions et une réflexion. Ces rayons déterminent la production d'une seconde ligne claire, qui correspond au point où le rayon émergent non dévié coupe le plan de la mise au point.

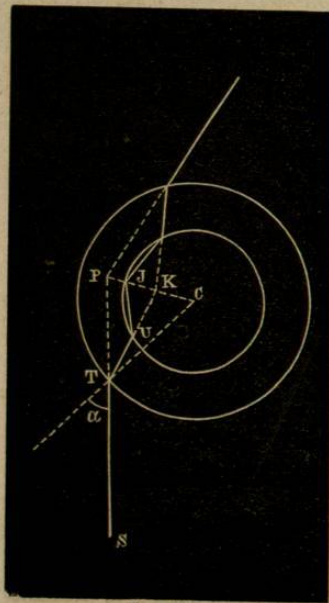


Fig. 113.

$$CKT = (\alpha'' - \alpha') + \alpha'' = 2\alpha'' - \alpha'$$

Soit ST (fig. 113) un rayon incident vertical ; α et α' , ses angles d'incidence et de réfraction ; α'' et α''' les angles d'incidence et de réfraction à la surface externe, $CPT =$ la moitié de l'angle fait par la direction du rayon incident avec le rayon émergent correspondant $= \rho$. Nous avons $\rho = CKT - (\alpha - \alpha')$; ou comme CKT est un angle extérieur au triangle UKJ .

ou

$$\rho = 2\alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha) ;$$

formule dans laquelle nous avons :

$$\sin \alpha'' = \frac{R}{r} \sin \alpha' = \frac{R}{nr} \sin \alpha,$$

$$\sin \alpha''' = n \sin \alpha'' = \frac{R}{r} \sin \alpha,$$

n étant l'indice de réfraction de la substance qui compose le cylindre. Pour qu'un rayon sorte dans la même direction que celle dans laquelle il est arrivé, il faut que :

$$\rho = 2\alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha) = 90^\circ.$$

Si le milieu ambiant est de l'eau, ainsi que le milieu renfermé dans le cylindre, si l'indice de réfraction $n = \frac{1,5}{1,3356}$, on aura pour les valeurs relatives des deux rayons $\frac{r}{R}$, les valeurs des rayons indiqués de α , et, par suite, les distances F de la ligne claire au centre du cylindre :

$\frac{r}{R}$	α	α'	α''	α'''	F
0,8	51°48'	44°24'	61°	79°15'	0,7859
0,8904	61°30'	51°30'	61°50'	80°45'	0,8788

Dans la seconde ligne, on a fait $\frac{R}{r} = \frac{1}{n}$,

d'où

$$\sin \alpha'' = \sin \alpha \text{ et } \alpha'' = \alpha$$

En comparant la première colonne avec la dernière, on voit que F est un peu plus petit que r , en d'autres termes que la ligne claire tombe dans l'intérieur de la cavité.

La distance de cette ligne avec la paroi varie avec l'indice de réfraction ; α''' est indépendant de n , il en résulte que dans la formule :

$$2\alpha''' + [\alpha + (\alpha'' - \alpha')] = 90^\circ$$

La valeur entre crochets diminue quand n augmente, car alors α' et α'' diminuent, et leur apparence devient plus faible. Il faut, dans ce cas, que α soit plus grand pour que la formule soit vraie ; la

ligne claire se trouvera plus en dedans; elle se trouvera plus en dehors, si n diminue, mais ces divergences sont si faibles qu'on peut les négliger dans la pratique. Ex. : $r = 0,8 R$.

	$n = 1,1251$	$1,2545$	$1,6490$
Valeurs correspondantes de F	$= 0,7859$	$0,7799$	$0,7694$

L'indice de réfraction restant le même, et le rapport des rayons variant, la différence entre r et F augmente jusqu'à ce que $r = \frac{1}{2} R$, et diminue quand $r < \frac{1}{2} R$. Mais ces variations sont assez faibles pour pouvoir être négligées. Ex : $n = 1,649$.

$r = 0,8$	$0,6$	$0,5$	$0,4$	$0,2$
F	$0,0506$	$0,0565$	$0,0572$	$0,0545$
		$0,0572$	$0,0545$	$0,0211$

Si le cylindre creux est rempli d'eau et plongé dans l'eau, la ligne claire intense a à peu près la même place que dans une bulle d'air, les parois du cylindre n'influent que d'une quantité inappréciable pour la rapprocher du centre. C'est ce que montre le tableau suivant, indiquant les distances de la ligne claire du centre, dans un cylindre creux et dans un cylindre d'air de même dimension, abstraction faite des parois.

L'indice de réfraction absolue de la paroi du cylindre = 1,4; celui de l'eau = 1,3 556.

	$r = 0,8 R.$	$r = 0,7 R.$	$r = 0,5 R.$
Cylindre creux.	0,5485	0,4792	0,8415
Cylindre d'air.	0,5501	0,48785	0,5442
Différence.	0,0022	0,0026	0,0027

L'influence de la paroi se trouve donc bornée à la troisième décimale, tant que R est plus petit que 100 mik. la déviation imprimée à la ligne claire par la paroi est moindre que 1 millième de millimètre, et peut être négligée.

598. La ligne claire intérieure se trouve plus près du centre que tout autre point éclairé de la même façon. Plus en dedans d'elle, il y a ombre complète (en ne tenant compte que des rayons que nous considérons actuellement); plus en dehors, il se produit une pénombre faiblement éclairée, allant en s'obscurcissant à mesure qu'elle s'approche de la ligne claire externe. Dans des circonstances favorables, d'autres lignes claires se montrent dans l'intérieur de la pénombre; ce phénomène est dû à des réflexions multiples.

599. Considérons enfin le quatrième ordre de rayons, ceux qui subissent quatre réfractions, sans réflexion. Il est évident, qu'ils

éclairent le centre du cylindre creux, tandis que vers les bords, ils

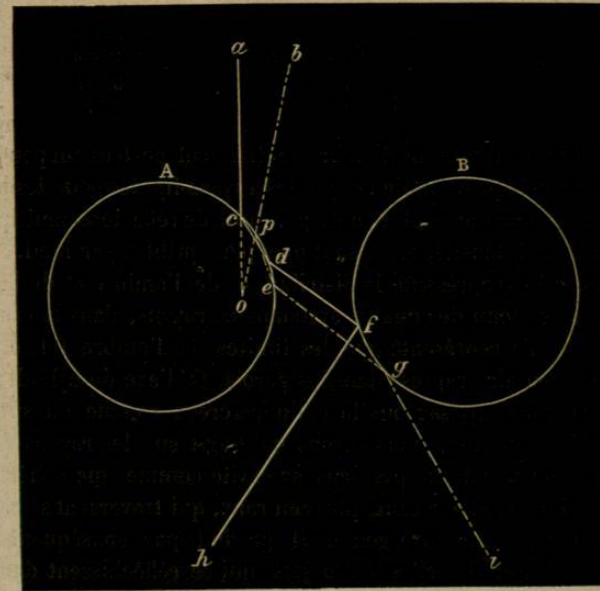


Fig. 114.

se perdent pour notre vue, les points où commence la pénombre et où elle passe à l'ombre, complète suivant les angles d'ouverture $\omega \propto \delta$, l'épaisseur des parois et l'indice de réfraction des divers milieux.

Supposons, comme précédemment, le rayon incident ST , (fig. 114), réfléchi sur la paroi interne et émergent en R' , nous aurons pour l'angle de divergence :

$$2\rho = 4\alpha'' + 2\alpha' - 2(\alpha'' + \alpha).$$

Par l'absence de réflexion, la direction du rayon est modifiée comme si, dans la figure, la ligne CN' avec le rayon réfléchi correspondant se transportait de droite à gauche, jusqu'à coïncider avec CN ; dans ce cas, l'angle de divergence 2ρ , s'est accru de l'angle $N'CN = 180 - 2\alpha''$; d'où nous tirons pour le rayon quatre fois réfracté :

$$\rho = 90^\circ + \alpha'' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha).$$

On peut donc déterminer les limites de l'ombre complète et de la

pénombre, soit $\omega = 60^\circ$, $\delta = 12^\circ$, $n = \frac{1,5}{1,5556}$, nous aurons

r	LIMITES	LIMITES
	DE LA PÉNOMBRE.	DE L'OMBRE.
0,8	0,862	0,947
0,5	0,557	0,57

En réalité les limites de l'ombre se trouvent portées un peu plus en dedans; cela provient de ce que les rayons-limites pour lesquels par exemple $\alpha = 80^\circ$ et plus, ont, par suite de réflexions multiples, perdu de leur intensité, et ne sont plus perceptibles par l'œil.

La figure 115 représente la distribution de l'ombre et de la lumière pour chacun des quatre systèmes de rayons, dans le cas où $R = 2r$. On n'a représenté que les limites de l'ombre totale, les lignes horizontales représentent les parois, CC l'axe du cylindre.

600. Si nous envisageons le cylindre creux comme un simple appareil de réfraction, nous voyons qu'il agit sur les rayons latéraux, qui ne pénètrent pas dans sa cavité comme une sphère de même épaisseur, et sur ceux, plus centraux, qui traversent sa cavité comme une lentille divergente. Il produit par conséquent des images réelles et virtuelles des objets qui se réfléchissent dans le miroir, et l'une et l'autre de ces images sont visibles dès que le

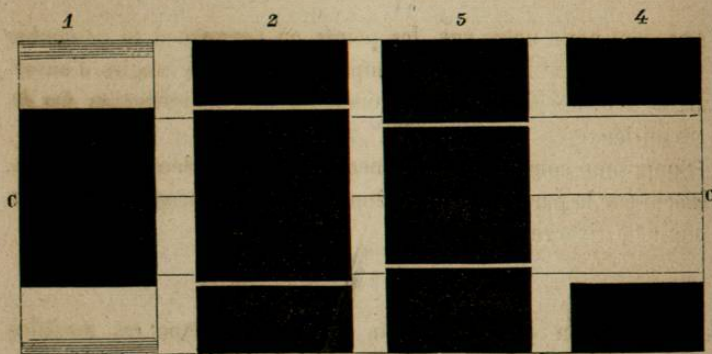


Fig. 115.

tube du microscope est monté ou descendu de façon à ce qu'elles frappent l'œil.

La distance du foyer principal est approximativement la même que celle d'une sphère; celle du foyer virtuel peut se calculer d'après les formules connues. Ainsi n , étant l'indice de réfraction absolu, R et r les rayons, nous aurons dans les cas suivants, pour

valeurs de F , c'est-à-dire pour la distance négative du foyer à l'axe du cylindre.

MILIEU.	VALEUR DE F ,	VALEUR DE F
	$n = 1,15$	$n = 1,6$
$2 = 0,5$	dans l'eau 3,514 R = 6,628.r	2,189 R = 4,578.r
	dans l'air 1,51 R = 5.r	1,533 R = 2,666.r
$2 = 0,1$	plein d'air et entouré d'eau 0,571 R = 1,142.r	0,45 R = 0,9.r
	dans l'eau 0,565 R = 4,65.r	0,258 R = 2,58.r
	dans l'air 0,166 R = 1,66.r	0,148 R = 1,48.r

Ce tableau montre approximativement l'influence exercée sur la distance focale par le rapport des rayons entre eux et par la nature du milieu. On comprend facilement que, quand r est très-petit, relativement à R , on n'a plus à considérer la courbure de la surface cylindrique.

L'effet optique est le même que celui qui est produit par une cavité de même diamètre, renfermée dans une substance homogène, de la densité de la membrane du cylindre et limitée intérieurement et extérieurement par des surfaces planes. Quand $\frac{r}{R}$ s'approche de l'unité,

la distance focale augmente de plus en plus, et devient enfin égale à l'infini. Quant à l'image virtuelle, elle n'est perçue que dans certaines limites, r et R ayant des valeurs absolues très-faibles.

La mensuration expérimentale de cette distance focale donne des résultats plus faibles; car, dans ce cas, on n'a affaire qu'aux rayons latéraux, qui sont plus ou moins obliques relativement à l'axe du microscope, suivant la nature et la force de l'objectif.

L'image d'un cylindre creux peut être regardée comme une source de lumière; en mettant le microscope au point pour ce cylindre, on aura si l'instrument n'est pas corrigé au point de vue de l'achromatisme, une image incolore; si on le baisse ou si on l'élève, on aura des bords bleus ou rouges. Il en résulte que, si l'on examine de petites cavités, comme la lumière d'une fibre de liber, le centre d'un grain d'amidon, on les verra incolores et clairs, quand le microscope sera abaissé, rouges, puis foncés à mesure qu'on l'élèvera. La mise au point du centre de la cavité se trouve entre ces deux extrêmes, et si les dimensions sont assez petites, l'image sera légèrement rouge.

Objets de forme irrégulière; membranes à dépressions ou à trous de faibles dimensions.

601. Il est évident que de petites dépressions cupulaires

(fig. 116) agissent comme des lentilles concaves, et que, le microscope étant mis au point convenablement, elles donnent l'image virtuelle du diaphragme; et, n'étaient leurs faibles dimensions, il en serait de même pour l'œil nu. Si la dépression a une forme prismatique, ou



Fig. 116.

cylindrique, de telle façon que le fond en soit plan, l'image en disparaît pour l'œil nu, tandis qu'elle reste visible au microscope, car l'angle d'ouverture est incomparablement plus grand. Qu'on fasse évaporer sur le porte-objet une solution saline; il se formera une lamelle homogène, mais criblée de trous, de dépressions, de fentes, de sillons de formes très-diverses; dans la plupart, on verra l'image du diaphragme avec assez de netteté, quand on baissera le foyer un peu au-dessous du plan moyen de la mise au point.

La figure 117 montre la production de ces images. Sur les bords de

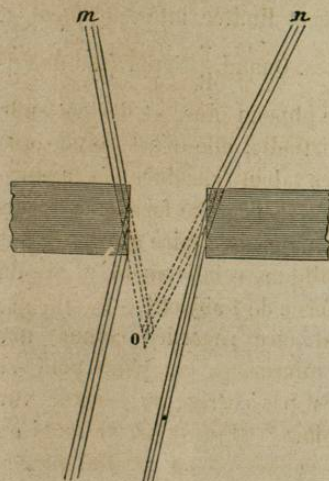


Fig. 117.

l'ouverture, les rayons lumineux arrivant d'un point très-éloigné, et, par conséquent, à peu près parallèles, sont déviés les uns en n , les autres en m , par réflexion totale; les deux faisceaux ainsi produits, semblent provenir de leur point de croisement o , c'est là que se forme l'image virtuelle de la source lumineuse. Que celle-ci se dévie à droite, l'image se verra dans le même sens.

Il en est de même, que la surface réfractante soit régulière ou non; que les rayons soient parallèles, convergents ou divergents, il n'en résultera qu'une augmen-

tation ou une diminution de l'espace où se croisent leurs prolongements; mais toujours cet espace restera très-petit, il ne paraîtra à l'œil qu'un simple point.

Si l'œil ne reçoit que les rayons qui ont traversé l'ouverture dans un seul sens, de telle façon, qu'ils ne se croisent point, on aura une image confuse, qui paraîtra d'autant plus grande que l'on abaisse davantage le plan de la mise au point.

En se servant d'un objectif non corrigé, en élevant l'objectif

au-dessus du plan de la mise au point, on verra le centre de l'ouverture rouge, le bord bleu et l'inverse quand on l'abaissera. C'est le cas qui se présente dans la plupart des instruments; quand donc on met au point pour le centre de petits pores, de petites fentes, etc., ils paraissent toujours plus ou moins rouges, suivant la nature des lentilles du microscope (voy. p. 177). Souvent, on remarque aussi le liséré bleu, malgré ses plus faibles dimensions.

Membranes ayant une surface plane et une surface ondulée.

602. Dans ce cas (fig. 118), les saillies agissent comme des lentilles convergentes, les dépressions comme des lentilles divergentes. Si l'on met au point pour un niveau mn plus élevé que les images

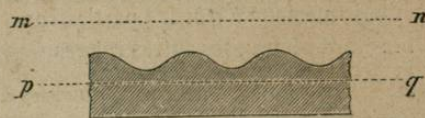


Fig. 118.

réelles des saillies, celles-ci paraissent claires; les dépressions sont foncées ou rouges, suivant leur degré de courbure; baisse-t-on le microscope, les saillies deviennent bleues, les dépressions restent rouges, jusqu'à ce que l'instrument soit au point pour le plan pq de leurs images virtuelles. Baisse-t-on davantage, celles-ci deviennent bleues; les saillies, au contraire, paraissent rouges.

Si les saillies sont très-prononcées, et à base étroite, il s'ajoute encore d'autres apparences dues à des réflexions dont nous parlerons plus tard.

Si la surface de l'objet, au lieu d'être ondulée, est en zigzag, l'effet produit sera le même, les angles saillants (fig. 119) donnant toujours des images réelles, les angles rentrants des images virtuelles.



Fig. 119.

Membranes à surfaces ondulées parallèles.

603. Une pareille membrane peut être regardée comme formée par une suite de cylindres creux, traversant alternativement en haut leur face convexe et en bas leur face concave.

Un cylindre creux se comporte comme une lentille concave; ces portions de cylindre feront donc diverger la lumière. Les points principaux coïncident avec le centre de courbure, quand le milieu environnant est de l'air, et s'approchent au contraire des surfaces de réfraction quand c'est de l'eau ou un autre liquide (fig. 120).