

Les plans principaux d'une membrane ainsi ondulée, dont les images virtuelles sont à égale distance les unes des autres, ne sont pas au même niveau. Pour les parties convexes supérieurement, ils se trouvent sur la ligne *ab*, pour les autres sur la ligne *cd*. Les



Fig. 120.

images virtuelles sont donc alternativement hautes ou basses, et, comme elles agissent à la façon de petites sources lumineuses, il se produit diverses couleurs suivant l'état de la mise au point. Ainsi, si le microscope est mis au point pour un plan, supérieur à *cd*, mais inférieur à *ab*, les parties convexes (fig. 120) supérieurement seront bleues, les autres rouges.

*Couches denses et aqueuses alternantes.*

604. Des couches aqueuses, alternant avec des couches plus denses, agissent comme des fentes dans une substance homogène, remplies d'un liquide dont l'indice de réfraction est à celui de la substance homogène, dans le même rapport que celui des couches aqueuses aux couches plus denses. Sous le microscope, on voit des lignes alternativement bleues et rouges, correspondant aux images virtuelles et réelles des couches, qui ne se trouvent pas exactement au point. Le changement de clarté, la plus ou moins grande netteté des ombres, qui s'obtiennent en changeant la distance de l'objet à l'objectif, permettent à un œil habitué de reconnaître approximativement les diverses épaisseurs de ces couches. Il est impossible, théoriquement, de distinguer par ce seul moyen si l'on a affaire à des couches aqueuses ou réellement à des fentes.

*Saillies et dépressions comparées à l'alternance de couches de densités différentes.*

605. Il est impossible, en regardant un objet dans l'eau, de distinguer si des dessins très-fins, comme ceux des Diatomées, des cellules végétales, proviennent de la forme même de la membrane, ou d'une différence de densité de couches qui la composent. Mais si on met l'objet dans un milieu plus réfringent que les parties les plus denses, dans le sulfure de carbone, par exemple, le dessin n'est pas modifié, s'il résulte de la présence de parties inégalement denses; il change, au contraire, s'il est produit par des inégalités de la surface; la distribution de l'ombre et de la lumière en est intervertie, les pores paraissent des saillies, et inversement.

En effet, si l'objet est limité par des surfaces planes, il en est de même du sulfure de carbone ambiant; celui-ci n'agit que comme une lamelle de verre, il relève l'image de l'objet sans la changer. Si, par contre, la surface est inégale, la surface de contact du liquide ambiant est inégale aussi, en sens inverse, et comme ce liquide est plus réfringent, c'est lui qui détermine la production de l'image microscopique; l'objet n'agit que comme une cavité de même forme, au milieu d'une substance réfringente.

Il va sans dire que l'objet ne doit pas être desséché; autrement, les couches aqueuses primitivement, feraient des saillies par suite de la plus grande quantité d'eau qu'elles ont perdue.

*B. De l'interprétation des aspects de l'image des corps colorés examinés sous le microscope,*

606. Les personnes qui ne sont pas habituées aux recherches microscopiques et aux autres études dioptriques, s'attendent, en regardant les éléments anatomiques d'un tissu ou d'une humeur, à leur trouver la même couleur que celle qui est offerte par les parties visibles à l'œil nu qu'ils forment par leur réunion.

Mais il faut rappeler en premier lieu que les corpuscules placés sous le microscope ne représentent pas une quantité de matière suffisante pour que les rayons de teinte spéciale qu'ils laissent passer, puissent impressionner la rétine autant que ceux qui sont réfléchis par un grand nombre de ces corps. Aussi leur coloration ne devient bien sensible que lorsqu'on examine à un faible grossissement un certain nombre de corpuscules superposés. C'est ce dont les globules rouges du sang et les faisceaux striés des muscles rouges offrent des exemples.

De plus, certaines teintes s'éteignent de plus en plus à mesure qu'on augmente le pouvoir grossissant employé pour examiner le même objet coloré. Il en est ainsi pour les corps colorés en rouge comme les globules du sang, etc., d'une manière bien plus marquée que pour ceux qui sont colorés en jaune, en vert, en bleu et en violet. C'est ce qui fait qu'à un fort grossissement les hématies sont presque incolores. Cela tient certainement à ce qu'étant les moins réfrangibles de tous ceux du spectre, et étant aussi des moins éclairants, les rayons rouges impressionnent de moins en moins la rétine à mesure que la petitesse et la courbure des lentilles laissent arriver dans l'œil un moindre nombre des rayons lumineux qui traversent l'objet étudié.

Il est des corps qui, vus à l'œil nu, semblaient devoir être incolores ou peu colorés sous le microscope, et qui, là, au contraire, offrent un ton brillant, jaunâtre ou non, avec un contour foncé; particularité due alors au fort pouvoir réfringent de leur substance plus encore qu'à leur coloration propre. Telles sont les fibres élastiques, certains filaments cornés ou pileux, etc.

Il faut noter de plus que la plupart des matières colorantes d'origine organique sont dichroïques, c'est-à-dire que les rayons colorés qu'elles réfléchissent sont autres que les rayons colorés par lesquels elles se laissent traverser, de sorte que, vus à l'œil nu, ils ont une teinte autre que vus par lumière transmise sous le microscope. On sait, du reste, que les rayons que les corps laissent passer, aussi bien que ceux qu'ils réfléchissent, sont ceux-là seulement qu'ils n'absorbent pas, qu'ils n'utilisent pas. C'est ainsi que les globules du sang et les faisceaux striés des muscles rouges sont d'un jaune pâle rougeâtre sous cet instrument, que les corps gras qui sont blancs à la lumière réfléchie, colorent en jaune celle qu'ils réfractent, sans parler de leur contour foncé et irisé; irisation qui ne tient pas à leur couleur, mais à leur pouvoir dispersif (voy. p. 265). C'est encore ainsi que la matière colorante biliaire perd sous le microscope de la teinte verte qu'elle avait pour prendre un ton orangé ou d'un jaune brunâtre.

Les grains de chlorophylle, les matières colorantes, jaunes et violettes, des plantes et de divers animaux conservent, au contraire, par lumière transmise, la couleur qu'elles ont quand elles sont vues à l'aide de la lumière réfléchie. Il en est ainsi également de certaines matières colorantes rouges des plantes, de celle de la cochenille, etc. Il faut du reste, dans la détermination de la teinte des corps dont la couleur est peu prononcée, tenir compte de son mélange à celle qui est parfois donnée par les opticiens à leurs jeux de lentilles (voy. p. 177, § 218).

C. *Interprétation des aspects de l'image des globules graisseux et autres analogues vus sous le microscope.*

607. Parmi les corps qui frappent l'attention au début des observations microscopiques, il faut signaler les globules graisseux, en général, quelles qu'en soient la forme et la consistance, et les bulles d'air. Les premiers frappent d'une part en raison de la teinte jaune plus ou moins prononcée, dont nous venons de parler qui est commune à la plupart des composés de cet ordre, mais surtout en raison

de leur centre brillant avec un contour large et noirâtre, toujours au moins de teinte foncée, et bordé lui-même souvent d'une bande irisée qui fait qu'on croit à chaque instant ne pas les avoir bien placés au point de la vision distincte.

Nous avons déjà indiqué quelle est la cause physique de ces diverses particularités (p. 266). Notons encore que, comme pour les autres corps sphériques vus par lumière transmise, leur centre devient de plus en plus brillant et plus étroit, à mesure qu'on en éloigne l'objectif à l'aide de la vis micrométrique, pendant que leur contour devient plus foncé, plus large, plus mal limité en dehors. Leur centre clair s'élargit en pâlisant, leur contour se rétrécit et pâlit, puis se circonscrit d'une bande de lumière diffuse quand, au contraire, on en rapproche l'objectif. Lorsque, ainsi que cela est commun, les corpuscules graisseux ont une forme cylindroïde, sous une longueur plus ou moins considérable, ces particularités se voient encore, seulement il faut les observer dans le sens de la longueur des objets examinés.

608. L'aspect de l'intérieur des gouttes d'huile est du reste notablement modifié dans les cas assez fréquents où, des gouttes graisseuses ayant été agitées avec de l'eau, des liquides mucilagineux ou albumineux, des gouttelettes d'eau ont été emprisonnées par l'huile, ou partiellement enchevêtrées à sa surface; on a alors de véritables vacuoles occupées par un liquide réfractant moins fortement la lumière que la matière qui les environne; mais il ne faut pas les confondre avec les vacuoles qui se produisent spontanément dans les *gouttes sarcodiques* (voy. Dujardin *Infusoires*, 1841, p. 41), dont il sera question dans le premier chapitre de la *troisième partie* de ce livre.

609. On peut considérer, disent Nägeli et Schwendener (*loc. cit.*, p. 196), une goutte d'huile flottant dans l'eau comme un corps de forme quelconque, à section verticale circulaire, plongé dans un milieu moins réfringent; soit  $\omega$  et  $\delta$  les angles d'ouverture de l'objectif et du diaphragme; MN (fig. 121) le plan de la mise au point; STLF un rayon lumineux réfracté, dont le prolongement de la portion émergente coupe en P le plan de la mise au point MN;  $\alpha$  et  $\alpha'$  les angles d'ouverture et de réfraction. Nous avons pour la moitié de l'angle de divergence :

$$\text{LOT ou } \rho - \rho = \frac{1}{2} \text{LOT} = \text{LOC};$$

mais

$$\text{LOC} = 1,80 - (90 + \text{TLO}) = 90 - \text{TLO}; \text{rTLO} = \alpha - \alpha'$$

donc

$$\rho = 90 - (\alpha - \alpha')$$

Si nous prenions ce rayon comme le rayon limite du cône lumineux venant à l'œil, nous établirions comme ci-dessus, que

$$\rho = 90 - \frac{\omega - \delta}{4}$$

Si nous considérons des rayons plus internes de ce cône, nous voyons que pour eux nous aurons

$$\rho > 90 - \frac{\omega - \delta}{4}$$

ce qui amène à l'équation

$$\alpha - \alpha' < \frac{\omega - \delta}{4}$$

Pour le point-limite, éclairé par le rayon le plus extrême, nous avons:

$$\rho = 90 - \frac{\omega + \delta}{4},$$

d'où

$$\alpha - \alpha' = \frac{\omega + \delta}{4}$$

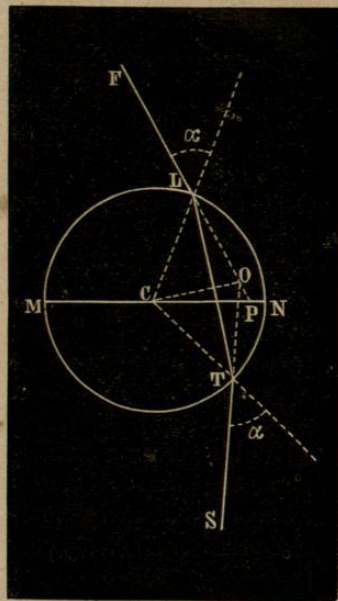


Fig. 121.

Supposons que le prolongement d'un rayon périphérique émergent vienne couper le plan de la mise au point en P, à la surface de la goutte d'huile (fig. 122); Si alors, nous avons  $\alpha - \alpha' < \frac{\omega + \delta}{4}$

ou  $\alpha - \alpha' < \frac{\omega - \delta}{4}$  l'ombre totale fera défaut dans le premier cas, la pénombre même, dans le second. La goutte sera entièrement éclairée, d'une façon uniforme. Cela arrive quand l'indice de réfraction = 1,5;  $\omega = 60^\circ$ ;  $\delta < 22^\circ$ ;  $\alpha - \alpha'$  sera égal à  $91/2^\circ$ , et  $\frac{\omega - \delta}{4} > 91/2$ . Des gouttelettes d'huiles des grains sphériques d'amidon, des poils cylindriques, etc., etc. dont l'indice de réfraction ne diffère pas beaucoup de celui que nous venons d'admettre, ne présentent aucune ombre périphérique, quand on emploie un objectif puissant, tandis que, si l'on se sert de faibles objectifs, dont l'angle de l'ouverture est plus petit, cette ombre se montre d'autant plus

nette que l'objectif est plus faible. Elle aura son maximum quand on regardera à l'œil nu, car alors  $\omega = 0$ . — Si au lieu d' $\omega$  c'est  $\delta$  qui varie, on observera l'inverse.

Si les rayons incidents sont parallèles, si  $\delta = 0$ , les limites de l'ombre et de la pénombre se confondent; il n'y a pas de pénombre; à mesure que  $\delta$  augmente, l'ombre se rétrécit, la pénombre augmente et atteint le centre, quand  $\delta = \omega$ . Si  $\delta > \omega$ , la limite de la pénombre s'écarte du centre, ainsi que celle de l'ombre, et elles arrivent toutes deux à la périphérie plus ou moins tôt, suivant la valeur d' $\omega$ . Le fait expérimental est d'accord (ou à peu près, car il faut tenir compte des déperditions de la lumière) avec ces résultats théoriques. Que l'on regarde par le tube du microscope, après avoir enlevé les lentilles, une sphère ou un cylindre de verre placé dans le cône lumineux incident, le milieu seul de l'objet paraîtra éclairé comme un point ou une ligne, et les bords en seront larges et noirs. Si on regarde l'objet libre,  $\delta$  étant alors très-grand, il paraîtra clair dans toutes ses dimensions.

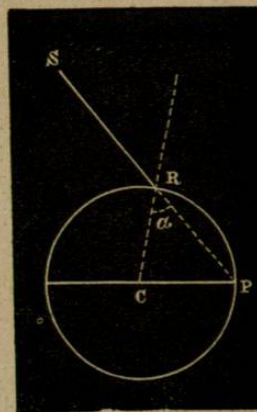


Fig. 122.

La distance focale d'une sphère ou d'un cylindre, en considérant les rayons incidents parallèles, est donnée par la formule

$$f = \frac{n'r}{2(n' - n^o)}$$

où  $n'$  et  $n^o$  représentent les indices de réfraction de la substance de la sphère et de celle du milieu ambiant, et  $r$  le rayon de la sphère. Mettant le microscope au point pour ce niveau, on aperçoit l'image réelle d'objets éloignés, dont la lumière émise arrive à travers le diaphragme sur l'objet. En rendant les rayons le plus parallèles possible, on peut, dans certains cas, mesurant la grandeur de l'image, celle de l'objet et la distance de l'objet, connaissant les indices de réfraction, arriver à calculer cette formule jusqu'à la deuxième décimale. On se sert à cet effet de la formule des foyers conjugués

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

D. *Interprétation des aspects de l'image des bulles d'air sous le microscope.*

610. Les petites bulles d'air, d'acide carbonique, etc., qui souvent sont emprisonnées dans le liquide de la préparation se présentent sous forme de sphères ou d'ovoïdes de teinte générale foncée, d'aspect métallique, de dimensions diverses. Quand elles sont au point de la vision distincte, elles offrent un contour net et elles sont uniformément d'un noir bleuâtre avec un centre plus clair, d'un blanc jaunâtre ou verdâtre métallique, si elles sont de moyen volume et formant un point très-brillant, jaunâtre si elles sont très-petites. Ce centre devient très-brillant, net, et le bord de la bulle s'entoure de zones alternativement claires et foncées puis devient diffus et s'efface quand on en rapproche l'objectif. Le centre et le contour deviennent au contraire de plus en plus noirs, puis diffus quand on éloigne celui-ci.

Cet aspect des bulles d'air vues par lumière transmise tient à ce que, en raison de la courbure et du poli de leur surface, elles réfléchissent en diverses directions, sans la laisser passer jusqu'à l'objectif, une grande partie de la lumière que le miroir projette sur elles. Elles ne sont vues, par suite, que d'après le mécanisme qui nous laisse apercevoir les corps opaques, qui arrêtent la lumière pendant que les rayons qui passent autour d'eux éclairent sans obstacles le reste du champ du microscope et impressionnent vivement la rétine.

Il n'y a exception dans les bulles d'air que pour une portion des rayons qui avoisinent la ligne étendue du centre du miroir au centre des lentilles du microscope, en passant par le centre de la sphérule gazeuse. Ceux-là traversent cette dernière, et donnent à ce centre le ton brillant dont il a été question et qui tranche sur la teinte noire du contour. C'est précisément en raison de cette réflexion de la plus grande partie de la lumière qui tombe à la surface mêmes des bulles d'air que celles-ci paraissent blanches et brillantes, quand elles sont accumulées en nombre assez grand pour être visibles à l'œil nu comme dans l'écume. Les faits indiqués précédemment, et ces derniers doivent être familiers à tous les observateurs, non-seulement dans le but d'arriver à distinguer aisément des objets préparés les bulles d'air accidentellement dispersées dans la préparation, mais aussi parce que souvent des gaz peuvent se trouver naturellement dans certains organes microscopiques

dont il faut pouvoir interpréter exactement la nature d'après leur aspect. C'est, par exemple en raison des particularités physiques indiquées plus haut que les ostéoplastes et leurs canalicules sont noirs sur les préparations d'os secs dans lesquels l'air a remplacé le liquide que contenaient d'abord ces cavités, tandis que ces mêmes parties réfléchissent la lumière en blanc, lorsque, au lieu d'examiner la préparation par lumière réfractée on l'étudie à l'aide de la lumière réfléchie. Les trachées des insectes et des arachnides offrent de fréquents exemples du même genre et il en est encore ainsi pour certains poils et autres cellules des plantes. Notons qu'il est des cas dans lesquels la lumière ainsi réfléchie s'associant à la lumière traversante, donne un ton gris particulier aux objets ; cela oblige de placer un écran devant la préparation qui arrête la lumière incidente, pour éviter les tons mixtes dus au mélange de l'arrivée à l'œil des deux sortes de lumières.

Quand les bulles sont grosses et surtout quand elles sont déprimées entre le porte-objet et la lamelle supérieure, l'angle formé avec leur surface par les rayons qui la frappent est assez ouvert pour qu'une partie de ceux-ci pénètrent dans la bulle, de manière à ce que, réfractés par le gaz, ils en sortent et arrivent sur l'objectif, puis de là jusqu'à l'œil de l'observateur. Le centre de ces bulles est par suite clair, mais pourtant un peu moins que le reste du champ du microscope, et bleuâtre tandis que leur pourtour, dont la courbure est telle qu'il réfléchit la lumière comme il a été dit plus haut, est noir, puis présente, quand on en éloigne ou en rapproche l'objectif, les modifications de ton et de netteté déjà mentionnées.

Quand les bulles en plus ou moins grand nombre se touchent au sein du liquide sans se réunir, la lumière est réfléchie latéralement de l'une sur l'autre sous des incidences qui lui permettent de traverser le gaz, et d'arriver à l'objectif après une réfraction qui la concentre sous forme de bandes claires rayonnant avec régularité du point commun de contact des bulles jusqu'au bord intérieur du contour foncé de chaque bulle.

Il n'est pas sans importance sous ce rapport d'étudier les mouvements et les changements d'aspect que montrent les bulles de gaz qui grandissent et se réunissent plus ou moins brusquement sous les yeux de l'observateur, quand on traite des carbonates par les acides sous le microscope.

Au lieu d'être emprisonnés sous forme de bulles, les gaz sont souvent disposés en traînées ou cylindres plus ou moins étroits, subdi-

visés ou non non, de forme bizarre. Leur centre et leurs bords présentent, quand on en rapproche ou en éloigne l'objectif les changements indiqués ci-dessus (p. 464); leur forme et leurs dimensions seules sont différentes.

611. Quand une préparation se dessèche et que l'air remplace, entre les deux lames de verre, le liquide évaporé, il reste souvent des bandes étroites de ce dernier, prenant des figures variées pouvant ressembler à des trainées de gaz; elles sont limitées par un contour foncé de teinte analogue à celle du pourtour des bulles et des trainées de gaz, parce que là c'est en effet l'air qui emprisonne en quelque sorte le liquide dont les portions contiguës à ce dernier arrêtent la lumière en la réfléchissant vers sa source comme le font les bulles. Mais on les distingue aisément, en ce qu'en approchant l'objectif des bandes liquides ainsi limitées, leur centre brillant devient foncé avant de disparaître ou de devenir diffus, inversement à ce qui a lieu pour les gaz; il pâlit, puis s'obscurcit, au contraire, quand on éloigne l'objectif.

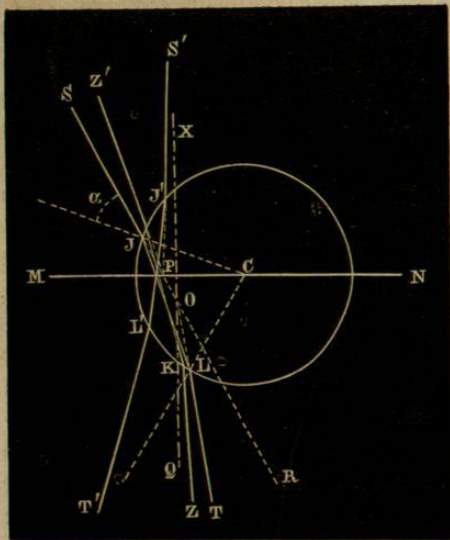


Fig. 125.

612. Soit AB (fig. 123) la section verticale d'une bulle d'air sphérique, flottant dans l'eau, et MN le plan mis au point du microscope. Un point quelconque P de ce plan, disent Nägeli et Schwendener (*loc. cit.* p. 154), a son image microscopique produite par les rayons qui, après avoir traversé la bulle d'air, paraissent provenir de P, et qui, réfractés dans le microscope, arrivent à l'œil. Ces rayons ne peuvent évidemment pas faire avec la verticale un

angle plus grand que la moitié de l'angle d'ouverture de l'objectif; si celui-ci est de  $60^\circ$ , cet angle sera au maximum de  $30^\circ$ . L'angle que formeront les rayons, venant par en bas, sera déterminé par les dimensions du diaphragme. Ceux-ci seront vus du centre de la bulle d'air sous un angle égal à celui que font les rayons périphériques du cône lumineux incident. Si cet angle est de  $30^\circ$ , on connaîtra la valeur de l'angle que forment les rayons incidents avec les rayons émergents, tant du moins qu'il s'agira de rayons qui, comme TS, sont, avant et après la réfraction, à la surface du cône lumineux.

Prolongeons le rayon incident et le rayon émergent, et par leur point de rencontre O, menons la verticale XQ; désignons par  $\alpha$  et  $\delta$  les angles d'ouverture que nous venons d'admettre de  $60^\circ$  et de  $30^\circ$ ; nous avons :

$$\angle SOT = 180^\circ - \angle TOR.$$

mais

$$\angle TOR = \angle QOR - \angle QOT = \frac{\omega - \delta}{2}$$

$$\angle SOT = 180 - \frac{\omega - \delta}{2} = 180 - 15 = 165^\circ.$$

Si du centre C, nous menons un rayon, par le point O, ce rayon divisera en deux parties égales l'angle des rayons émergent et incident, et il sera perpendiculaire à la direction du rayon lumineux dans l'intérieur de la bulle d'air; appelons  $\alpha$  l'angle d'incidence,  $\alpha'$  l'angle de réfraction,  $\rho$  la moitié de l'angle que forment les rayons incident et émergent, nous aurons :

$$\alpha' - \alpha = 90^\circ - \rho$$

et dans le cas actuel, où  $\rho = \frac{165^\circ}{2}$ ;

$$\alpha' - \alpha = 7\frac{1}{2}^\circ$$

Admettons 1,3556 comme indice de réfraction de l'eau; cette équation sera remplie quand  $\alpha = 20^\circ 45'$ , et  $\alpha'$ , par conséquent,  $= 28^\circ 15'$ .

Nous pouvons déterminer la position du point P par le triangle CPJ :

$$CP : r = \sin \alpha : \sin \left[ 180^\circ - \left( 90^\circ - \frac{\omega}{2} \right) \right],$$

d'où

$$CP = r \frac{\sin \alpha}{\sin \left( 90 + \frac{\omega}{2} \right)} = \frac{\sin 20^\circ 45'}{\sin 60^\circ} r = 0,64858 r.$$

Considérons un autre rayon  $ZK$ , moins oblique par rapport à la verticale, et paraissant également, après réfraction, provenir du point  $P$ ; il croisera le rayon précédent, et rencontrera l'objectif à une moins grande distance de son centre. Il en est de même de tous les autres rayons. Si, dans le cône lumineux émergent, nous considérons ainsi successivement tous les rayons, en allant de gauche à droite, nous voyons que les rayons correspondants du cône incident vont, eux, de droite à gauche; l'angle qu'ils forment avec la verticale va en diminuant, puis change de sens, jusqu'à atteindre un maximum de  $15^\circ$ . Il est évident que ce maximum est atteint avant que les rayons émergents fassent à droite un angle de  $30^\circ$ ; la double réfraction déterminant toujours une déviation à gauche.

Le calcul démontre que, dans le cas particulier, le rayon-limite  $T'L'$ , après sa sortie à travers la bulle d'air, fait encore un angle à gauche de  $18^\circ$ .

615. Nous n'avons considéré que les rayons contenus dans un plan; mais il en est de même de tous les autres qui, après réfraction, semblent provenir du point intérieur  $p$ , et il en résulte que ce point paraît aussi éclairé que quelque autre partie du champ du microscope que ce soit, tous les rayons du cône lumineux incident concourant à produire son image.

Soit un autre point,  $p$  (fig. 124), situé plus loin du centre  $C$  de la bulle d'air.

L'angle d'émergence ( $\alpha =$  angle incidence) est plus grand, et la valeur de  $\rho$  est plus petite. Un rayon périphérique, parallèle à  $IL$  (fig. 123 et 124) est réfracté de telle sorte, qu'il fait avec la verticale un angle supérieur à  $30^\circ$ , et qu'il n'arrive pas à l'œil. Il en est de même des autres points, encore plus éloignés du centre de la bulle d'air; les rayons du cône lumineux situés plus à gauche se

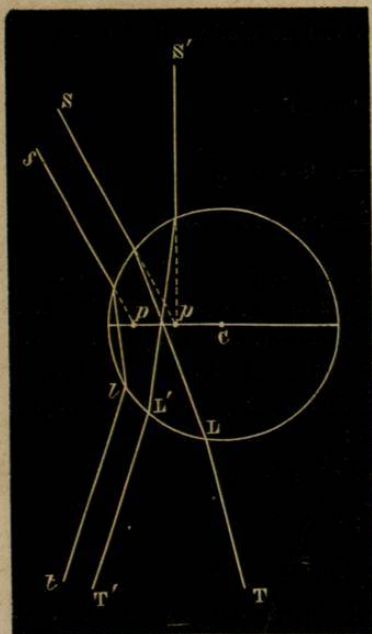


Fig. 124.

perdent, et finalement, le seul rayon périphérique  $tl$ , parallèle à  $T'L'$  arrive encore à l'œil.

Ce point-limite (fig. 124) peut être déterminé comme l'a été le point  $p$ . Nous savons en effet, que,

$$\rho = 90^\circ - \frac{\omega + \delta}{4},$$

ou dans le cas particulier

$$\rho = 90^\circ - \frac{60 + 30}{4} = 67^\circ 1/2$$

que, de plus,  $\alpha' - \alpha = 90 - \rho = 22 1/2^\circ$ . Cette différence existe, avec l'indice de réfraction que nous avons admis, quand  $\alpha = 43^\circ$ , par conséquent,  $\alpha' = 65^\circ 37'$ . La position du point  $p$ , sera donnée par la formule :

$$Cp = \frac{\sin 43^\circ}{\sin 60^\circ} \cdot r = 0,7875 \cdot r$$

Il en résulte que, sous le microscope, la bulle d'air doit se montrer (les angles d'ouverture admis) avec un bord noir, dont la largeur égale  $(1 - 0,7875) r = 0,2125 r$ . La partie centrale, jusqu'à  $P$  est aussi claire que le reste du champ, et la zone comprise entre  $P$  et  $p$ , offre une teinte de transition. Un changement dans les angles d'ouverture de l'objectif et du diaphragme peuvent modifier ces rapports, mais non la distribution de la lumière; si ces angles sont plus grands, le bord noir doit être plus faible; et plus large, s'ils sont plus petits. Un éclairage oblique doit faire paraître le cercle clair excentrique.

Il n'en est cependant pas tout à fait ainsi. La partie centrale claire est bien entourée d'une zone foncée, allant graduellement jusqu'au noir; mais celle-ci n'atteint pas la périphérie, elle est entourée elle-même d'une série de cercles concentriques alternativement clairs et foncés, formant une pénombre.

Ces phénomènes sont dus, non à la réfraction de la lumière, mais aux réflexions multiples que subissent les rayons lumineux.  $TL$  (fig. 125) nous représentera un de ces rayons, qui, en  $R$ , subit une réflexion et est réfracté une seconde fois en  $J$ . Il peut se faire que le rayon incident et le rayon émergent, soient, à la suite de cette réflexion dans une même ligne droite, et le calcul démontre que cela arrive, dans notre cas, pour un angle d'incidence de  $43^\circ 1/2$ . Considérons (fig. 126) un faisceau parallèle,  $ST$ ; le rayon seul dont

l'angle d'incidence  $\alpha = 45^\circ 1/2$ , continuera sa route dans sa première direction, les autres seront déviés, ceux dont  $\alpha < 45^\circ 1/2$  à gauche, ceux dont  $\alpha > 45^\circ 1/2$  à droite. Le calcul établit que les rayons parallèles dont l'angle d'incidence varie entre  $40^\circ$  et  $44^\circ$  reçoivent, par suite de la réflexion intérieure une direction telle, qu'ils semblent tous provenir de points, dont la distance du centre varie de  $0,68$  à  $0,70 r$ , différent donc au plus de  $\frac{1}{50}$  du rayon. En d'autres termes, au faisceau incident de rayons parallèles corres-

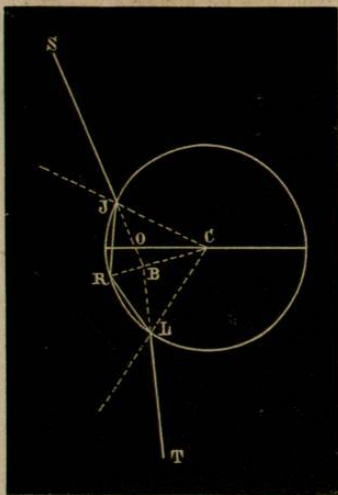


Fig. 125.

pond un cône émergent, dont le point de convergence virtuel,  $o$ , se trouve un peu au-dessous du plan de la mise au point ; et très-près de la ligne qui représente le rayon sortant sans déviation. C'est là que se concentre l'image perçue par l'œil. — Il en est de même si nous considérons des rayons placés dans un plan. — De cette façon, au milieu de la zone d'ombre, se trouve un espace qui paraît éclairé, et qui est placé à une distance du centre,  $CO = 0,69 r$ , et qui forme un cercle clair. Les dimensions de ce cercle varient avec les angles d'ouverture du diaphragme et de l'objectif, et ses contours se troublent si on abaisse ou élève l'objectif.

Les rayons qui ont subi une double réflexion intérieure se com-

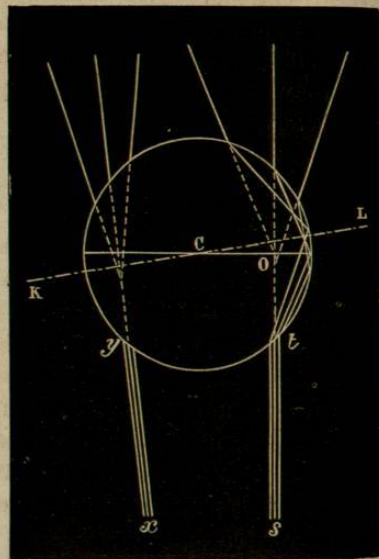


Fig. 126.

portent de même et produiront un nouveau cercle extérieur, mais moins net, et une partie des rayons se perd, par suite de la double réflexion, et, d'un autre côté, l'angle d'incidence nécessaire pour la production du phénomène varie dans des limites bien plus faibles, de  $45^\circ 1/2$  à  $47^\circ$ .

Ce cercle externe se trouve à  $0,725 r$  du centre, soit à  $0,036 r r$ , ou environ  $\frac{1}{27}$  du diamètre en dehors du précédent ; il est placé un peu au-dessus du plan de la mise au point ; ce sera donc à un niveau un peu plus élevé qu'il paraîtra le plus nettement limité.

Les faisceaux qui ont subi un plus grand nombre de réflexions intenses, 3 à 4 ou plus, donneront de même lieu à autant de cercles externes.

Ces cercles cesseront de se produire quand l'angle d'incidence aura atteint sa limite, qui pour l'eau et l'air est de  $48^\circ 29'$  ; le cercle correspondant à ce rayon-limite est à  $0,7487 r$  du centre. Cela ne veut pas dire cependant que la portion plus externe ne sera pas éclairée par suite de réflexions intenses.

Les rayons lumineux, qui ne concourent pas à la formation des cercles, sont déviés de telle façon qu'ils paraissent provenir de points situés en dehors du cercle correspondant ; il en résulte comme effet général, un léger éclairage du bord, tandis qu'à l'intérieur des cercles, l'ombre paraît complètement noire, car il y a absence complète de lumière.

La distance de ces cercles lumineux variant suivant des quantités déterminées par l'indice de réfraction, il est évident qu'elle se modifiera suivant les liquides que l'on considérera. Ainsi, dans l'huile dont l'indice de réfraction = 1,5, le cercle clair le plus intense sera à  $0,5957 r$  du centre. De même, dans la lumière bleue, les cercles sont plus rapprochés du centre que dans la lumière rouge ; aussi, en employant la lumière blanche, les cercles paraîtront-ils limités intérieurement de bleu, extérieurement de rouge.

Les cercles clairs et leurs lisérés colorés sont surtout visibles, là où deux bulles d'air s'avoisinent. Au lieu de la teinte grise ordinaire, on voit une bande lumineuse nettement limitée en dedans, soient, en effet,  $ac$  et  $pb$  (fig. 127) deux rayons lumineux différents, ayant leurs points de convergence en  $O$ , dans le deuxième cercle de la bulle d'air  $A$  ; après une double réflexion, il se continuent par  $df$  et  $eg$ , se réfléchissent sur la bulle d'air  $B$ , suivant les directions  $fh$  et  $gi$ . Si  $ac$  et  $bp$  sont les rayons périphériques d'un cône lumineux

émergent,  $fh$  et  $gi$ , sont les rayons périphériques du cône incident correspondant. Il en résulte que tous les rayons du cône très-ouvert  $hfgi$ , se rassemblent pour former un faisceau resserré,  $acpb$ , et éclairer le point  $o$ . Si  $hf$  et  $ig$  se rapprochent davantage de la verticale, ce qui se produit par un resserrement du diaphragme,  $ac$  et  $bp$  se rapprochent, mutuellement; aussi le cône émergent est diminué d'intensité, mais sans être dévié ni à droite ni à gauche. Il

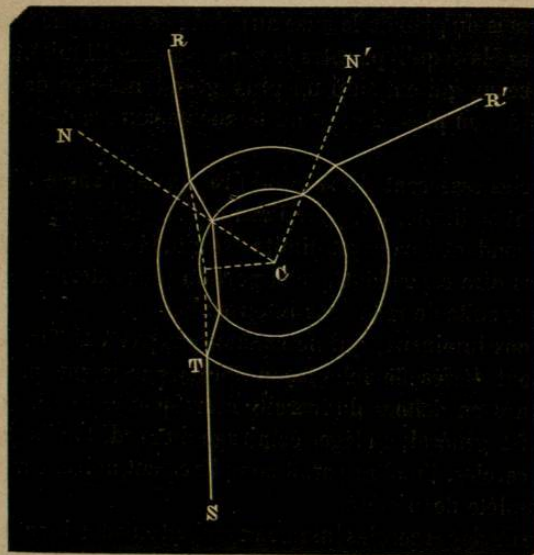


Fig. 127.

en est autrement si les bulles d'air s'écartent,  $df$  et  $eg$ , s'approchent de l'horizontale;  $ac$  et  $bp$  diminuent à gauche, comme si la bulle A avait éprouvé un mouvement de rotation autour de son axe. Le faisceau lumineux émergent fait donc avec l'axe  $e$  du microscope un angle variable suivant la distance des deux bulles d'air.

Si on considère la bulle d'air comme un appareil de réfraction, on trouve qu'elle agit essentiellement comme une lentille biconvexe; la distance focale,  $f$ , en est donnée par la formule:  $f = \frac{r}{2(r-1)}$  ou  $r =$  le rayon,  $n$ , l'indice de réfraction du milieu environnant. Comme la bulle a une forme sphérique, que les deux points principaux coïncident avec le centre, cette formule donne aussi la distance qui sépare le foyer principal du centre. Dans l'huile, où

$n = 1,5$ ;  $f = r$ ; dans l'eau,  $f = \frac{2}{5}r$  approximativement; l'aberration des rayons lumineux diminue encore un peu cette valeur (dans l'eau elle la diminue d'environ  $0,2r$ ).

Met-on le foyer du microscope au niveau de ce foyer, on aperçoit l'image d'objets éloignés qui se réfléchissent dans le miroir, ou qui sont pris dans le cône lumineux incident. Les contours sont d'autant plus nets que les rayons lumineux frappant l'objectif font un angle plus petit avec la verticale.

La réfraction inégale des divers rayons lumineux fait que le cône lumineux émergent ne renferme à son centre que des rayons rouges, à sa périphérie que des rayons violets.

#### E. De l'interprétation des aspects de l'image des corps opaques examinés sous le microscope.

614. Les corpuscules opaques, telles que les granules de charbon, les poussières métalliques, certaines granulations pigmentaires, etc., sont vus sous le microscope en raison de ce qu'ils arrêtent complètement ou à peu près la lumière que projette sur eux le miroir réflecteur. A leur niveau, par conséquent la rétine, n'est aucunement impressionnée, pendant qu'au contraire elle l'est vivement par la lumière qui les rase, et par celle qui passe librement dans le reste du champ microscopique. (Voy. p. 264, § 364.)

En même temps que la lumière est ainsi arrêtée ou réfléchie vers sa source par le corpuscule opaque, celle qui rase les bords présente des modifications dont il faut tenir compte et qui sont interprétées ainsi qu'il suit par Nägeli et Schwendener (*loc. cit.*, p. 224).

615. Soit  $ab$  (fig. 128), une petite sphère large de  $0^{\text{mm}},020$  par exemple, et le microscope mis au point pour son centre, elle se montrera comme un disque noir, entouré d'un anneau clair, ligne de diffraction. Cet anneau est produit par les rayons réfléchis sur les bords de la sphère, et par suite il sera produit par ces bords qu'on peut regarder comme des points lumineux. Un objet coupant le faisceau lumineux incident (un crayon, un barreau de fenêtre, etc.) se montre sous forme d'une ligne noire, occupant des axes plus ou moins étendu sur deux points opposés de l'anneau.

Si le microscope est mis au point pour voir le bord réfléchissant de la sphère, il est évident que celui-ci se montrera encore comme un cercle clair, car tous les rayons qui concourent à former l'image proviennent de points situés dans le plan de la mise au point. Il



en est autrement, si on baisse, ou si on élève le foyer. Dans ce cas, les bords de la sphère présenteront les mêmes apparences que lorsqu'on approche ou qu'on éloigne une source lumineuse peu étendue. Mais, dans ce cas particulier, il faut remarquer que le faisceau lumineux, partant de la source lumineuse ne traverse que le bord correspondant de l'objectif, de telle façon, que pour un point  $b$  de la sphère, situé à droite, toute la moitié gauche de l'objectif est inactive. Dans ce cas, en élevant le point  $b$ , on agit comme en le poussant à gauche, c'est-à-dire que l'axe du cône lumineux venant frapper l'objectif sera plus incliné et celui du cône réfracté moins incliné au contraire (fig. 129). L'image  $b'$  est portée plus à droite, et de même  $a'$  est portée plus à gauche. L'image du bord éclairé va en diminuant; le cercle clair se rétrécit lorsque l'élévation est suffisante pour ne plus former qu'un point brillant, au milieu de l'ombre produite par la sphère. Il faut supposer naturellement que la distance des points de l'image  $a'$  et  $b'$ , de la lentille oculaire, n'est pas essentiellement modifiée, car, sans cela, on ne pourrait avoir d'image. Avec la plupart des objectifs, l'image disparaît si rapidement, que, à ce dernier degré, un point clair au centre ne peut se voir que sur de très-petites sphères, qui ne demandent à être changés de place que de très-peu. Il en est ainsi avec les forts systèmes d'Oberhäuser et de Hartnack, avec le système 7 de Bénéche et de Wasserlein, tandis que le système 9 de ces opticiens

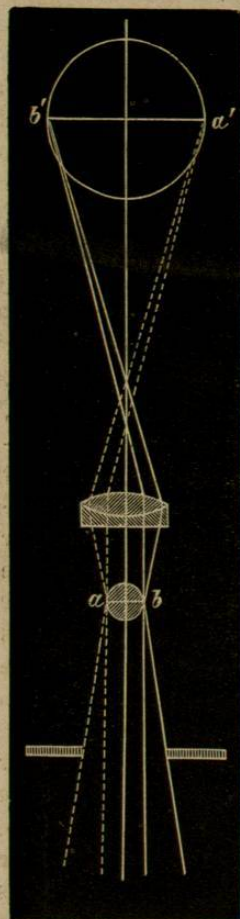


Fig. 128.

montre non-seulement le point central, mais encore un cercle clair, quand le microscope est mis au point pour un niveau supérieur: dans ce cas, les points de l'image sont renversés  $b'$  à droite,  $a'$  à gauche.

Si le cône lumineux qui arrive à l'objectif a une certaine ouverture, il faut tenir compte de l'inclinaison de son axe, et de celle de chacun

de ses rayons. Les moins inclinés déterminent une moindre déviation des points  $a'$  et  $b'$ , que ceux plus obliques qui sont à la périphérie. Le cône émergent se divise donc en plusieurs cônes ayant chacun son image. Certaines de ces images peuvent être déplacées verticalement, de façon à ne pas arriver à l'œil. En tous les cas, quand on soulève l'objet, elles disparaissent, les unes plus tôt, les autres plus tard; les autres forment toujours une série non-interrompue, et dessinent dans l'image un cercle. Celui-ci n'est pas uniformément éclairé, il présente des lignes alternativement claires et foncées, ce qui provient de phénomènes d'interférence. On comprend d'ailleurs qu'il doit se en produire, quand on considère que les rayons qui se croisent dans un point de l'image sont presque parallèles, et parcourent des chemins inégaux, d'autant plus longs qu'ils sont inclinés sur l'axe. Si la différence de marche des rayons périphériques d'un cône lumineux est égale à un nombre impair de demi-ondulation, le point correspondant de l'image sera foncé; il sera clair, si ce nombre de demi-oscillation est pair. Les distances de ces lignes d'interférences ne peuvent se déterminer mathématiquement d'une façon aussi précise, que dans les cas de simple réfraction; car, dans l'objectif, la marche des rayons lumineux se soustrait à tout calcul, si on veut tenir compte de la longueur des ondes.

Si on met le microscope au point pour le plan où l'image réfléchie sur le bord de la sphère forme un petit cercle central, cette image se comporte comme l'image virtuelle d'une bulle d'air. Les barreaux des fenêtres qui se réfléchissent dans le miroir forment des lignes droites; une petite ascension du tube amène une coloration rouge du centre, et bleue des bords; son abaissement rend le centre bleu, les bords rouges. Ces changements de coloration sont à considérer, car ils se montrent même pour des sphères de 2 à 3 millièmes de millimètre de diamètre, et rendent difficile la distinction de ces sphères d'avec des cavités. Les unes et les autres, en effet, se mon-

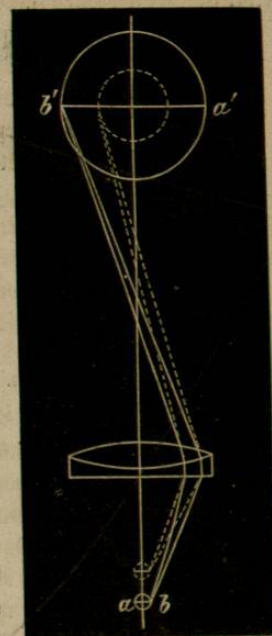


Fig. 129.