

châssis formera un des meilleurs écrans. On peut aussi employer du papier végétal ou projeter l'image sur une muraille blanche et unie.

En se plaçant derrière l'écran, lorsqu'il est en papier mince, on voit distinctement les objets et l'on peut les dessiner. Lorsque l'on montre à un plus ou moins grand nombre de spectateurs les effets du microscope solaire, on les fait placer derrière l'écran, afin qu'ils ne puissent voir que l'image de l'objet. Si l'on veut dessiner, on reçoit cette image sur une glace dépolie.

215. Afin d'obvier aux inconvénients de la lumière solaire, surtout lorsqu'il s'agit de démonstrations scientifiques, on a recours à l'emploi de la lumière du gaz oxy-hydrogène, du magnésium, ou à la lumière électrique. On emploie donc le microscope à gaz ou le microscope photo-électrique, qui ne sont autres que l'instrument solaire modifié relativement à la nature de la source lumineuse.

Le microscope à gaz employé premièrement par Cooper, de Londres, fut importé en France par M. Warwick, mais l'appareil était dangereux à employer. MM. Donné<sup>1</sup>, Charles Chevalier et Galy-Cazalat le modifièrent de façon à le rendre tout à fait maniable.

Le microscope photo-électrique, que l'on doit à MM. Donné et Foucault, fut d'abord construit par Charles Chevalier. Cet instrument<sup>2</sup> a été perfectionné, quant à la forme et à l'éclairage, par M. Dubosq, qui en a fait un appareil commode à employer. Comme le microscope à gaz, le microscope photo-électrique est un microscope à démonstration d'un usage restreint.

216. La reproduction des images données par le microscope à l'aide de la photographie au lieu du dessin, n'exige pas des modifications essentielles de l'instrument, mais seulement l'emploi de procédés photographiques spéciaux ajoutés à l'usage du microscope. Nous en traiterons en parlant de la reproduction de ces images dans un chapitre de la cinquième section. C'est là également qu'il devra être question des *chambres claires*.

C'est plus loin aussi à propos de l'éclairage des objets sous le microscope que nous aurons à décrire les appareils polarisateurs susceptibles d'être ajoutés à presque tous les microscopes.

<sup>1</sup> Donné, *Appareil nouveau pour l'éclairage des microscopes au moyen de la lumière du gaz oxy-hydrogène* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, Paris, 1840, t. X, p. 246 et t. XI, p. 125).

<sup>2</sup> Donné et Foucault, *Appareil destiné aux démonstrations microscopiques* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, Paris, 1844, t. XVIII, p. 696).

## CHAPITRE IV

## Des propriétés des objectifs et des oculaires.

217. Le Hollandais Hermann van Deyl fut le premier qui en 1762 construisit une longue-vue achromatique. On sait de plus que l'idée première du microscope achromatique appartient en fait à Euler, qui en donna la description dans sa *Dioptrique*, en 1771.

De 1800 à 1810, le physicien Charles fit des essais pour rendre achromatiques de petites lentilles, mais sans parvenir à donner à ses verres une disposition convenable pour atteindre le but poursuivi<sup>1</sup>.

En 1812, Brewster proposa de former des lentilles achromatiques composées de verres doués de pouvoirs réfringents différents. Cette idée ingénieuse offrait tant d'inconvénients pratiques, que sa mise à exécution ne fut pas possible.

Vers 1816, Frauenhofer fabriqua des microscopes d'après le principe d'Euler, mais à une seule lentille achromatique, dont les verres n'étaient pas collés ensemble. Ces microscopes grossissaient fort peu, aussi n'en fit-on pas usage, et en 1821 Biot écrivait encore que dans les microscopes composés il n'est pas possible de faire la lentille objective achromatique, parce que les verres dont il la faudrait composer seraient si petits, qu'on ne pourrait pas les travailler avec exactitude. (*Physique*, p. 348.) Les savants employaient toujours à cette époque les microscopes non achromatiques d'Adams, de Charles, etc.

En 1825, Charles Chevalier travaillait avec Vincent Chevalier, son père, lorsque le mécanicien Selligie, leur proposa d'exécuter des objectifs achromatiques pour les microscopes. Après six mois d'essais, Vincent et Charles Chevalier parvinrent à livrer à Selligie un microscope exécuté d'après ses indications et qui ne le satisfut pas. Néanmoins, il le présenta à l'Académie des sciences, le 5 avril 1824, et, le 5 août de la même année, Fresnel examina l'instrument, signala les défauts, tout en faisant un rapport favorable. Fresnel ne fit pas mention des constructeurs dans son mémoire, car il ignorait leur collaboration avec Selligie.

<sup>1</sup> Voyez du reste, sur ce sujet, pour tous les détails historiques et bibliographiques, l'excellent chapitre de l'ouvrage de Harting, déjà cité, intitulé : *Livre III, Histoire du microscope, de son emploi, et des appareils accessoires*.

L'instrument présenté par Selligue avait son objectif composé de quatre lentilles, formées chacune d'un *flint-glass* plano-concave, dans lequel s'enclavait une lentille biconvexe de *crown*. Il possédait déjà un certain achromatisme, mais les lentilles ayant leur côté convexe tourné vers l'objet, il en résultait une grande aberration de sphéricité; on avait cherché à diminuer celle-ci par des diaphragmes très-petits; mais ils ôtaient beaucoup de lumière et par suite l'instrument était défectueux.

Charles Chevalier reprit alors les travaux d'Euler, et il parvint à faire des lentilles achromatiques exemptes d'aberration sensible. Il eut l'idée de tourner le côté plan de la lentille vers l'objet: il put alors construire des lentilles d'un foyer court et d'un petit diamètre. Il imagina aussi de réunir les deux lentilles au moyen d'une substance diaphane, la térébenthine dite *baume du Canada*. Par ce moyen, il empêcha l'humidité de s'introduire entre les deux verres, et il évita la déperdition de lumière occasionnée par les réflexions des surfaces juxtaposées.

Ces perfectionnements ont donné l'essor à la construction des microscopes. Les fabricants français et étrangers s'appliquèrent à reproduire ces idées, et c'est seulement depuis 1825 que datent l'industrie et la production des premiers bons microscopes.

En 1824, Charles Chevalier construisit la première lentille achromatique de quatre lignes de foyer, deux lignes de diamètre et une ligne d'épaisseur au centre.

Il faut remarquer que si l'on n'eût pas construit de petites lentilles à court foyer, on n'aurait pu en superposer plusieurs, comme l'a imaginé Le Baillif, et détruire l'aberration de sphéricité.

En 1825, Vincent et Charles Chevalier présentèrent à la Société d'encouragement un microscope achromatique perfectionné sous le nom de *microscope d'Euler*. Hachette fit observer, dans son rapport, que l'instrument n'avait pas d'aberration sensible et présentait autant de netteté que les télescopes achromatiques.

Dans les années qui suivirent Tulley, Goring, en Angleterre, et Amici, à Florence, construisirent des lentilles achromatiques; mais il faut observer que c'est de la première construction, en 1825, que datent les procédés voulus pour faire des lentilles achromatiques convenables pour les microscopes.

En 1827, M. Amici construisit le microscope horizontal; il fut reproduit par Vincent et Charles Chevalier, par les opticiens anglais, et Arago déclara l'instrument parfaitement exécuté.

De 1828 à 1850, Charles Chevalier achromatiza des lentilles d'une ligne et d'une demi-ligne de foyer; dès lors l'usage des forts grossissements devint général.

A Paris, Bouquet, Trécourt et Oberhæuser, Lerebours, Soleil; à Berlin, Schick et Pistor; à Vienne, Plæssl et les successeurs de Fraunhofer, à Munich, imitèrent bientôt le microscope français.

218. Lister, en 1850 (*Philosophical Transactions*. London, in-4<sup>e</sup>, p. 187), montra que, pour chaque lentille composée de *flint* et de *crown*, il n'y a que deux points (qu'il nomma *points focaux aplanatiques*) où disparaît toute aberration quand on y place un objet (aplanatique, de ἀπλατικός, qui n'est pas dispersé.) L'un de ces points est celui où disparaît l'aberration de sphéricité, l'autre est celui où disparaît l'aberration chromatique.

Dans la pratique, on ne peut éviter complètement ni l'aberration de sphéricité, ni l'aberration chromatique. Si même l'on réussit à réunir en un point les rayons marginaux violets et rouges, le résultat de la dispersion de tous les rayons différemment colorés du spectre n'est jamais complètement uniforme; car les bords de l'image laisseront encore voir des traces des rayons moyens du spectre qui n'auront pu se confondre et ces bords paraîtront être d'un vert jaune. C'est pour cela que, dans la construction des microscopes, on donne un peu plus d'épaisseur à la lentille en *flint*, afin d'obtenir une lueur bleuâtre qui est plus agréable à l'œil, et l'on dit alors que la lentille double a été *corrigée par excès*. Celle-ci est dite *corrigée par défaut*, quand elle laisse voir une bordure rougeâtre autour de l'objet. En traitant de la dispersion des couleurs, on dit que la lentille double d'un microscope a été corrigée par excès ou par défaut. Ces mêmes termes sont usités aussi quand on parle de la correction de l'aberration de sphéricité.

219. Si l'on excepte ce qui touche aux questions de l'angle d'ouverture des objectifs, aux objectifs à immersion et à correction dont il va être question, l'on peut dire que pendant quinze ans, les lentilles des microscopes furent construites d'après les idées de Charles Chevalier, et que de 1825 à 1858 aucun changement essentiel ne fut opéré. A l'Exposition universelle de 1855, Amici montra des jeux de lentilles dont la combinaison était différente. En effet, il n'employait plus trois lentilles séparément achromatiques, pour former l'objectif du microscope, mais bien trois lentilles séparément non achromatiques, et qui, réunies, donnaient des images très-nettes et exemptes de coloration. (Voy. sur cet historique Du-

jardin, *Observateur au microscope*, Paris, 1845, in-12, p. 321, et Arthur Chevalier, *l'Étudiant micrographe*, Paris, 1865, in-8°, p. 75.)

ARTICLE I. — DES CONDITIONS QUE DOIVENT REMPLIR LES OBJECTIFS.

220. Nous reconnaitrons avec Carpenter qu'un objectif doit remplir quatre conditions : 1° posséder complètement le *pouvoir définissant*, c'est-à-dire pouvoir donner une image très-nette et très-noire des détails, reliefs et des contours d'un objet ; 2° avoir un certain *pouvoir pénétrant*, afin de permettre à l'observateur de distinguer du même coup plusieurs plans très-rapprochés les uns des autres dans l'épaisseur des objets ; 3° être doué d'une certaine *puissance résolvente* ou *séparatrice* des éléments très-serrés existant sur une surface, tels que les stries ou les points des diatomées, etc. ; il doit enfin 4° donner un champ de vision très-plan.

A ces quatre conditions, nous en ajouterons une cinquième qui est une *distance frontale* suffisante, afin de permettre d'observer des objets ou coupes un peu épaisses lorsqu'on est obligé de les couvrir d'un verre plus ou moins mince.

Les expressions de *pouvoir pénétrant* et de *pouvoir définissant*, ont, comme on le sait, été introduites dans la science par Goring. (*Microscopic Cabinet*, London, 1855.)

221. Voyons maintenant comment ces quatre qualités sont utilisées ou opposées quelquefois les unes aux autres.

1° Le *pouvoir définissant* dépend de la perfection, avec laquelle a été obtenue la correction des aberrations de sphéricité et de chromatisme, et quel que soit l'angle d'ouverture de l'objectif, avant tout cette correction doit être parfaite. Un micrographe expérimenté peut juger facilement de cette perfection sur tout objet dont l'étude lui est familière, et il pourra surtout, avec un objectif à compensation et à correction, juger pleinement des différentes corrections, si, après avoir employé un oculaire faible, il utilise un oculaire plus fort. Dans ce cas, la vigueur de l'image est très-sensiblement altérée si la correction n'est pas parfaite.

Une certaine habitude est indispensable pour reconnaître un objectif qui définit bien. Les contours de l'image qu'il présente paraissent très-fins et très-vifs. Des objets placés les uns à côté des autres et ceux qui se trouvent les uns au-dessus des autres, tout en étant projetés sur le même plan optique, laissent voir distinctement leurs contours, et on s'oriente facilement. Toute l'image ressemblant à une bonne gravure ou à une impression avec des lettres bien accen-

tuées, l'ensemble a par suite quelque chose de net et d'élégant.

Il suffit, pour constater l'effet contraire, de recourir à un fort oculaire. Alors les contours deviendront épais, incorrects ; la netteté de l'image diminuera sur tous les points ; l'aspect général sera celui d'une impression dont les lettres ont des contours incertains. C'est cette finesse des contours donnant de l'élégance à l'image qui doit faire préférer les objectifs définissant bien. Un objectif doué d'une grande puissance de pénétration donne habituellement des images plus pâles, plus laiteuses et ne permet qu'à ceux qui ont des recherches une véritable expérience de laboratoire d'apprécier ses grands avantages qui sont importants surtout dans toutes les études anatomiques.

222. 2° Le *pouvoir pénétrant* se dit du plus ou moins de facilité qu'on éprouve à distinguer les parties d'un corps qui seraient un peu en dehors du foyer, dans toute l'épaisseur d'un globe microscopique sphérique, par exemple, placé au point de la vision distincte. Cette faculté étant en raison inverse de la valeur de l'angle d'ouverture, plus celui-ci sera ouvert, plus l'épaisseur ou la *profondeur focale* se réduira à un plan mathématique, de sorte qu'un objectif à angle d'ouverture comparativement modéré, donnera plus facilement une vue de l'ensemble des épaisseurs d'un objet (la perfection du *pouvoir définissant* étant bien entendu établie en principe).

Ceci est facilement compréhensible et s'appuie sur des principes d'optique. Nous savons que les rayons centraux subissent une faible réfraction ou un faible changement de leur direction première. Au contraire les rayons marginaux subissent une déviation considérable ; plus cette déviation est grande, plus est considérable la différence de réfraction (ou de déplacement par suite de leur transport) de deux faisceaux provenant de points placés l'un au-dessous de l'autre, et, par suite, plus est grande la différence d'ajustement focal, de sorte qu'il faudra un déplacement du foyer de l'objectif ou de la distance de l'objet à l'objectif pour obtenir alternativement une image nette de ces points voisins ; de là l'obligation de mettre au foyer constamment les différents plans occupés par tels ou tels corpuscules par exemple quoiqu'ils soient très-rapprochés. Il s'ensuit qu'un objectif à angle d'ouverture modérée permettra à l'observateur d'avoir de l'ensemble d'un objet, dont les différentes parties sont situées à une certaine distance les unes des autres, une idée suffisamment nette, sans ajuster mathématiquement chaque

partie de cet objet. Certainement tous les plans ne seront pas également au foyer, mais entre une perfection qui serait inutile, puisqu'il reste la ressource de mettre au point, et la possibilité de voir d'un seul coup l'ensemble de l'objet, la nuance est si peu considérable qu'on préférera toujours pour les travaux de laboratoire un objectif à profondeur focale considérable.

223. Maintenant, il faut observer que si ceci est absolument vrai pour les objectifs relativement faibles (de 100 à 300 fois), il n'en est plus complètement de même pour les objectifs très-forts, et voici pourquoi : d'une part, l'accroissement de l'angle d'ouverture augmentant, la quantité de lumière (et c'est là une condition absolue) doit être aussi considérable que possible dans de tels objectifs; d'un autre côté, les circonstances même qui font obtenir le grossissement font aussi qu'on ne peut pas espérer pouvoir jamais voir un objet dans ses trois dimensions à la fois, mais seulement l'état d'un plan de cet objet, et, pour apprécier sa masse, il n'y a d'autre ressource que de plonger successivement dans les différents plans en coordonnant mentalement les diverses observations qui en résultent.

224. 5° *Pouvoir séparateur, analytique ou résolvant.* Cette faculté dépend entièrement de la grandeur de l'angle d'ouverture. Elle est l'opposé du *pouvoir pénétrant* avec lequel divers auteurs l'ont confondue, au moins dans les termes.

Elle consiste en cette qualité qu'ont certains objectifs de donner une vision complète des dispositions relatives à la structure de la superficie d'un objet transparent, tels que mamelons, ouvertures, stries, points ou filaments ayant le même indice de réfraction que la surface dont ils font partie et arrêtant si peu la lumière que si on n'emploie pas la lumière oblique, on ne les apercevra pas. Or la lumière oblique a pour résultat de faire former l'image de l'objet par les rayons passant par les bords de l'objectif, ou autrement de fournir à l'objectif des pinceaux formant à leur foyer une image des perspectives obliques de l'objet. Si l'angle d'ouverture est assez grand pour que la direction des pinceaux marginaux soit suffisamment oblique par rapport aux rayons centraux, l'image sera formée d'une série de perspectives analogues à celles qui sont produites artificiellement par l'éclairage oblique, c'est-à-dire qu'elles représentent les inégalités de réfraction de la surface beaucoup plus vigoureusement que ne le feraient les pinceaux du centre.

On voit qu'entre deux objectifs à angles d'ouverture différents, l'un pourra montrer sans le secours de la lumière oblique, des

détails que l'autre ne décèlera qu'à l'aide de ce moyen; il y a donc dans le pouvoir résolvant une qualité incontestable. Malheureusement elle annule quelquefois les deux qualités précédentes, surtout la *pénétration* et n'oblige pas à une grande perfection dans la définition des contours. Il existe des objectifs très-défectueux au point de vue de la définition parfaite, et qui séparent; grâce à leur angle d'ouverture considérable, des stries extrêmement rapprochées. Les micrographes observateurs doivent donc toujours préférer la bonne définition à un pouvoir séparateur considérable, lequel n'aurait pas d'application dans la grande majorité des cas.

225. 4° *La disposition parfaitement plane du champ.* C'est une qualité sur laquelle il est inutile d'insister; cependant il peut y avoir d'excellents objectifs qui présentent un champ courbé. Nous avons vu (p. 94 et 99) que la déformation régulière des images, toutes corrigées qu'elles soient d'ailleurs, est une suite naturelle de la marche des rayons. Lorsqu'on observe des objets ou éléments isolés, cet inconvénient n'est pas grave; mais il le devient dans les applications d'un tel objectif à l'examen d'objets allongés ou tranchés en minces coupes. Heureusement les constructeurs sont parvenus à faire disparaître en grande partie cette dépression du champ de la vision qu'on observe dans tous les anciens microscopes.

226. En résumé, le pouvoir séparateur d'un objectif dépend de la grandeur de l'angle d'ouverture, et, par suite, de l'obliquité des rayons lumineux que les lentilles peuvent encore recevoir des différents points de la surface de l'objet. S'il s'agit de lignes très-rapprochées d'une surface transparente, qu'elles soient l'effet de stries ou de sillons, l'éclairage oblique, dans ce cas, acquiert une grande importance. Il est évident qu'en passant par de semblables inégalités, les rayons qui traversent l'objet dans une direction centrale, donneront des résultats moins nets que ceux qui tomberont obliquement sur sa surface. C'est ainsi qu'on voit, à l'aide d'un objectif de force moyenne, avec un angle d'ouverture plus prononcé et en recourant à l'éclairage oblique, des choses dont on n'apercevait aucune trace avec un éclairage central. Au contraire, un objectif ayant un très-grand angle d'ouverture pourra recevoir, tout en se bornant à l'éclairage central, un si grand nombre de rayons très-obliques qu'on obtiendra un résultat pareil à celui que donne l'éclairage oblique avec une combinaison plus faible. Mais si en se servant d'un puissant objectif, à très-grand angle d'ouverture, on emploie en même temps l'éclairage oblique, toute incertitude

cessera, car il possédera une puissance de résolution que n'atteindra jamais un faible objectif à petit angle d'ouverture. (Frey.)

D'après ce qui vient d'être dit, on comprendra pourquoi les opticiens se sont si fortement appliqués, dans ces derniers temps, à agrandir l'angle d'ouverture dont nous parlerons plus loin.

227. 5<sup>e</sup> *Distance frontale (appelée improprement foyer ou distance focale)*. Pour l'observateur qui veut, avec le microscope, faire des recherches sérieuses et non pas s'en servir en simple curieux, il est indispensable de tenir compte de cette qualité. Depuis quelques années on a un peu négligé ce point, en Angleterre et en Amérique particulièrement; on a complètement perdu de vue le côté pratique du microscope pour s'adonner à l'agrandissement de l'angle d'ouverture d'une façon exagérée et comme on n'y peut arriver qu'en rapprochant de l'objet la lentille frontale ou inférieure de l'objectif, on a supprimé toute distance entre la lamelle mince et cette lentille. Quelque parfaits que soient ces objectifs à court foyer, ils seront toujours rejetés par le savant obligé de conserver cette distance assez grande pour l'examen de pièces couvertes d'un verre épais, ou encore de celles dans lesquelles il y a nécessité de plonger le regard, pour ainsi dire, par suite du volume des objets transparents qu'on ne peut pas écraser. A cet égard, M. Nachet a donné une supériorité notable à ses objectifs, en les construisant avec un angle d'ouverture très-suffisamment grand et une distance frontale presque double de celle que leur donnent les autres opticiens.

ARTICLE II. — DE L'ANGLE D'OUVERTURE DES OBJECTIFS.

228. On entend par angle d'ouverture l'angle que font entre eux les deux rayons extrêmes émanant de l'objet et *utilisés* par l'objectif.

Bien des conditions font que ces rayons sont réellement efficaces ou au contraire qu'ils n'arrivent pas à concourir à la formation de l'image, et pourtant leur rôle a une importance telle, dans cette formation d'images, qu'elle surpasse comme résultat définitif les avantages du grossissement seul. En d'autres termes, on peut avoir des objectifs très-puissants montrant beaucoup moins de détails que des objectifs plus faibles, construits en vue d'obtenir un grand angle d'ouverture, c'est-à-dire d'utiliser la grande majorité des rayons obliques émanant de l'objet. Supposons la surface d'un objet bien également transparent, la perception des reliefs ou différences d'épaisseur est due aux différences de l'influence qu'exercent sur la

lumière les inégalités de la surface. On voit, en y réfléchissant, que la perception de semblables inégalités sera très-faiblement obtenue par la vision centrale; mais qu'au contraire les pinceaux obliques émanant d'une surface mamelonnée exerceront une grande influence dans la formation de l'image produite par cette surface; de là l'effet vraiment étonnant de la lumière oblique sur des objectifs, même de ceux qui ont un petit angle d'ouverture.

229. Depuis que, en 1850, Jackson Lister fit paraître son travail (*Transactions philosophiques*) sur ce sujet, les opticiens ont vaincu presque toutes les difficultés inhérentes à la construction de ces objectifs et sont arrivés à donner aux objectifs des angles d'ouverture vraiment remarquables, surtout depuis l'invention du procédé à immersion d'Amici. Quand on réfléchit qu'on peut, avec un système de lentilles prenant des rayons émanant d'un objet sous un angle de 170 degrés, fournir une image à laquelle concourront à la fois les rayons centraux et ceux qui sont écartés de 85 degrés, on reste étonné de la perfection qu'il a fallu apporter successivement aux combinaisons optiques.

Ces progrès à partir des travaux de Lister furent très-rapides. Ross le premier et Powell en Angleterre exécutèrent les meilleures combinaisons de ce genre vers 1842; les angles obtenus étaient 60 à 74 degrés. En 1844 Amici fit un objectif possédant un angle de 112 degrés. En France, les progrès furent plus lents, le mémoire de Lister étant resté complètement inconnu. Les objectifs de Charles Chevalier et Oberhäuser étaient d'angle et de grossissement assez faibles. En 1845 (*Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences*, Paris 1845, t. XX, p. 156) M. Nachet père présenta à l'Académie des sciences un objectif fort, construit sur le principe de l'agrandissement de l'angle d'ouverture et que possède M. le professeur Lebert. En 1847 ces objectifs étaient habituellement de 100 à 120 degrés. En 1851 le jury de l'Exposition de Londres<sup>1</sup> constata sur les objectifs de Ross un angle d'ouverture de :

27°	pour ceux dits de	1 pouce.
60°		$\frac{1}{2}$
115°		$\frac{1}{5}$
107°		$\frac{1}{8}$
135°		$\frac{1}{12}$

<sup>1</sup> Brewster *a Treatise on Optics*, London, 1855, page 474.

Notons ici à propos des indications qui suivent que les *numéros* des objectifs des opticiens anglais correspondent au *foyer* que posséderait une lentille simple de même grossissement que l'objectif auquel on les compare. Ainsi un objectif

Parmi les objectifs des remarquables microscopes que M. Nacet avait à cette exposition, l'un de  $\frac{1}{18}$  de pouce donnait un angle d'ouverture de 154 degrés.

En 1855 Ross a présenté à la *Société microscopique* de Londres un objectif de  $\frac{1}{8}$  de pouce anglais offrant un angle d'ouverture de 155 degrés.

250. L'agrandissement de l'angle formé par les faisceaux venant de l'objet augmente l'éclat et la vigueur de l'image, comme le fait sentir l'examen de la figure 78. Soit un objectif B, et A un objet; tous les rayons entre AC, AC' sont supposés les seuls utilisés dans un objectif qui serait construit de telle sorte que, malgré la grandeur de la lentille frontale, ces rayons soient les rayons extrêmes concourant à former l'image agrandie de l'objet A; mais il est évident que si, par une combinaison mieux entendue

dit de  $\frac{1}{12}$  de pouce n'a pas  $\frac{1}{12}$  de pouce de distance ou longueur focale ou frontale, soit 2<sup>mm</sup>,01; mais il a le même grossissement qu'une lentille simple qui aurait ce foyer. Ce système très-logique en théorie n'a plus de sens dans la pratique, car d'un opticien à l'autre des objectifs de même numéro ont des grossissements très-différents. Le tableau ci-joint montre les différences des numéros, les grossissements étant semblables.

Tableau comparatif des notations et numéros donnés par les constructeurs à leurs objectifs<sup>1</sup>.

OPTICIENS ANGLAIS <sup>2</sup>		NACET	OBERHAUSER	KELLNER	ZEISS	BÉNÈCHE
ROSS, SMITH et BECK	POWELL et LEALAND	Paris	HARTNACK Paris	BETHLE à Wetzlar	à Léna	à Berlin
2 pouces	2 pouces	0	1	1		4
1 —	1 —	1	2	2		
$\frac{1}{2}$ —	$\frac{1}{2}$ —	2	3	3	A	7
$\frac{1}{4}$ —	$\frac{1}{4}$ —	3	4	4	B	8
$\frac{1}{6}$ —	$\frac{1}{6}$ —	4	5	5	C	
$\frac{1}{8}$ —	$\frac{1}{8}$ —	5	6	6	D	9
$\frac{1}{10}$ —	$\frac{1}{10}$ —	6	7	7	E	11
$\frac{1}{12}$ —	$\frac{1}{12}$ —	7	8	8		
$\frac{1}{18}$ —	$\frac{1}{18}$ —	8	9	9		
$\frac{1}{20}$ —	$\frac{1}{20}$ —	9	10	10	F	
$\frac{1}{30}$ —	$\frac{1}{30}$ —	10	11	11		
$\frac{1}{50}$ —	$\frac{1}{50}$ —	11	12	12		
		12	13	13		
			14	14		
			15	15		
			16	16		
			17	17		
			18	18		

<sup>1</sup> Je note ici les objectifs que j'ai pu avoir sous les yeux ou dont j'ai pu obtenir les grossissements.

<sup>2</sup> Constructeurs américains : Spencer, — Tooles, — Wales, — Grunow, même nomenclature que les constructeurs anglais, mais suivie sans exactitude absolue. J'ai vu des objectifs marqués  $\frac{1}{4}$  de pouce qui étaient des  $\frac{1}{6}$ , et *vice versa*.

des courbures, l'opticien est parvenu à faire qu'à ce cône de rayons C'AC on ajoute le cône D'AD enveloppant l'autre, la quantité de lumière sera considérablement accrue; la moindre addition produit un éclat considérable, à cause du développement de l'aire marginale D'C', C'D. Mais, de plus, remarquons que ces rayons sont de plus en plus obliques par rapport à l'axe de la lentille, qu'ils ajoutent aux perspectives centrales des perspectives infiniment plus accusées. Ceci est si vrai, que dans certains objectifs à très-grand angle d'ouverture, on augmente la visibilité de très-petits détails en masquant le centre de la lentille et en n'utilisant positivement que ses bords.

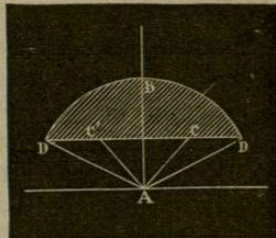


Fig. 78.

De même, en employant un condensateur au-dessous de l'objet, on augmente l'importance des rayons marginaux aux dépens de la lumière centrale. De même aussi, en portant le miroir de côté pour éclairer l'objet obliquement, ce sont les rayons des bords d'un côté de l'objectif qui concourent à former l'image, à l'exclusion de ceux du centre. On peut très-bien voir dans ce cas la marche du faisceau éclairant et oblique, en examinant avec une petite loupe, de quelques centimètres de foyer, l'image formée au foyer de l'oculaire, au-dessus du verre de l'œil (*anneau oculaire ou cercle de Ramsden*). L'image lumineuse du miroir, se verra distinctement dans certains cas; vers le bord du champ de vision, on constatera que ce n'est que cette très-petite portion de la surface totale de la lentille qui fonctionne, mais cette portion est marginale.

Cette méthode d'observation du cercle de Ramsden peut être utile, lorsqu'on veut ainsi s'assurer de l'éclairage des objets qu'on examine, et elle fournit un moyen assez prompt de mesurer l'angle d'ouverture réel d'un objectif, moyen que nous allons décrire plus bas, et dont l'idée première appartient à Amici. Nous avons vu que l'angle d'ouverture est formé par la première lentille, et plus ou moins utilisé par les autres lentilles du système objectif. Pour mesurer ce faisceau, Lister avait proposé le moyen suivant : fixer le corps du microscope sur un chevalet de bois qu'on place sur une feuille de papier (fig. 79); viser par l'oculaire une lumière placée à quelques mètres de distance et à une hauteur telle, qu'elle coïncide avec l'axe optique du corps du microscope; puis, prenant l'objectif comme centre de rotation, faire tourner le

chevalet jusqu'à ce que la lumière disparaisse presque du champ; tracer la position du chevalet sur le papier, pivoter de nouveau

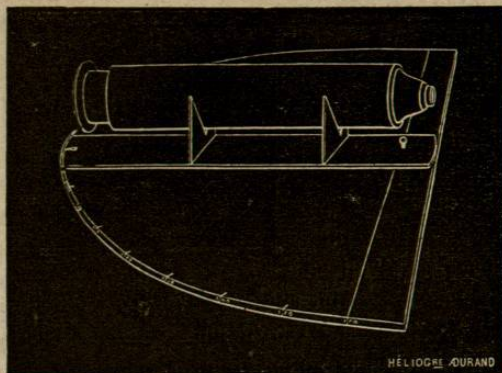


Fig. 79.

La figure ci-contre de Carpenter montre sans explication la mise à exécution de ce principe. Celui d'Amici est plus vrai, en ce que Lister donnait la valeur de l'angle pour la lumière diffuse et non pour une image correctement formée.

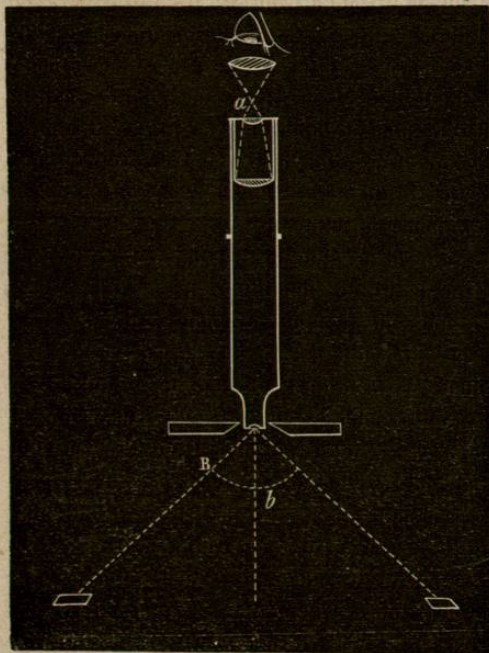


Fig. 80.

Procédé pour mesurer l'angle d'ouverture des objectifs.

regardant l'image formée au foyer de l'oculaire (fig. 80 en *a*) avec une loupe faible,

pour s'écarter de la lumière de l'autre côté, jusqu'à disparition de celle-ci. Le tracé étant une seconde fois fait sur le papier, l'angle que feront entre elles les deux positions du chevalet sera l'angle d'ouverture.

Voici ce moyen : placer le microscope verticalement sur une table noire; supprimer la lumière du miroir en masquant celui-ci, puis placer à droite et à gauche du pied du microscope deux objets brillants, ou simplement deux morceaux de carton blanc; puis,

ou même sans oculaire celle qui est formée par l'objectif, faire écarter successivement les cartons blancs jusqu'à ce qu'ils atteignent l'extrême bord du champ visible par la loupe. Dans cette situation, l'angle d'ouverture sera donné par la distance de l'objectif à la table comme hauteur (*b*) d'un triangle, dont les deux côtés sont formés par les lignes qui réunissent les cartons à l'objectif. Ces mesures sont faciles à prendre et à reporter, si on veut, sur une feuille de papier sur laquelle on placera un cercle gradué pour déterminer la valeur de l'angle que feront ces lignes, ou bien elles suffiront simplement avec une table des tangentes pour donner l'angle.

251. *Inconvénients inhérents à l'exagération de l'angle d'ouverture.* — Si la poursuite de l'agrandissement de l'angle d'ouverture a donné de bons résultats, il ne faut pas cependant négliger de voir les inconvénients qui en résultent, et les opticiens doivent toujours proportionner cet angle au grossissement. On a construit en Angleterre et en Amérique des objectifs possédant un angle considérable et manquant complètement de distance frontale. Des objectifs correspondant, par exemple, aux n<sup>os</sup> 2 ou 3 de Nachet, avaient une distance focale inférieure à celle des objectifs les plus puissants, et, conséquemment, cessaient d'être utiles pour des recherches pratiques. En comparant ces objectifs à d'autres plus puissants et de même distance frontale, on s'aperçoit bien vite que, puisqu'on veut bien s'astreindre à l'emploi d'une si faible longueur, il vaut mieux se servir d'un bon objectif fort, ayant le même inconvénient; au moins on tirera avantage du grossissement qui se trouve ajouté au pouvoir séparateur.

#### ARTICLE III. — DES OBJECTIFS A CORRECTION ET A IMMERSION.

##### *Des objectifs à correction.*

252. Un objectif ne peut être corrigé, c'est-à-dire ne peut donner une image nette de l'objet que sur une seule incidence des rayons entrant dans sa surface frontale; si l'angle d'incidence vient à changer, l'image perd sa netteté par suite d'une série d'aberrations qui interviennent immédiatement.

La lentille frontale d'un objectif *LL'* (fig. 23, p. 94) placée au-dessus de la lamelle mince *VV'* recouvrant un objet *ABC*, que, pour simplifier, nous supposerons situé lui-même dans un milieu réfringent de même indice que le verre. Nous avons déjà vu que le point *A* se trouve élevé en *A'*, c'est-à-dire environ d'un tiers de la distance *AH*; il en est de même des points *BC* de la surface supposée de l'objet qui se trouverait transportée en *B'C'*. Ces aberrations si étranges sont

néanmoins corrigées par l'objectif, tous ces points, quoique déplacés pour chaque zone de la lentille frontale, concourent à former une image correcte et nette de l'objet. Les lentilles étant disposées par leurs courbures et leurs distances pour corriger et réunir point par point les rayons brisés et infléchis à la sortie du verre mince, supposons maintenant que, au lieu de la lamelle mince  $VV'$ , nous placions une lamelle plus épaisse dont la surface supérieure  $XX'$  soit plus éloignée de l'objet  $ABC$ , le point  $A'$  va remonter d'une quantité proportionnelle à l'épaisseur surajoutée, puisque nous avons vu que ce point est toujours fonction de l'épaisseur du milieu réfringent dans lequel il se trouve; par suite, les angles de sortie des rayons brisés concourant à former ce point, seront changés; la direction de ces rayons sera modifiée et les corrections que devaient produire les lentilles objectives ne s'effectueront plus complètement comme elles l'étaient tout à l'heure. Tous les autres points de la surface  $ABC$  sont modifiés de la même façon, et il sera impossible d'en obtenir une représentation fidèle et nette, le manque de réunion des images de ces points produisant un épanouissement ou un empâtement des détails de l'objet. Amici et Jackson Lister ont proposé plusieurs moyens pour remédier constamment et dans la proportion évaluée à ce défaut, remarquant que la déviation la plus importante a lieu sur les rayons marginaux, ce qu'il sera facile de constater sur les figures 25 et 26.

Amici avait appliqué derrière ces objectifs une quatrième lentille ménisque (lentille concavo-convexe) dont la courbure était tantôt dominante ou concave et tantôt convexe; en appliquant à volonté derrière l'objectif une de ces lentilles, on ramenait d'une certaine quantité les rayons aberrants à leur point de concours au reste de l'image. Jackson Lister, en montrant la vraie nature des aberrations d'un système de lentille, avait naturellement fait pressentir que la correction pourrait s'effectuer par une modification apportée à l'écartement des lentilles entre elles. Ce fut Andrew Ross qui, en 1837, exécuta pratiquement le premier appareil destiné à écarter d'une faible quantité les lentilles entre elles. Voyons maintenant comment fonctionne cette correction. Les rayons trop déviés par suite d'une trop grande épaisseur de la lamelle mince sont fortement divergents à leur entrée vers les bords de l'objectif et produisent une certaine aberration qu'on appelle *negative*, l'objectif étant réglé pour un verre plus mince est doué lui-même d'un ordre d'aberration appelée *positive*; c'est-à-dire que sa construction doit être telle que les rayons

formant l'image doivent sembler venir des points  $ABC$  et non pas des points  $A'B'C'$ . Il est clair que les points fictifs  $A'B'C'$  s'étant élevés, c'est-à-dire la longueur de l'aberration négative ayant augmenté, il faudra nécessairement augmenter dans une même proportion l'aberration positive de l'objectif. Or, c'est justement ce qui arrive lorsqu'on rapproche les unes des autres les lentilles d'un objectif, de sorte que, pour compenser ce défaut négatif, il n'y aura qu'à rapprocher un peu les lentilles; ce qui produira un défaut d'aberration positive, qui corrigera la marche imprimée à tort aux rayons par suite de l'augmentation de l'épaisseur de la lamelle de verre. Remarquons ici que c'est une des belles applications du grand principe des compensations tant employé en physique, autrement dit la correction d'un défaut par un défaut de sens contraire.

Il faut observer aussi que ce rapprochement des lentilles changera peu de choses aux conditions de l'achromatisme, car s'il devait survenir un défaut important de cette nature, par suite de ce rapprochement des lentilles, il serait détruit par le léger chromatisme déjà produit en sens contraire par l'augmentation d'épaisseur du verre mince. Enfin, remarquons que le rapprochement des lentilles augmentera d'une notable quantité le grossissement, mais que cependant cette augmentation sera un peu compensée, parce qu'un des effets de l'aberration négative produite par une plus grande épaisseur du verre sera une diminution apparente du diamètre de l'objet.

255. Examinons maintenant comment on est parvenu à mobiliser les distances des lentilles et à mettre sous la main de l'observateur un moyen mécanique de corriger ou de compenser les aberrations.

Ce n'est qu'à partir de l'objectif 3 qu'il est utile d'appliquer la correction facultative des images à l'aide du mécanisme représenté figure 81, lequel consiste en un collier faisant rapprocher ou éloigner la première lentille des deux autres. C'est le défaut produit par les différentes épaisseurs de verre mince recouvrant l'objet qu'on corrige en écartant ou rapprochant les lentilles.



Fig. 81.

Un *petit index* correspondant aux lignes  $D$  et  $C$ , *découvert et couvert*, indique la direction à donner au mouvement pour corriger.

Nous avons dit qu'Amici corrigeait les différents défauts de l'objectif à l'aide d'une quatrième lentille ajoutée derrière les lentilles ordinaires de l'objectif. Si le verre mince était un peu trop épais, il



ajoutait un ménisque divergent, s'il était trop mince, il changeait ce ménisque divergent contre un autre légèrement convergent. (Voy. Amici, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, Paris, 1844, t. IX, p. 44.) Le procédé indiqué par Andrew Ross consistait à ajuster les deux dernières lentilles d'une façon immuable dans la monture cylindrique de l'objectif et à fixer la première, la frontale, à un tube glissant sur la partie fixe de l'objectif; de cette façon, la première exécutait seule un mouvement de rapprochement ou de séparation. On peut aussi faire marcher la dernière et l'isoler des deux premières; dans ce cas la correction est moins rapide et il faut de plus grands mouvements de séparation que lorsqu'on se sert de la première. On peut aussi doubler cette fonction et faire marcher la lentille frontale en même temps que la dernière, celle du milieu restant fixe (correction double de Hartnack). Le seul avantage qui en résulte est qu'elles ont chacune moins de chemin à parcourir que quand la correction s'opère par le déplacement d'une seule et il y a danger que le mouvement s'altère et surtout se durcisse par le frottement considérable des deux tubes.

Dans tous ces systèmes, il y a un petit inconvénient qui se manifeste assez vivement lorsqu'on a besoin de corriger rapidement une image; c'est la perte de la visibilité de l'objet. En effet, en tournant le collier (fig. 81), on éloigne ou on rapproche la lentille de l'objet, il faut donc avoir constamment sous la main le mouvement lent pour redescendre ou remonter tout le système optique vers l'objet. Il y a là une série de disparitions et de réapparitions de l'objet assez désagréables pour qui n'a pas une certaine habileté dans l'emploi du mouvement de correction et de celui de la mise au point par la vis de rappel.

Wenham, de Londres, a proposé, il y a déjà longtemps, une modification au système adopté qui est assez importante dans la pratique. Au lieu de faire mouvoir la lentille frontale sur les dernières, il rendait fixe la frontale et faisait mouvoir les deux dernières par un mécanisme agissant sur l'intérieur, de sorte que la petite lentille frontale resta à la même distance de l'objet pendant le déplacement des deux dernières; il faut nécessairement changer néanmoins la mise au point, mais d'une quantité infinitésimale, et pendant ces mouvements, l'objet, quoique moins net, reste toujours en vue. Cela est d'un très-grand avantage comme temps employé dans les recherches scientifiques sérieuses. M. Nacet et les constructeurs américains Tooles et Wales l'ont déjà adoptée.

254. Lorsqu'on veut régler la correction d'un objectif, afin d'obtenir le maximum de netteté des contours en étudiant une préparation couverte d'une lamelle dont on ignore l'épaisseur, on place la languette au milieu de la fente et on cherche, dans la préparation soumise à l'examen, une partie qui offre des détails d'une grande finesse. On met au point; puis on tourne le collier, soit à droite, soit à gauche, suivant que l'on suppose que le couvre-objet a plus ou moins d'un dixième de millimètre d'épaisseur. Mais comme le mouvement de rotation a dérangé l'exactitude de la mise au point, on la rétablit en faisant agir la vis micrométrique ou à mouvement lent du microscope. Si l'on voit moins bien les détails de la partie observée, si, au lieu de gagner en finesse, ils prennent de l'épaisseur, cela indique qu'on n'a pas tourné le collier dans le sens convenable. Alors on tourne le collier en sens contraire ce qui ramène la languette à sa position moyenne; on met l'objet au foyer, comme on l'avait fait en débutant, et l'on recommence la série des opérations ci-dessus indiquées en faisant mouvoir le collier en sens inverse. Si l'image paraît sensiblement plus parfaite, on continue à tourner le collier de la même façon et à remettre chaque fois au point jusqu'au moment où l'image commence à perdre de sa netteté. C'est le signe que l'on a dépassé les limites de la correction exigée par l'épaisseur du couvre-objet. On revient facilement à la position favorable dont on s'était un peu écarté.

Ces tâtonnements s'exécutent promptement en ne quittant pas, d'une main, la vis micrométrique du microscope, et de l'autre, le collier de l'objectif.

#### *Des objectifs à immersion.*

255. Nous avons vu que le principal obstacle à la bonne résolution (voy. pages 101 et 102) des objets vient de la réfraction violente que subissent les rayons en quittant la lamelle mince pour entrer dans l'air et en second lieu à leur nouvelle réfraction pour entrer dans la lentille.

Amici avait pensé que pour corriger ce défaut (la réfraction, le brisement des rayons à leur entrée dans l'air au sortir du verre mince) il faudrait que la lentille frontale fit partie du verre mince; mais comment dans ce cas rendre variable la distance de l'objet à la lentille? Simplement en leur interposant un milieu élastique ayant à peu près le même indice de réfraction que le verre. Il imagine de faire plonger la lentille dans un liquide de même indice