

CHAPITRE V.

ESSAI DE LA CHAMBRE NOIRE ET DES OBJECTIFS.

§ 1. — CHAMBRES NOIRES.

133. Les chambres noires bien construites doivent satisfaire à certaines conditions générales que nous avons sommairement indiquées en décrivant les divers modèles d'appareils. Ces conditions sont les suivantes :

1° La chambre noire doit être imperméable à la lumière diffuse ;

2° Les deux faces opposées, celle qui porte l'objectif et celle sur laquelle se placent la glace dépolie et le châssis à épreuves doivent être parallèles ;

3° L'axe de l'objectif doit être perpendiculaire à la surface de la glace dépolie ;

4° La glace sensible doit pouvoir occuper *très exactement* la place de la glace dépolie.

Quelle que soit l'habileté du constructeur auquel le photographe s'est adressé, il est bon que l'opérateur puisse par lui-même examiner si ces conditions ont été réalisées dans l'appareil qui doit être employé : un petit nombre d'essais permet de s'en rendre compte.

134. Obscurité dans la chambre noire. — La lumière diffuse peut pénétrer accidentellement dans la chambre noire de plusieurs manières : 1° elle peut passer entre le châssis et le cadre qui sert à le placer ; 2° par les angles d'un soufflet mal construit ; 3° par la rondelle ou le cadre qui sert à fixer le soufflet ; 4° l'objectif étant en place, si les diaphragmes ou l'obturateur sont défectueux ; 5° si le châssis est mal construit et si le volet ne s'applique pas exactement contre le cadre.

Pour reconnaître l'un de ces défauts, il est bon de procéder de la façon suivante :

La chambre noire est montée sur un pied de campagne ; on donne au soufflet le développement maximum que comporte l'appareil ; on met en place le châssis négatif fermé, on enlève la planchette porte-objectif, on fixe un grand voile noir sur la partie antérieure de la chambre noire, et, après s'être complètement enveloppé avec le voile noir, l'on regarde pendant quelque temps par l'ouverture destinée à l'objectif ; on examine l'intérieur de la chambre noire pour s'assurer si elle est parfaitement obscure. On fait tourner la chambre sur son pied de manière à présenter successivement ses deux faces au soleil. Le même essai doit être répété avec chacun des châssis d'abord fermé, puis ouvert.

Cet examen ayant donné un résultat satisfaisant, on met en place les planchettes porte-objectifs (non percées) et l'on renouvelle le même essai en regardant par l'ouverture destinée à recevoir les châssis. Aucun objet brillant tel que la tête d'une vis qui ne serait pas noircie, un ressort, la rondelle porte-soufflet, etc., ne doit s'apercevoir. On répète cet essai après avoir muni les planchettes de leurs objectifs, obturateurs, etc. Avec certains objectifs (à diaphragme tournant), il est bon de faire l'essai en plaçant l'appareil de telle sorte que, la partie extérieure du diaphragme étant placée au soleil, l'ombre portée par ce diaphragme soit dans le plan même du diaphragme : l'objectif étant recouvert de son obturateur, aucune lumière ne doit être perçue à l'intérieur de la chambre.

Ces essais ayant donné de bons résultats, on enferme dans le châssis une glace sensible, on laisse l'objectif fermé, on met le châssis en place et on ouvre le volet. La glace préparée est ainsi abandonnée à l'obscurité de la chambre noire pendant une dizaine de minutes ; on ferme le châssis et on développe la plaque : le développement ne doit accuser aucune trace d'action. Peu de chambres noires donnent un résultat satisfaisant lorsque cet essai est fait en plein soleil et que les plaques sont fort sensibles ; c'est pour ce motif qu'il est d'usage de recouvrir tout l'appareil, sauf l'objectif, d'un grand voile noir avant d'ouvrir le volet du châssis.

Le bois de l'intérieur de la chambre noire doit être enduit d'un vernis brillant et non mat : on évite ainsi les réflexions des parois de la chambre. Certains opérateurs qui se servent d'objectifs très rapides interposent dans l'intérieur de la chambre un certain nombre de diaphragmes en carton recouverts de velours : le nombre de ces diaphragmes dépend de la longueur de la chambre ; dans tous les

cas, ils doivent permettre au cône lumineux entier qui émane de l'objectif de tomber sans arrêt sur la plaque sensible.

La construction des châssis à volets est quelquefois défectueuse et il est bien peu de ces appareils dont les volets ne laissent plus ou moins passer la lumière. On s'assurera qu'ils sont convenablement construits en renfermant dans le châssis une plaque très sensible et en transportant ce châssis au soleil pendant quelques minutes : la plaque soumise au développement ne doit accuser aucune trace d'action.

En pratique, les châssis renfermant les plaques sensibles doivent toujours être portés à la chambre noire sous un voile noir ; pendant qu'on soulève le volet, le voile noir doit recouvrir le châssis. Cette manière de faire est indispensable pour éviter des insuccès lorsqu'on emploie les châssis à volets ; avec le système à rideaux, cette précaution est presque toujours inutile.

135. Parallélisme des faces. — La face de la chambre qui porte le châssis dépoli et celle sur laquelle se fixe l'objectif doivent être parallèles ; ces deux faces doivent d'ailleurs être perpendiculaires à la base de la chambre noire.

Cette perpendicularité doit pouvoir subsister dans les diverses positions des deux faces : on s'en assure à l'aide d'une longue équerre bien construite et d'une règle graduée permettant de mesurer la distance des divers points homologues des deux faces.

Il est quelquefois utile d'employer le châssis *basculant* : ce châssis permet d'augmenter le rendement d'un objectif. L'emploi du châssis basculant est bien préférable à l'emploi de porte-objectifs ou porte-châssis à charnières, parce que ces divers systèmes déplacent nécessairement l'axe de l'objectif par rapport au centre de la plaque.

Le châssis à bascule se place à la partie postérieure de la chambre (voyez *fig. 173*, p. 210). Il consiste essentiellement en un cadre à rainures destiné à recevoir le châssis négatif et qui peut s'incliner par rapport à l'axe de l'objectif. Si le cadre ne peut se mouvoir qu'autour d'un axe, la bascule est dite *simple* ; si le châssis peut se mouvoir autour d'un axe vertical et autour d'un axe horizontal, la bascule est *double*. Le centre de mouvement de la bascule doit coïncider avec le centre de la plaque.

Le grand avantage de la bascule consiste en ce que l'on peut obtenir une image nette d'objets situés à des distances différentes de

l'objectif sans avoir recours à de trop petits diaphragmes. La bascule permet donc d'atteindre le résultat que procure l'usage de petits diaphragmes sans présenter les inconvénients qui proviennent de leur emploi. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'obtenir avec un objectif de 0^m40 de foyer¹, sur une plaque 0^m24 × 0^m30, une image d'un des côtés d'une rue dont la maison la plus rapprochée se trouve à 15 mètres et la plus éloignée à 800 mètres de l'objectif : il est clair que dans ce cas le tirage de la chambre noire devra être plus long pour l'avant-plan que pour les objets éloignés. Le calcul démontre que la différence focale correspondant à la différence de distance s'élève à environ 0^m0125. L'emploi d'un diaphragme $\frac{f}{40}$ permettra d'obtenir une image nette de ces divers plans ; mais si l'on a recours au châssis basculant, on pourra obtenir une image également nette avec un diaphragme dont le rapport d'ouverture sera $\frac{f}{20}$: on opérera donc *quatre fois plus vite*. En effet, mettons au foyer un objet situé à moitié distance du plan le plus éloigné, faisons occuper à cet objet le centre de la plaque et faisons basculer le châssis sur son axe vertical de 0^m006, l'image sera partout également nette.

L'emploi de la bascule horizontale est utile pour photographier une vue comprenant des objets rapprochés de l'objectif et d'autres situés à une très grande distance. En faisant basculer le châssis sur son axe horizontal on égalisera les distances focales et on aura une netteté tout aussi bien répartie que si l'on avait employé un petit diaphragme.

Pour le portrait, pour les groupes, l'emploi de la bascule est très précieux parce qu'il permet d'opérer très rapidement. Pour photographier un modèle assis, on se servira de la bascule horizontale ; pour un modèle qui est placé de profil, on emploiera le châssis basculant autour d'un *axe vertical*.

Le châssis à bascule ne doit pas être employé pour photographier des plans. Dans ce cas, il faut qu'il y ait parallélisme complet entre les deux faces de la chambre noire et l'objet à copier ; il en est de même pour les reproductions de certains monuments, etc. On doit donc pouvoir retrouver ces conditions de parallélisme dans tous les appareils.

1. Dallmeyer, *Du choix et de l'emploi des objectifs photographiques*, Puech, à Paris.

136. Perpendicularité de l'axe de l'objectif sur la surface sensible. — Lorsque la chambre noire, munie de l'objectif, est dans sa position normale, l'axe de l'objectif doit être perpendiculaire sur le plan de la glace dépolie; le pied de cette perpendiculaire doit se confondre avec le centre de la glace dépolie. On s'assure qu'il en est ainsi en couvrant les lentilles de l'objectif de deux rondelles de carton exactement ajustées; au centre de ces rondelles, on perce un trou avec une forte épingle, on place l'objectif sur la planchette que l'on monte sur la chambre noire, on tourne l'objectif vers la lumière. En examinant la glace dépolie, on aperçoit un disque lumineux dont le centre doit coïncider avec celui de la glace¹.

137. Glace dépolie. — La glace sensible renfermée dans son châssis doit venir occuper rigoureusement la place de la glace dépolie. On s'en assure de la façon suivante : on met au point au centre de la glace dépolie un objet à contours bien nets, tel qu'un titre de journal ou de livre; la mise au point doit être faite en s'aidant d'une forte loupe que l'on appliquera sur le verre dépoli. Après la mise au point, on remplace le cadre à verre dépoli par un châssis négatif contenant une glace finement dépolie; on observe la netteté de l'image. Elle doit être la même que sur le verre dépoli si les châssis sont bien ajustés; s'il n'en est pas ainsi, il faut changer la position du verre dépoli dans son cadre jusqu'à ce que l'on obtienne ce résultat.

Cette vérification ne peut, avec certains châssis, être faite de la manière que nous venons d'indiquer. En l'absence d'instruments spéciaux, on peut mesurer, au moyen d'une règle à T, la distance qui sépare la partie antérieure de la chambre du verre dépoli, puis celle qui sépare cette même partie antérieure de la surface d'une plaque sensible placée dans le châssis; mais c'est là un moyen qui manque de précision et qui est absolument à rejeter pour la vérification des chambres noires de petite dimension.

Ces divers essais doivent être exécutés en employant des glaces, car les verres ordinaires ne sont pas assez plans pour ces opérations.

Quelquefois, le ressort destiné à maintenir les glaces dans des châssis simples est trop fort et courbe la plaque dans son centre d'une façon assez sensible; la surface du verre présente une courbure de sens contraire à celle de la surface focale. On obtient alors un manque

1. Davanne, *La Photographie*, I, p. 50.

de netteté très prononcé. Ce défaut est sensible surtout avec les verres de grande dimension. On peut éviter complètement cette cause d'erreur en enlevant le ressort trop fort et le remplaçant par deux autres plus faibles, placés de façon à presser également sur les deux extrémités de la plaque. Certains ressorts agissant sur des verres minces peuvent amener des déformations du verre qui se traduisent par des images absolument défectueuses.

138. Planchettes d'objectifs. — Les planchettes d'objectifs doivent s'adapter facilement dans un cadre susceptible de glisser entre deux rainures, de telle sorte que l'axe de l'objectif puisse être élevé, abaissé ou déplacé latéralement. Nous avons indiqué les dispositifs employés à cet effet.

Pour faciliter le transport d'un objectif d'une chambre noire sur une autre par le déplacement de la planchette qui le supporte, il est utile que les planchettes soient établies d'après des règles uniformes.

Le Congrès international de photographie, réuni à Paris au mois d'août 1889, a formulé les résolutions suivantes :

Les planchettes d'objectif seront de forme carrée et s'adapteront dans un cadre de même forme, les constructeurs restant libres d'ailleurs d'adopter le mode de fixation qu'ils trouveront préférable. Pour les chambres de dimensions courantes, ces planchettes formeront une série correspondant à celle des montures des objectifs et qui comportera les numéros et les dimensions suivantes :

Numéros.	1	2	3	4	5
Dimensions du côté.	0 ^m 075	0 ^m 10	0 ^m 125	0 ^m 150	0 ^m 200

Les planchettes des quatre premiers numéros auront une épaisseur de 0^m005, et la dernière aura une épaisseur de 0^m0075. Ces planchettes pourront recevoir chacune les montures d'objectifs du numéro immédiatement inférieur.

§ 2. — ESSAI DES OBJECTIFS.

139. Rondelles d'objectifs. — Pour fixer l'objectif à la chambre noire, on adapte une fois pour toutes, à l'aide de vis, sur la planchette porte-objectif, une rondelle filetée; cette rondelle forme un écrou sur lequel se visse l'embase filetée de la monture des lentilles.

Chaque constructeur possède un très grand nombre de modèles d'embases, qui diffèrent souvent très peu les uns des autres. Il y aurait grand avantage à réduire le plus possible le nombre de ces accessoires, fort encombrants en voyage. Dallmeyer, l'un des premiers, a réduit ce nombre et emploie une série de dix rondelles pour des objectifs dont le diamètre des lentilles est au maximum de 0^m108. Ces dix rondelles servent à fixer environ soixante et dix modèles différents d'objectifs (nous laissons de côté les objectifs de très grande dimension). Mais tous les constructeurs ne sont pas entrés dans cette voie si rationnelle qui permet de n'avoir qu'une ou deux rondelles et, par suite, une ou deux planchettes pour une dimension de plaque déterminée. De là une source d'erreurs et d'embarras lorsque l'on travaille avec une série d'objectifs de divers fabricants.

Le Congrès international de photographie de 1889, dans le but de faciliter l'adaptation des divers objectifs sur les chambres noires, a formulé certaines recommandations qu'il y aurait grand intérêt à voir observées par tous les fabricants. Tout acheteur d'objectifs qui tiendra à simplifier ses travaux devra demander à l'avenir des objectifs à embases et rondelles établies conformément aux décisions du Congrès ; ces décisions sont les suivantes :

Les embases filetées qui font partie des montures des objectifs devront être fixées sur le corps même de ces montures et non sur le barillet des lentilles qui y sont engagées.

Pour les objectifs de dimensions courantes qui seront construits à l'avenir, on emploiera une série normale d'embases filetées portant les numéros et ayant les diamètres extérieurs indiqués ci-dessous :

Numéros :	1	2	3	4	5
Diamètres :	0 ^m 040	0 ^m 050	0 ^m 075	0 ^m 100	0 ^m 125

Les chambres noires devront porter sur leurs planchettes des rondelles filetées correspondantes, formant écrou pour filetage.

Les corps des montures des objectifs pourront, par suite, être de diamètre quelconque et s'adapter d'une façon quelconque sur les embases, mais ils devront porter une embase filetée se vissant sur la rondelle-écrou.

Les pas de vis des rondelles des numéros 1 à 4 seront de 0^m001, et exceptionnellement celui du n° 5 sera de 0^m0015. Les filets auront pour section un triangle équilatéral à angles arrondis.

Pour les très petits objectifs, on adoptera sous le numéro 0 la rondelle déjà admise universellement pour la monture des objectifs de microscopes. Cette rondelle est connue de tous les bons constructeurs d'instruments d'optique sous le nom de pas de vis de la Société microscopique (Standar-Screw, Society-Screw).

Les appareils existants, objectifs et rondelles, pourront être amenés aux dimensions normales adoptées par le Congrès en changeant ou retouchant les rondelles fixées sur les planchettes ou les embases montées sur les objectifs, ou en faisant usage de rondelles intermédiaires filetées de dimensions convenables.

140. Adapteur. — Les décisions du Congrès relatives aux objectifs nécessitent pour le matériel déjà existant certaines dépenses

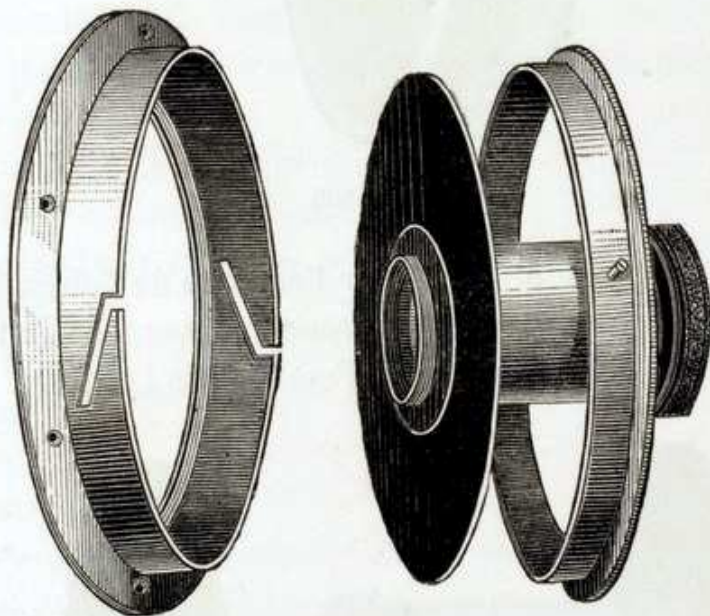


Fig. 299.

et un travail délicat ne pouvant être entrepris que par des constructeurs habiles. Si l'on ne veut pas recourir à ce procédé coûteux, l'on peut se servir d'un *adapteur*. L'un des meilleurs a été indiqué par M. Molteni¹. Cet appareil a été signalé par le Congrès comme donnant une solution commode du problème ayant pour objet le montage facile des objectifs.

Ce procédé consiste à faire usage d'une rondelle à bague intérieure portant une baïonnette inclinée, ce qui permet d'obtenir un serrage rapide et suffisamment fort sur les disques annulaires découpés dans des feuilles de carton, de métal ou d'ébonite (fig. 299).

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1889, p. 121.

Ces disques ont pour diamètre extérieur uniforme le diamètre intérieur de la rondelle et peuvent être pincés par leur bord sous la bague à baïonnette (*fig. 300*). Ils ont pour diamètre intérieur un diamètre

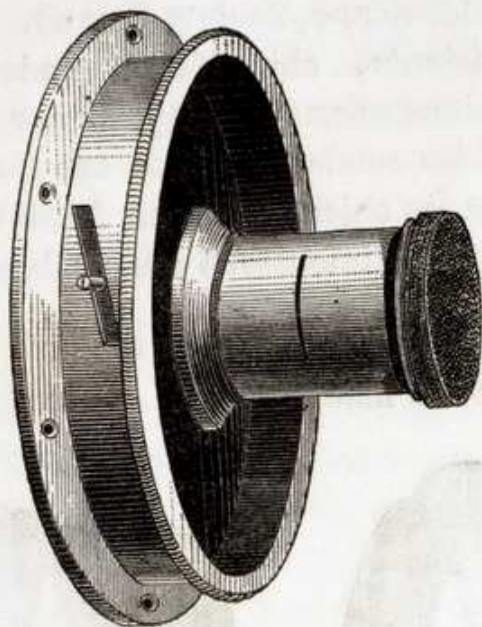


Fig. 300.

égal à celui du filetage pratiqué sur l'embase de l'objectif, de façon à pouvoir se placer sur cette embase après enlèvement de la rondelle de l'objectif. Ils s'engagent donc entre l'embase de l'objectif et la rondelle

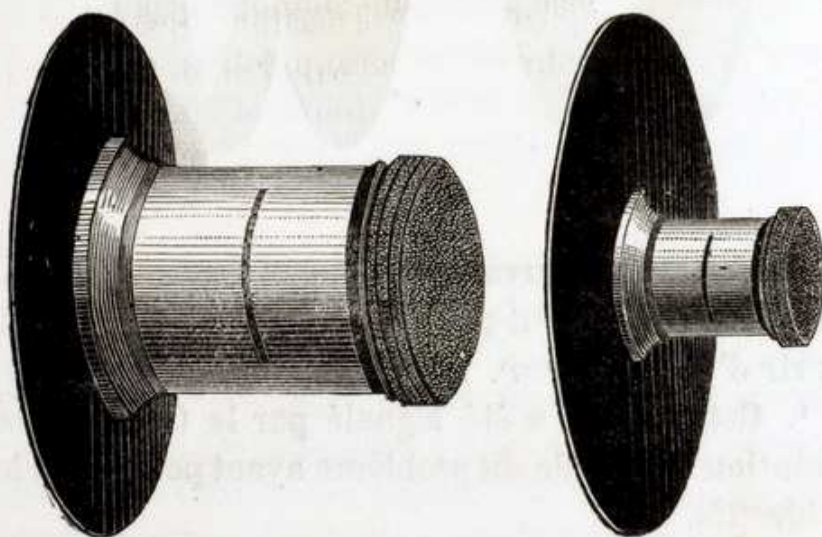


Fig. 301.

et sont fixés par serrage entre les deux en donnant de cette façon à l'objectif une seconde embase de grande dimension (*fig. 301*). On doit préparer autant de disques de ce genre que l'on a d'objectifs de diamètres différents à fixer sur la chambre noire.

M. Franck de Villechole¹ a proposé de simplifier ce mode d'attache en faisant de véritables planchettes en métal sur lesquelles l'objectif se fixerait, comme l'a indiqué M. Molteni, en pinçant la plaque métallique entre la rondelle et l'embase de l'objectif.

141. Essai des objectifs. — Essayer un objectif c'est comparer cet instrument avec un autre pris comme type, que ce type-unité existe ou bien qu'il soit fictif. Cette comparaison, pour avoir quelque valeur, doit être faite par une méthode précise, rapide, simple, permettant de *mesurer* en quelque sorte les mérites de l'objectif. Il est évident que cette mesure ne peut être faite par la simple comparaison d'une ou deux épreuves ordinaires (portrait, paysage, intérieur, etc.). Procéder ainsi serait aussi dénué de sens que de vouloir effectuer une mesure en l'absence d'unité.

Il faut déterminer les propriétés essentielles d'un objectif pour se prononcer sur sa valeur. Ces propriétés, au point de vue pratique, sont les suivantes² :

- 1° La longueur de la distance focale principale;
- 2° La forme de la surface focale principale;
- 3° La profondeur de foyer ou le volume focal principal;
- 5° L'astigmatisme;
- 5° La distorsion;
- 6° Le champ;
- 7° La clarté;
- 8° L'achromatisme.

La *longueur focale principale* est la distance qui sépare le plan focal principal du point nodal correspondant.

La *surface focale principale* est une surface (symétrique par rapport à l'axe optique) sur laquelle viennent se former les images des objets éloignés. Les efforts de l'opticien tendent à aplatir cette surface focale sur le plan focal. Le *champ plan minimum* est la portion de l'espace pour laquelle la surface et le plan tangent à cette surface (plan du verre dépoli des photographes) se confondent ou ne diffèrent que d'une quantité très petite.

La *profondeur de foyer* ou volume focal principal provient de ce que, grâce à l'emploi du diaphragme, la surface focale possède une

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1889, p. 121.

2. P. Moessard, *Étude des lentilles et objectifs photographiques*. Paris, Gauthier-Villars, 1889.

certaine épaisseur qui constitue ainsi un *volume focal* : l'opérateur peut faire avancer ou reculer le verre dépoli dans cet espace sans que l'image obtenue cesse d'être pratiquement nette.

Nous avons vu (page 59) que l'*astigmatisme* provenait de la grande inclinaison des rayons sur l'axe : chaque point de l'objet, au lieu de donner naissance à un foyer conjugué unique, fournit après réfraction deux éléments rectilignes, séparés et situés sur l'axe secondaire dans deux plans à angle droit ; plus les rayons sont obliques, plus ces deux éléments focaux s'allongent en s'écartant l'un de l'autre : un cercle donne naissance à un ovale.

La *distorsion* provient des aberrations des lentilles : elle augmente avec l'inclinaison des rayons incidents sur l'axe ; les lignes droites du modèle cessent d'être droites sur l'image.

Le *champ* d'un objectif se mesure en général par l'angle du cône limitant l'espace dont cet objectif peut fournir l'image ; ce cône a son sommet au point nodal d'incidence.

Le *champ de visibilité* comprend tous les rayons qui traversent réellement l'objectif sans être arrêtés par la monture ni le diaphragme. En désignant par δ_a le diamètre de la lentille antérieure de l'objectif, h_i la distance du point nodal d'incidence à la face antérieure de l'objectif, l'angle du champ théorique γ sera donné par la formule :

$$\gamma = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tang} \frac{\delta_a}{2h_i} .$$

Le *champ de netteté* ne comprend que le cône des axes secondaires sur lequel se forme un foyer réel ; le *champ plan* s'applique aux rayons qui fournissent l'image plane. Le champ peut se mesurer par le diamètre de sa section par le plan focal : les photographes disent alors que l'objectif *couvre* tant de centimètres.

La *clarté* dépend de la composition de l'objectif, de la grandeur du diaphragme, du nombre et de la nature des verres, etc. On peut dire en général que *plus une image est éclairée plus belle sera l'épreuve*.

L'*achromatisme* d'un objectif photographique s'entend de la coïncidence du foyer chimique et du foyer physique.

142. Détermination de la longueur focale principale d'un objectif. — Nous avons indiqué (page 50) comment l'on pouvait déterminer la longueur focale principale d'une lentille ou d'un sys-

tème quelconque de lentilles, c'est-à-dire la distance qui sépare le plan focal principal du point nodal correspondant.

Les constructeurs d'objectifs donnent presque toujours des indications erronées sur la valeur de cette longueur focale principale. Le Congrès international de photographie a formulé, relativement à cette question, les recommandations suivantes :

Les objectifs photographiques devront à l'avenir porter sur leur monture les indications nécessaires pour faire connaître leur longueur focale principale et la position des points nodaux d'incidence et d'émergence. La longueur focale principale, déterminée aussi rigoureusement que possible, sera exprimée en millimètres à compter du point nodal d'émergence. On devra faire usage pour cette détermination de procédés suffisamment précis pour permettre d'obtenir la longueur cherchée avec une approximation au moins égale au centième de sa valeur.

Avant d'indiquer quelles sont les méthodes à employer pour cette détermination, il nous paraît utile de résumer les propriétés des objectifs photographiques que nous avons précédemment décrits.

Un objectif photographique est un système optique convergent qui permet d'obtenir une image réelle des objets éclairés. Les lentilles qui composent un objectif sont *centrées*, c'est-à-dire que les centres de leurs faces se trouvent sur une même ligne droite appelée *axe optique principal* de l'objectif.

Un point lumineux situé en avant d'un objectif envoie sur la lentille un cône de rayons qui, après avoir traversé l'objectif, vont converger en un point unique. Le point lumineux est appelé le *point-objet* et son image le *point-image* ou le *foyer conjugué* du point-objet.

Soit un plan perpendiculaire à l'axe principal de l'objectif : le lieu des images des différents points de ce plan pourra être considéré comme étant un plan également perpendiculaire à l'axe principal. Ce plan est quelquefois appelé le *plan-image*, ou le plan conjugué du plan-objet.

Lorsque le point-objet s'éloigne à l'infini sur l'axe principal, les rayons incidents deviennent parallèles et le point-image se trouve alors en un point de l'axe principal appelé le *foyer principal postérieur* de l'objectif. Si le point-objet se rapproche au contraire de l'objectif le point-image s'en éloigne, et lorsque ce point s'est éloigné à l'infini les rayons émergents sont parallèles entre eux. Le point-objet se trouve alors en un point de l'axe principal, appelé le *foyer principal antérieur* de l'objectif.

Les plans perpendiculaires à l'axe principal et passant par les deux foyers principaux sont les *plans focaux principaux* de l'objectif.

Dans tout objectif, il existe deux points fixes (*points nodaux*), situés sur l'axe principal, et qui jouissent de la propriété suivante : tout rayon émané du point-objet et dirigé vers le *point nodal d'incidence* émerge suivant un rayon parallèle au rayon incident et passant par le *point nodal d'émergence*. On désigne ces deux points par la notation N_i et N_e . On appelle quelque-

fois *directrice d'incidence* le rayon incident et *directrice d'émergence* le rayon émergent; on dit aussi *nœud d'incidence*, *nœud d'émergence*, pour point nodal d'incidence, point nodal d'émergence.

Il importe de se rendre compte de la position des points nodaux dans un objectif. Dans un objectif double les points nodaux sont compris entre les deux lentilles; dans certains cas, la distance du point nodal d'incidence à la face d'incidence, ajoutée à la distance du point nodal d'émergence à la face d'émergence, est égale à l'écartement des deux faces des lentilles: les deux points nodaux se confondent alors en un même point de l'axe principal. Dans d'autres cas, cette somme est ou bien inférieure, ou bien supérieure à l'écartement des faces des lentilles; ce dernier cas se présente avec les objectifs à portraits de la forme Petzval.

Les distances des deux foyers principaux d'un objectif aux points nodaux correspondants sont égales. Un objectif photographique n'a donc en réalité qu'une seule distance focale principale.

Si on place un point lumineux en avant d'un objectif à une distance supérieure à sa distance focale, on obtient en arrière de l'objectif une image du point-objet; le point où cette image se forme nettement est la position du point focal conjugué du point-objet.

La distance p du point-objet à l'objectif est égale à la distance du point-objet à la face d'incidence de la lentille antérieure de l'objectif augmentée de la distance de cette face au point nodal d'incidence. De même la distance p' du point-image à l'objectif est égale à la distance du point-image à la face d'émergence de la lentille postérieure augmentée de la distance de cette face au point nodal d'émergence.

Il existe entre les distances p et p' et la distance focale principale F de l'objectif la relation suivante :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{F};$$

d'où l'on déduit : $p = \frac{p'F}{p' - F}$ et $p' = \frac{pF}{p - F}$.

La relation précédente ne change pas lorsqu'au lieu de prendre pour origine des distances p et p' les points nodaux on compte ces distances à partir de deux points conjugués quelconques; de plus, cette relation s'applique à un système optique quel que soit le nombre des lentilles qui le composent.

La distance p est comptée positivement vers le côté d'où vient la lumière et négativement en sens inverse. Au contraire, la distance p' est comptée positivement dans le sens de la lumière transmise et négativement en sens inverse.

Par suite de ces conventions, la distance focale F est positive si la lentille est convergente et négative si la lentille est divergente.

Discutons, au point de vue de la pratique photographique, la formule

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{F}.$$

Si le point-objet se rapproche de l'objectif depuis l'infini à une distance égale à $2F$, la distance du point-image à l'objectif varie de F à $2F$. Le point-objet se trouvant à une distance $2F$ de l'objectif, le point-image est également à une distance $2F$ de l'objectif. Si la distance du point-objet à l'objectif passe de $2F$ à F , le point-image passe de $2F$ à l'infini. Le point-image se rapprochant de l'objectif et sa distance devenant inférieure à F , son image cessera d'être réelle.

Donc, dans tous les cas, si on obtient une image réelle de l'objet, cet objet et son image sont à une distance de l'objectif supérieure à sa distance focale principale.

La valeur absolue φ de la distance du point-objet au foyer principal antérieur, la valeur absolue φ' de la distance du point-image au foyer principal postérieur et la distance focale principale F de l'objectif sont liées par la relation de Newton.

$$\varphi\varphi' = F^2.$$

Si $\varphi = nF$ $\varphi' = \frac{1}{n} F$. Donc, si on exprime φ en fonction de F , il suffit de prendre l'inverse du nombre qui mesure φ pour avoir φ' .

C'est sur cette relation qu'est basée la méthode de M. Cornu, méthode qui permet de déterminer facilement, et avec une très grande exactitude, la distance focale principale d'un système optique (voir page 51). Voici un exemple d'une détermination de distance focale principale¹.

Soit un objectif double Petzval : on le place dans son support qui se meut au-dessus d'une règle graduée en centimètres; on effectue la visée sur un objet placée à 60 mètres. On observe d'abord l'objectif étant dans sa position normale, le parasoleil étant du côté du point-objet (position directe); puis l'on observe l'objectif étant dans la position inverse. Reprenant les notations de la page 52, nous inscrirons sur le registre d'observations :

	Position directe.	Position inverse.
Visée sur un objet à 60 mètres. . .	$z'_0 = 28,68$	$z_0 = 30,76$
Visée sur la surface voisine.	$z'_1 = 17,13$	$z_1 = 18,50$
Visée sur la surface opposée. . . .	$z'_2 = 7,59$	$z_2 = 8,43$

L'épaisseur du système optique est égale à 7,65; on ne peut donc pas prendre la distance du foyer des objets lointains à la surface comme distance focale principale. On calculera d'abord une valeur approchée de cette distance focale en négligeant la correction, d'ailleurs très petite, et l'on reprendra le calcul avec la valeur calculée de la correction des foyers z_0 et z'_0 .

$$\begin{aligned} z_1 - z'_0 &= -11,55 & z'_1 - z_0 &= -12,26 \\ z_2 - z_0 &= -22,33 & z'_2 - z'_0 &= -21,09 \end{aligned}$$

On peut prendre (puisqu'il ne s'agit que de la valeur approchée nécessaire

1. A. Cornu, *Journal de physique de d' Almeida*, 1877, p. 313.

pour calculer une correction très petite), 16,9 ou 16,8 pour valeur de f .
valeur calculée d'après

$$f^2 = (z_1 - z_0) (z'_2 - z'_0) \quad f^2 = (z'_1 - z'_0) (z_2 - z_0)$$

On a visé à 60 mètres, la correction est

$$16,8 \times \frac{16,8}{6000} = 0,047,$$

soit environ 0,05 qu'il faut retrancher de z_0 et z'_0 , ou ajouter numériquement aux différences. On en déduit

$$f_2 = 11,50 \times 22,28 = 256,22 \quad \text{et} \quad f^2 = 12,21 \times 21,04 = 256,90$$

et par suite $f = 16,007 \quad f = 16,038.$

A l'aide de ces valeurs, on peut calculer de nouveau la correction

$$\frac{(16,0)^2}{600} = 0,043.$$

soit 0,04 au lieu de 0,05 qui avait été* adopté. On n'a pas besoin de recommencer le calcul : il suffit d'ajouter 0,01 aux deux valeurs de f , comme le prouverait le calcul direct ; on obtient

$$f = 16,017 \quad f = 16,038.$$

La distance des points nodaux s'obtiendra en retranchant f de la distance du point focal principal à la surface.

	Position directe.	Position inverse.
z'_0 corrigé.	28,64	z_0 ... 30,72
z'_1	17,13	z_1 ... 18,50
	11,51	12,22
Distance du foyer principal à la surface voisine f	16,03	16,03
Distance du point nodal à la surface voisine. —	4,52	3,81

Les deux points nodaux sont à l'intérieur du système optique. La somme de leur distance aux surfaces $4,52 + 3,81 = 8,33$ étant plus grande de 0,68 que la distance des surfaces 7,65, il en résulte que les points nodaux sont *croisés*, c'est-à-dire que le point nodal et son foyer correspondant ne sont pas voisins, mais contiennent dans leur intervalle le point nodal correspondant à l'autre foyer.

143. La méthode de mesure indiquée par M. Cornu donne des résultats d'une très grande précision : c'est celle que le Congrès international de photographie a recommandé aux constructeurs d'appareils.

A défaut de la méthode de M. Cornu, on pourra employer le procédé moins précis qui consiste à déterminer, à l'aide d'une chambre noire, deux positions successives de l'image, d'abord pour un objet très lointain, puis pour un objet de dimensions faciles à déterminer placé à une distance choisie, de manière à donner sans perte de netteté l'image la plus grande possible, eu égard aux conditions d'emploi pratique de l'objectif considéré.

On mesurera exactement les dimensions correspondantes de cet objet et de son image et le déplacement du châssis à glace dépolie (ou de la planchette porte-objectif) pour passer de l'image de l'objet approché à l'image de l'objet éloigné.

Le rapport de la dimension de l'objet rapproché à celle de son image sera égal au rapport de la distance focale cherchée au déplacement qu'aura dû subir le châssis pour les deux mises au point.

En choisissant pour l'objet rapproché une droite de 0^m,10 ou 0^m,20 de longueur tracée sur un carton blanc et cherchant l'image de cette ligne sur la glace dépolie avec les précautions voulues pour éviter les effets de parallaxe, ou même en prenant l'image photographique de cette droite sur une glace sensible, on pourra déterminer la longueur focale cherchée avec une précision généralement suffisante.

Le procédé indiqué par M. Warnerke pourra être employé lorsque la distance qui sépare les points nodaux est négligeable : ce cas se présente pour quelques objectifs grands angulaires et quelques rectilinéaires. On fixe à l'extrémité d'une règle graduée et perpendiculairement à cette règle un écran de carton blanc ; sur la règle graduée, on place l'objectif dont on veut déterminer la longueur focale principale et l'on dirige tout le système vers le soleil. L'embase de l'objectif faisant face à l'écran, on avance ou on recule l'objectif ; on obtient sur l'écran une image nette de la surface solaire. On note sur la règle graduée la position exacte d'un point quelconque (extrémité du diaphragme, bord du parasoleil) de la monture de l'objectif, soit 0^m275 ; on retourne l'objectif bout pour bout, de manière à ce que l'embase soit tourné vers le soleil, et l'on cherche à obtenir sur l'écran une image nette de la surface solaire ; on note la position

sur la règle du même point de la monture de l'objectif, soit 0^m225 . On prend le milieu de l'intervalle compris entre 0^m275 et 0^m225 , soit $0,250$: si l'écran est au 0 de la graduation, cette distance mesure la longueur focale principale cherchée.

Le Congrès international de photographie a recommandé aux constructeurs l'usage de l'appareil imaginé par M. le commandant Moessard. Cet appareil, appelé *le tourniquet*, permet d'obtenir diverses données caractéristiques des objectifs et de dresser ainsi pour chaque instrument un tableau signalétique complet.

144. Le tourniquet. — Cet appareil¹ ressemble à une chambre noire ordinaire (fig. 302); il comporte de même un *chariot* H mobile à crémail-

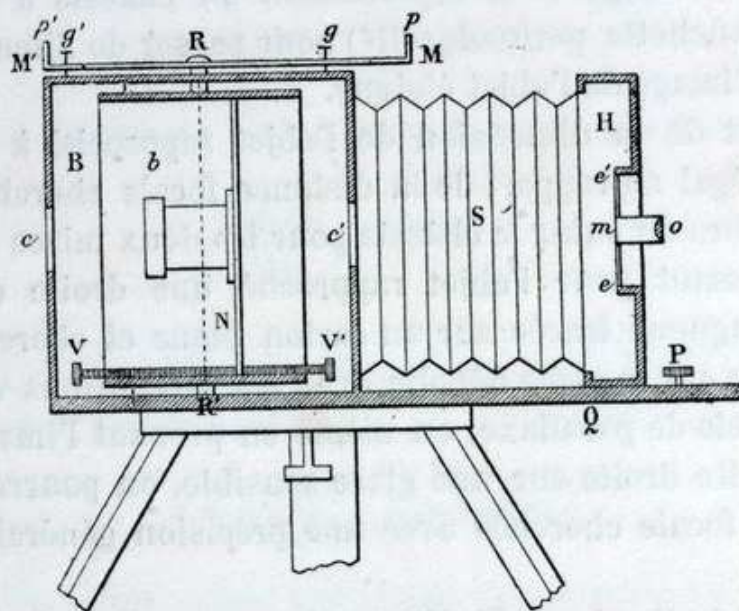


Fig. 302.

lère et pignon P, portant le *verre dépoli* ee' et réuni par un *soufflet* S à une *boîte cubique fixe* B, fermée de toutes parts, à l'exception de deux ouvertures rondes assez étroites et égales c et c' , percées au centre des parois d'avant et d'arrière. Une seconde *boîte cubique mobile* b est suspendue à l'intérieur de la première par un *axe* métallique vertical RR' , autour duquel elle peut exécuter un mouvement de rotation complet sur elle-même; cet *axe* sort de la boîte n° 1, au centre de son plafond, et est actionné de l'extérieur par une *manivelle* en cuivre MM' , que manœuvre l'opérateur. La boîte mobile est ouverte à l'avant; son arrière est formé par une *planchette porte-objectif* verticale N, portée par un petit chariot qu'on peut faire avancer ou reculer à l'aide d'un écrou et d'une vis sans fin VV' . L'*objectif à essayer* se fixe comme d'habitude sur cette planchette

1. P. Moessard, *Etude des lentilles et objectifs photographiques*, Paris, Gauthier-Villars, 1889.

et peut, en conséquence, être avancé ou reculé par rapport à l'axe de rotation. On a un jeu de planchettes mobiles percées de trous de différents diamètres correspondant aux divers diamètres d'objectifs. Ces planchettes, sur lesquelles se vissent les objectifs, sont un peu plus étroites, dans le sens horizontal, que leur logement dans le porte-objectif, ce qui permet de déplacer latéralement et de centrer exactement l'instrument sur l'axe de rotation.

La façade de la boîte fixe s'ouvre à charnière pour permettre d'introduire l'objectif, de le mettre en place et de manœuvrer la vis sans fin. Un système d'écrans, les uns fixes, les autres mobiles, interceptent toute clarté étrangère et ne laissent pénétrer dans le corps du soufflet que les rayons lumineux qui ont traversé l'objectif en expérience.

La manivelle, faite de deux branches inégales, la plus longue à l'arrière, porte à ses extrémités deux petites pinnules rectangulaires p et p' , à travers

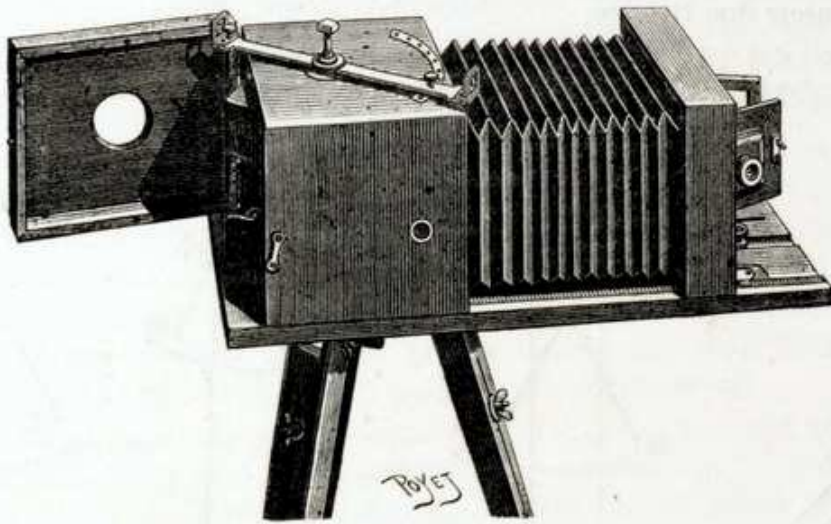


Fig. 303.

lesquelles on vise pour diriger l'appareil sur le point dont on veut recevoir l'image sur le verre dépoli. Un arc en cuivre, gradué en grades¹ et centré sur l'axe de rotation, est encastré dans la paroi supérieure de la boîte B. La manivelle porte, à chacune de ses branches, une goupille en cuivre g et g' qui peut pénétrer dans des trous pratiqués de 10° en 10° dans cet arc gradué, de façon à immobiliser la manivelle, la boîte intérieure et l'objectif dans des directions variant de 10° en 10° sur l'axe horizontal de figure de l'appareil. Ces angles se comptent négativement à gauche du zéro et positivement à sa droite.

Le verre dépoli est de petites dimensions; il est porté par un cadre qui s'ouvre à charnières de gauche à droite. Ce cadre ouvert, on peut fermer un volet en bois, monté aussi à charnières de droite à gauche; on amène ainsi dans le plan même qu'occupait la surface dépolie un micromètre m , au $\frac{1}{10}$ de millimètre, fixé à l'extrémité d'un petit tube de cuivre encastré dans le volet et muni à l'intérieur d'un oculaire de lunette ordinaire o . L'image qui se formait sur le verre dépoli est vue à travers cet oculaire, grossie et en

1. Division centésimale de la circonférence. Un angle droit vaut 100 grades.

coïncidence avec le micromètre, ce qui permet d'exécuter des mesures de précision. Le tube porte-micromètre peut tourner de 160° sur son axe et le micromètre prendre toutes les positions comprises entre l'horizontale et la verticale.

Enfin, une *échelle droite* en millimètres est fixée à l'un des bords de la queue de l'appareil. Un vernier au $\frac{1}{10}$, porté par le chariot, glisse le long de cette échelle et donne, à $\frac{1}{20}$ de millimètre près, la distance horizontale de l'axe de rotation au plan du verre dépoli ou du micromètre (fig. 303).

Pour reculer la limite d'emploi de l'appareil sans exagérer son volume et permettre l'étude de lentilles à très long foyer, on peut fixer horizontalement à l'arrière du chariot un tube de longue-vue ordinaire, sans verres, et muni de plusieurs tirages. L'oculaire micrométrique est placé à l'extrémité de ce tube. Le cas échéant, on développe en entier un ou plusieurs de ces tirages, puis, avec le pignon et la crémaillère, on amène l'image sur le micromètre, comme il a été dit ci-dessus. Les lectures faites au vernier doivent être augmentées de la longueur des tirages.

L'appareil est porté par un pied solide à trois branches, sur le plateau duquel peuvent indifféremment se visser soit, comme l'indique la figure 302,

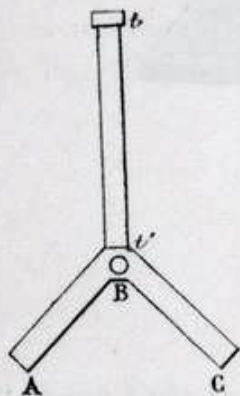


Fig. 304.

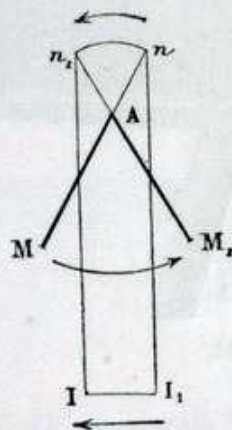


Fig. 305.

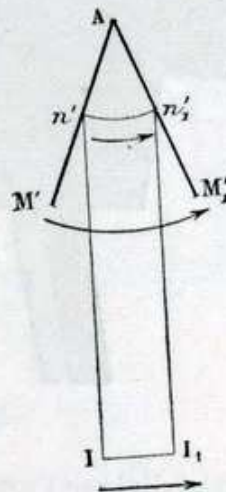


Fig. 306.

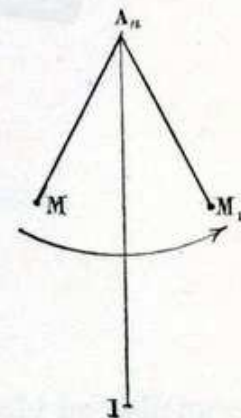


Fig. 307.

la face de la boîte fixe B, opposée à la manivelle, soit l'une ou l'autre des faces latérales de la même boîte, pour la plus grande commodité de l'opérateur. Dans ces deux dernières positions, l'axe de rotation est horizontal; la visée au micromètre se fait avec l'œil gauche ou avec l'œil droit, sans que l'on soit gêné par la queue porte-chariot.

Pour mesurer la distance focale principale d'un objectif, M. le commandant Moessard se sert de l'appareil¹ que nous venons de décrire.

L'objectif à essayer est vissé sur une planchette et accroché dans la boîte mobile avec le plus grand diaphragme; on le centre latéralement sur l'axe de rotation. A cet effet, on introduit du dehors, dans une ouverture centrale pratiquée dans cet axe, une tige d'acier *u'* (fig. 304) remplissant exactement cette ouverture, et l'on fixe avec une vis de pression, à l'extrémité inférieure

1. P. Moessard, *Etude des lentilles et des objectifs photographiques*. Paris, Gauthier-Villars, 1889.

de cette tige une équerre en cuivre ABC, dont les deux côtés sont également inclinés sur la verticale; on déplace l'objectif à droite ou à gauche, jusqu'à ce que la monture s'appuie également sur AB et sur BC. On enlève alors ABC et la tige tt' .

Supposons d'abord un objectif exempt de distorsion. La manivelle étant au zéro, on met à peu près au point sur le verre dépoli, on dégage la manivelle et on la fait osciller doucement de part et d'autre du zéro; si n , le point nodal d'émergence (*fig. 305*) est en avant de l'axe de rotation, l'image I, entraînée par le point nodal, se déplacera de I en I_1 , en sens inverse du mouvement de la main MM_1 . On agit sur la vis sans fin pour ramener l'objectif en arrière. Si alors on dépasse la position, le point nodal vient en n' (*fig. 306*), et, en faisant osciller la manivelle, on constate que le mouvement de l'image II_1 suit le mouvement de la main. L'amplitude et la vitesse de ce déplacement indiquent à l'opérateur si le point n est loin ou près de l'axe. Après quelques tâtonnements, le résultat sera atteint: l'image reste immobile, au moins tant que l'oscillation MM_1 (*fig. 307*) ne sera pas trop large; le point nodal n'est sur l'axe. On remplace alors le verre dépoli par le micromètre, on perfectionne la mise au point et l'on fixe avec toute la rigueur possible la position de l'objectif pour laquelle l'image est absolument immobile; on lit sur l'échelle longue la distance de l'axe au micromètre, et on a la *distance focale principale* à $\frac{1}{20}$ de millimètre près.

On replace alors dans l'axe la tige d'acier tt' qui a servi pour le centrage; cette tige se termine en bas par un poinçon en forme de V, dont le sommet est sur l'axe de figure de la tige et dont l'angle s'ouvre du côté du verre dépoli; on frappe un coup léger sur la tête de cette tige, le V se grave sur la monture de l'objectif et marque la position du point nodal.

On peut aussi, pour ne pas détériorer la monture, marquer ce V avec de l'encre que l'on tamponne à l'extrémité du poinçon. Si le poinçon butte contre une partie saillante, diaphragme, rondelle, on glisse au-dessus de l'objectif une bande de bristol blanc qui s'appuie exactement sur la planchette porte-objectif et qu'on repère sur l'extrémité antérieure de l'objectif; on maintient cette bande horizontalement, et c'est sur elle qu'on marque avec le poinçon le *point nodal*, dont il est aisé ensuite de reporter la position sur la monture.

On tourne l'objectif dans sa rondelle d'un angle quelconque, et l'on refait la même série d'opérations autant de fois qu'on le juge utile; tous les V doivent, si l'objectif est *bien construit*, engendrer un plan principal perpendiculaire à l'axe optique.

Ensuite, on fait faire un demi-tour entier à la manivelle, de façon à retourner l'objectif; on recommence les mêmes mesures; on détermine ainsi le *point nodal d'incidence*. Comme vérification, la distance focale trouvée doit être la même que dans la première opération.

Ce qu'on a fait pour l'objectif entier on le recommence pour ses éléments en dévissant et enlevant tel ou tel groupe de lentilles composantes. Ces diverses mesures fournissent de précieuses indications sur les défauts d'un objectif et permettent d'en déterminer les causes et le remède. Elles donnent également les renseignements nécessaires pour traiter par le calcul toutes les questions théoriques ou pratiques relevant de la théorie générale des

lentilles, telles que détermination du centre optique, des plans de Bravais, etc.

Cette méthode donne des résultats extrêmement précis : c'est celle que les constructeurs doivent adopter, à défaut de celle de M. Cornu, qui nécessite un petit calcul.

145. Il existe d'autres méthodes permettant de déterminer les longueurs focales principales. Nous en rappellerons quatre ; elles sont basées sur le même principe. Soient (*fig. 308*) deux points A et B assez éloignés pour qu'on puisse considérer comme infinie leur distance à l'objectif ; AN_i , $N_e A'$, BN_i , $N_e B'$ les rayons incidents et émergents, $A' B'$ les images des deux

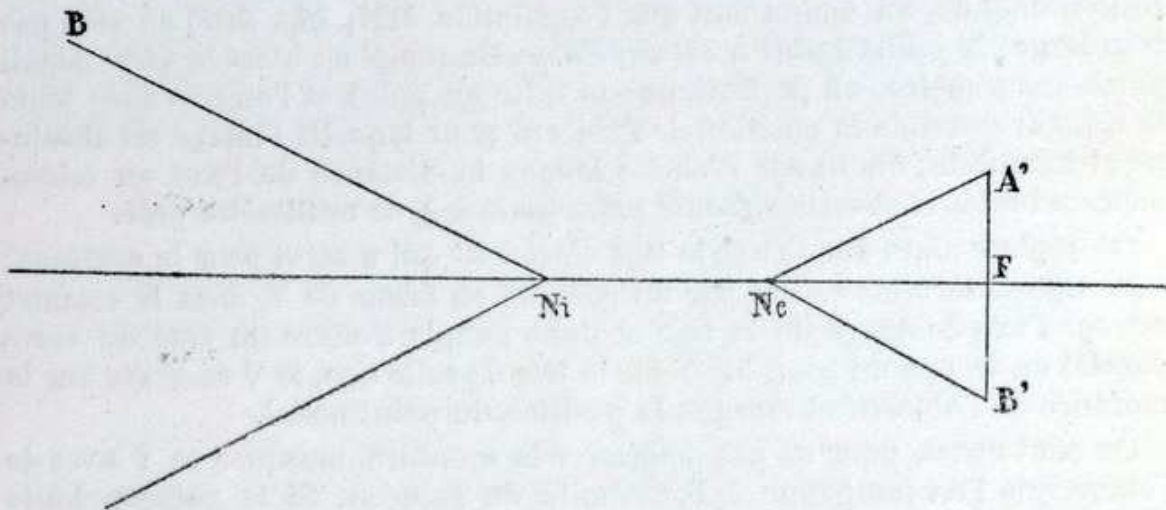


Fig. 308.

points que nous supposons se former symétriquement par rapport au centre de la plaque : $N_e A' B'$ est un triangle isocèle dont le sommet est au point nodal d'émergence. Si nous pouvons construire ce triangle, sa hauteur nous fournira la distance focale principale de l'objectif. La base $B B'$ est facilement mesurable sur la glace dépolie ; il suffira donc de connaître l'angle au sommet $A' N_e B'$.

Pour cela faire, visons les deux points éloignés A et B donnant des images $A' B'$ symétriques par rapport au centre de la glace sur une ligne horizontale passant par ce centre. La chambre noire étant placée sur une surface horizontale recouverte d'une feuille de papier, après avoir mesuré la distance $A' B'$, on oriente l'appareil de manière que l'image A' vienne se faire sur le centre : l'axe principal passe alors par le point A ; avec un crayon appuyé sur un des bords de la chambre, on marque sur le papier la trace de ce bord. On amène également au centre de la glace l'image B' et on marque la trace du même bord de la chambre. Si, comme nous l'avons supposé, les points A et B sont suffisamment éloignés, l'angle des droites CD et $C' E$ sera égal à l'angle $A' N_e B'$ (*fig. 309*), de quelque façon que l'on ait déplacé la chambre pour passer de l'une des visées à

l'autre. On mène la bissectrice de cet angle, et au moyen d'un équerre on intercale entre la bissectrice et l'un des côtés de l'angle une perpendiculaire PM à la bissectrice, qui soit exactement la moitié de la longueur A' B'. En mesurant sur le papier la hauteur PM nous aurons la distance focale principale.

Cette méthode, très séduisante en théorie, exige en pratique un certain nombre de constructions graphiques qui en altèrent singulièrement la précision apparente.

146. M. de la Baume-Pluvinel¹ choisit comme points lumineux deux

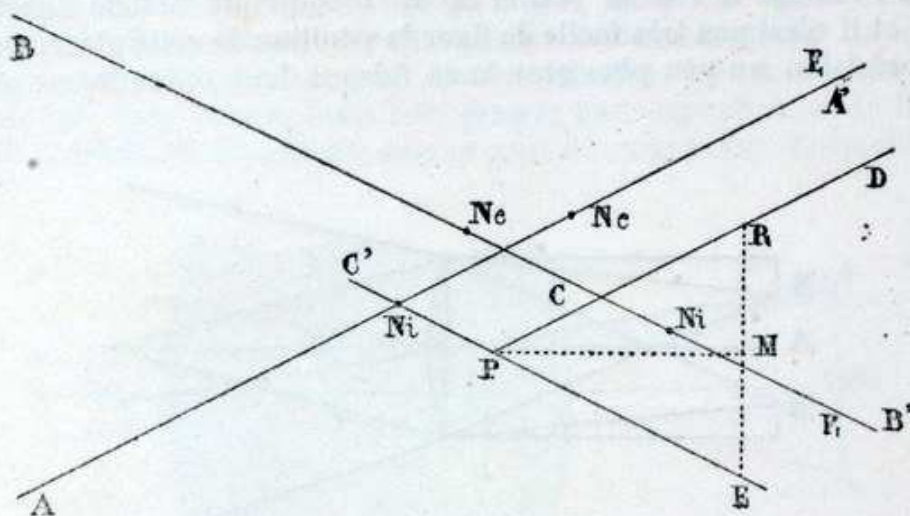


Fig. 309.

étoiles connues. Les tables astronomiques donnent alors l'angle A N_i B que font les axes secondaires, et par suite le nombre par lequel il faudra multiplier la distance A' B' (fig. 310) pour avoir la distance focale; mais la mise

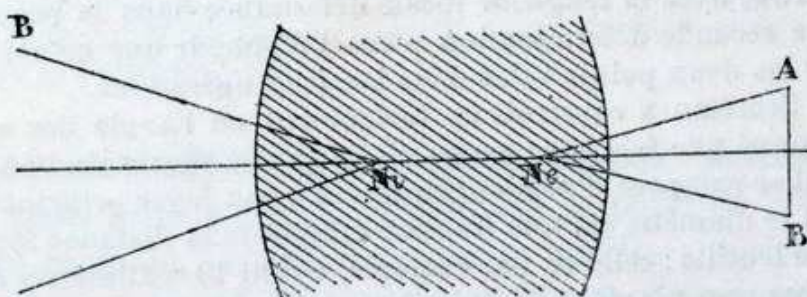


Fig. 310.

au point est assez délicate. Si l'on choisit par exemple les deux étoiles α et β de la constellation d'Orion, le coefficient par lequel il faut multiplier le nombre mesurant A' B' est 3,052; pour les étoiles η et β de la grande Ourse, le coefficient est 2,206 : ici, l'écart des images sera un peu grand.

147. M. Taylor vise deux points éloignés et très brillants; la glace dépolie

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, p. 111.

est retournée dans sa monture, le côté dépoli faisant face à l'opérateur ; on met au point, on marque sur la glace dépolie la position des deux images brillantes ; on substitue alors à l'objectif une plaque de carton percée en son centre d'une ouverture très petite ; on déplace la glace dépolie jusqu'à ce que l'image donnée par la petite ouverture soit de même grandeur que celle donnée par l'objectif et que les images des deux points choisis se superposent aux marques faites sur la glace dépolie. La distance focale principale cherchée sera la distance de l'ouverture du carton au dépoli de la glace. Ce procédé simple est d'une exécution rapide, mais il faut que l'on dispose de deux points très lumineux. La difficulté d'exécution qu'il présente est la suivante : l'image des deux points A' B' manque de netteté sur la glace dépolie, et il n'est pas très facile de fixer la position de cette glace. On arrive à une précision un peu plus grande en faisant deux opérations : on opère

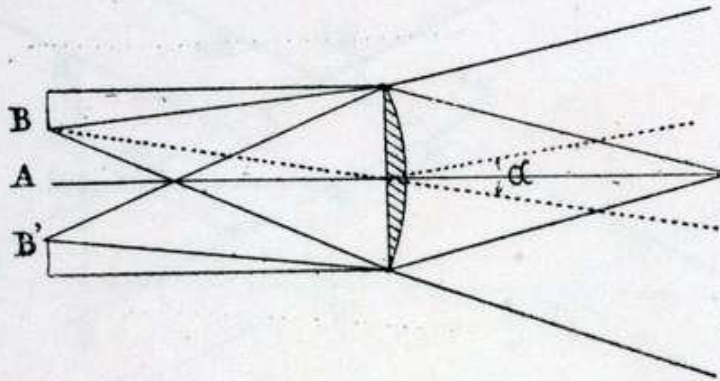


Fig. 311.

d'abord avec une ouverture de petit diamètre percée dans le carton. Ayant ainsi déterminé une première valeur de la longueur focale, on recommence en prenant comme diamètre d'ouverture le diamètre qui donne le maximum de netteté (132) avec la longueur focale déterminée dans la première expérience. Cette seconde détermination permet d'obtenir une coïncidence plus exacte pour les deux points visés dans les deux opérations.

148. M. Secrétan a construit un instrument où l'angle des axes secondaires est donné une fois pour toutes : il l'a appelé *focabsolumètre*.

L'appareil se compose d'une lentille ayant à son foyer principal un centre éclairé dont le diamètre est une fraction simple de la distance focale principale de cette lentille : celle-ci, par exemple, ayant 10 centimètres de distance focale absolue sera placée à l'extrémité postérieure d'un tube dont la base antérieure, située très exactement à 10 centimètres du point nodal d'émergence, présente une ouverture centrale circulaire de 1 centimètre de diamètre. Les points extrêmes B et B' d'un même diamètre étant dans le plan focal principal donneront à leur sortie de la lentille des faisceaux parallèles dont les axes secondaires font entre eux un angle α (fig. 311).

Si l'on place ce système, dont on éclaire fortement l'ouverture, en avant d'un objectif, les rayons, sortant du focabsolumètre et tombant sur l'objectif en faisceaux parallèles, donneront dans le plan focal principal de celui-ci une image *mn* (fig. 312) du cercle BB' ; l'angle des axes secondaires

étant toujours α , le triangle $mN_e n$ est complètement connu : il est semblable au triangle BOB' , et l'on a

$$\frac{N_e A_1}{mn} = \frac{AO}{BB'} = 10;$$

d'où

$$N_e A_1 = 10 \times mn.$$

La longueur en millimètres du diamètre de l'image donnera en centimètres la distance focale absolue.

Cette méthode, comme celle indiquée par M. de la Baume-Pluvinel, exige, pour donner de bons résultats, une certaine habileté. En effet, la longueur mesurée devra, dans ces deux méthodes, être multipliée par un coefficient très bien connu, mais très grand; tout dépend donc de la précision de la mesure, et la moindre erreur peut devenir grave. Cette mesure se

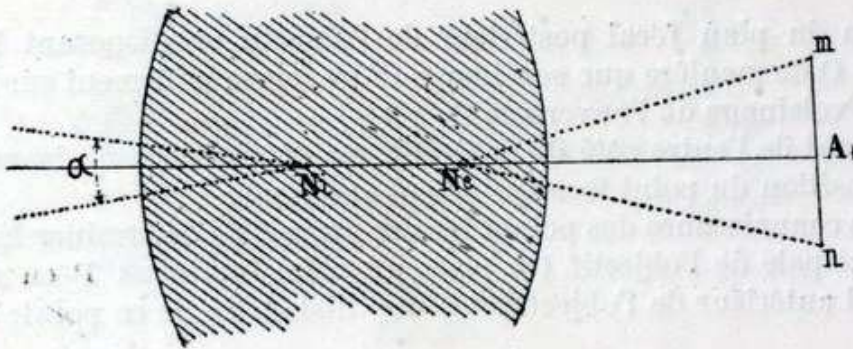


Fig. 312.

fera d'ailleurs beaucoup mieux sur un cliché que sur la glace dépolie. On mettra au point sur la glace dépolie, au centre de la glace, sans diaphragme. On tend deux fils en croix dans le cercle éclairé du focabsolumètre pour faciliter la mise au point, sans diaphragme; on met la plaque sensible dans le châssis, puis on diaphragme l'objectif avant de faire poser; on fait les mesures sur le cliché terminé¹.

149. Détermination des points focaux principaux. —

Le point focal principal d'un objectif est le point de concours des rayons qui tombent parallèlement sur la lentille antérieure de l'objectif. La méthode de M. Warnerke permet de déterminer immédiatement la position des points focaux antérieur et postérieur (143).

Un autre procédé, à la fois simple et précis, repose sur l'expérience suivante. Un point lumineux O (fig. 313) est situé dans le plan focal principal de l'objectif A et envoie sur la lentille postérieure un cône de rayons qui sort parallèlement à l'axe principal. Si ce faisceau de rayons parallèles

1. Vallot, *Conférences de la Société d'excursion des amateurs photographes*, 1889.

rencontre un miroir plan M, il se réfléchit, pénètre de nouveau dans l'objectif sous forme d'un faisceau cylindrique, et forme sur l'écran E, dans le plan focal principal, une image nette du point lumineux. On obtiendra donc

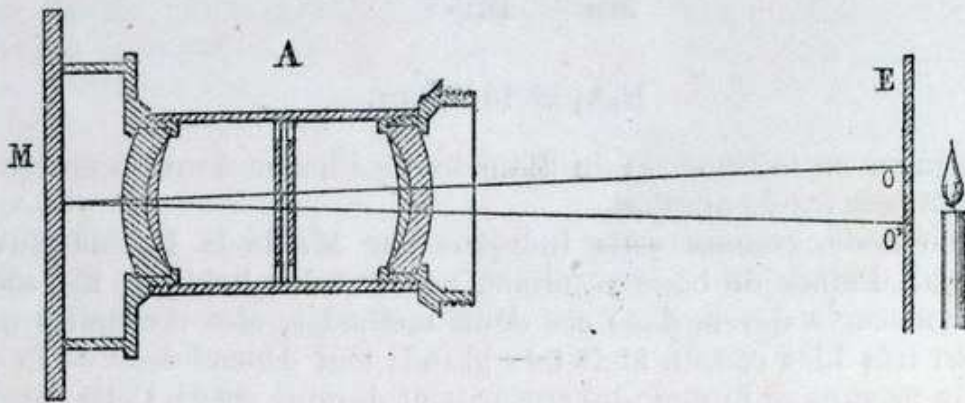


Fig. 313.

la position du plan focal postérieur de l'objectif en disposant la source lumineuse O de manière que son image O' se forme nettement sur l'écran E et dans le voisinage de l'ouverture O.

En opérant de l'autre côté de l'objectif, on déterminera de la même manière la position du point focal principal antérieur.

150. La connaissance des points focaux permet de déterminer la distance focale principale de l'objectif. On place un objet lumineux P en avant du point focal antérieur de l'objectif et à une distance φ de ce point; on déter-

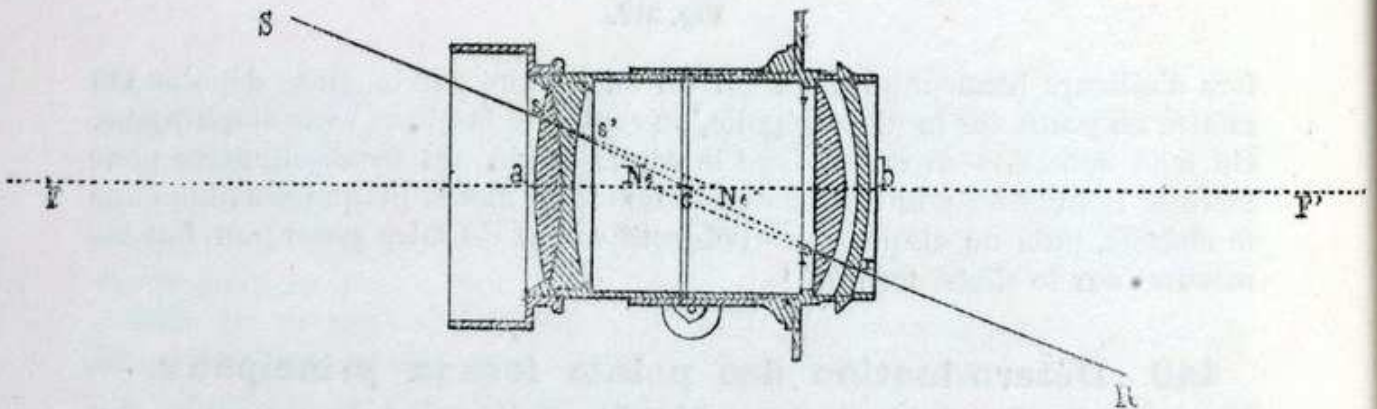


Fig. 314.

mine ensuite la position de l'image P' de l'objet P et on mesure la distance de P' au foyer principal postérieur. La distance focale principale F de l'objectif est donnée par la formule (142)

$$F = \sqrt{\varphi\varphi'}$$

En particulier, si l'objet P se trouve à une distance D de l'objectif, telle que l'image P' soit égale à l'objet P, on a

$$D = 2F,$$

et, par suite,

$$\varphi' = F.$$

Il suffit alors de mesurer la distance de l'image P' au point F pour avoir la distance focale principale cherchée.

151. Détermination par le calcul de la distance focale d'un objectif double. — Nous supposons connues les distances focales principales f_a , f_p des lentilles antérieure et postérieure qui constituent l'objectif; soit L la distance qui sépare le point nodal d'émergence de la lentille antérieure du point nodal d'incidence de la lentille postérieure. La distance focale sera

$$F = \frac{f_a f_p}{f_a + f_p - L}.$$

Cette distance focale est égale à la distance du point focal postérieur à la face d'émergence de l'objectif, augmentée de la distance de cette face au

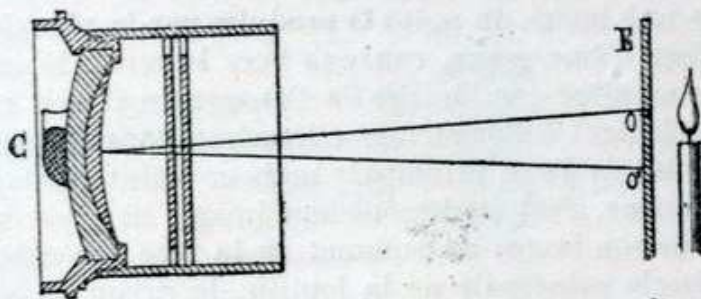


Fig. 315.

point nodal d'émergence. Si donc on mesure la distance b du point F au point b (fig. 314), la distance bN_e sera

$$h_e = F - b.$$

De même, si a est la distance $F'a$, on aura, pour la distance aN_i ,

$$h_i = F - a.$$

Si on veut déterminer h_i et h_e en fonction des éléments des deux lentilles, il faut remplacer dans les expressions précédentes F par sa valeur; il vient alors :

$$h_i = \frac{L f_a}{f_a + f_p - L}, \quad h_e = \frac{L f_p}{f_a + f_p - L}.$$

La connaissance du *centre optique* d'un objectif n'a pas grande importance en pratique; c'est un point C de l'axe principal qui est défini par la relation suivante :

$$\frac{CN_i}{CN_e} = \frac{N_i A}{N_i B}.$$

152. Détermination de l'axe optique principal d'un objectif. — L'axe optique principal d'un objectif est déterminé par deux de ses points :

le sommet et le centre de courbure d'une face quelconque de l'objectif. Le sommet d'une face se détermine géométriquement à l'aide du compas; quant au centre de courbure, on peut l'obtenir de la manière suivante. Dans le cas où la lentille présente une face concave, on dispose en avant de cette face un écran E (*fig. 315*) percé d'une ouverture O qui est éclairée et joue le rôle de source lumineuse. Si l'ouverture O est dans le voisinage du centre de courbure de la face, on obtient sur l'écran E l'image O' du point O.

Cette image est produite par la réflexion des rayons lumineux sur la face considérée. Il suffit alors de placer l'écran de manière que l'image de l'ouverture O soit nette et se superpose exactement à l'ouverture elle-même pour obtenir au point O le centre de courbure de la face concave. La droite qui joint le centre de figure de l'une des faces de l'objectif au point que nous venons de déterminer est l'axe optique principal cherché.

Lorsqu'on a déterminé la position du centre de courbure, la distance de ce point au sommet de la face donne le rayon de courbure de cette face.

Si les lentilles de l'objectif ne présentent que des faces convexes, on obtiendra encore une image du point O produite par la réflexion des rayons lumineux à la face d'émergence, convexe vers le verre. Il suffira alors de placer l'écran de manière que l'image de l'ouverture O soit nette et qu'elle se superpose exactement à l'ouverture elle-même pour obtenir comme précédemment un point de l'axe principal; mais ce point n'est plus le centre de courbure lui-même, c'est seulement son image. Si a est la distance de l'ouverture O et de son image au sommet de la face réfléchissante, et si F est la distance focale principale de la lentille, le rayon de courbure de la face considérée est donnée par la formule

$$R = \frac{aF}{F - a}.$$

Pour rendre l'image de l'ouverture O très apparente, on peut établir à la face réfléchissante de l'objectif une petite cuve en cire molle C et la remplir de mercure. La face réfléchissante devient alors un miroir concave qui donne une image très brillante de la source lumineuse¹.

153. Forme de la surface focale principale; profondeur de foyer. — Il est impossible d'obtenir sur la glace dépolie une image rigoureusement nette de tous les points de l'espace. Nous avons vu qu'il fallait se résoudre à considérer comme nette une image sur laquelle un point est représenté par une petite surface, que nous avons désignée sous le nom de cercle de confusion minima. Pour cela, il faut que cette surface (appelée *surface de diffusion tolérée* par M. de la Baume-Pluvinel²), examinée sous sa plus grande dimension, soit vue sous un angle qui ne dépasse pas 1'. Dans ces conditions, la longueur absolue de la plus grande dimension de la surface de diffusion tolérée dépend de la distance à laquelle on examine l'épreuve photographique; elle sera de 0^m,0002 si les épreuves sont regardées à la distance de 0^m35.

1. A. de la Baume-Pluvinel, *Mémoire inédit*.

2. *Communications au Congrès international de photographie*, 1889.

Supposons que la glace dépolie soit au foyer conjugué d'un point P de l'axe principal de l'objectif, la région de l'espace qui comprendra alors tous les points donnant une image nette sur la glace dépolie constituera le *champ utile* de l'objectif correspondant au point P. Le champ utile d'un objectif est un solide A'A''B'B'' qui a la forme d'une lentille (fig. 316). Ce solide est défini par l'angle du champ utile A'N_iB' et par la *profondeur du champ utile* P'P''.

L'angle du champ utile γ est l'angle d'un cône ayant pour sommet

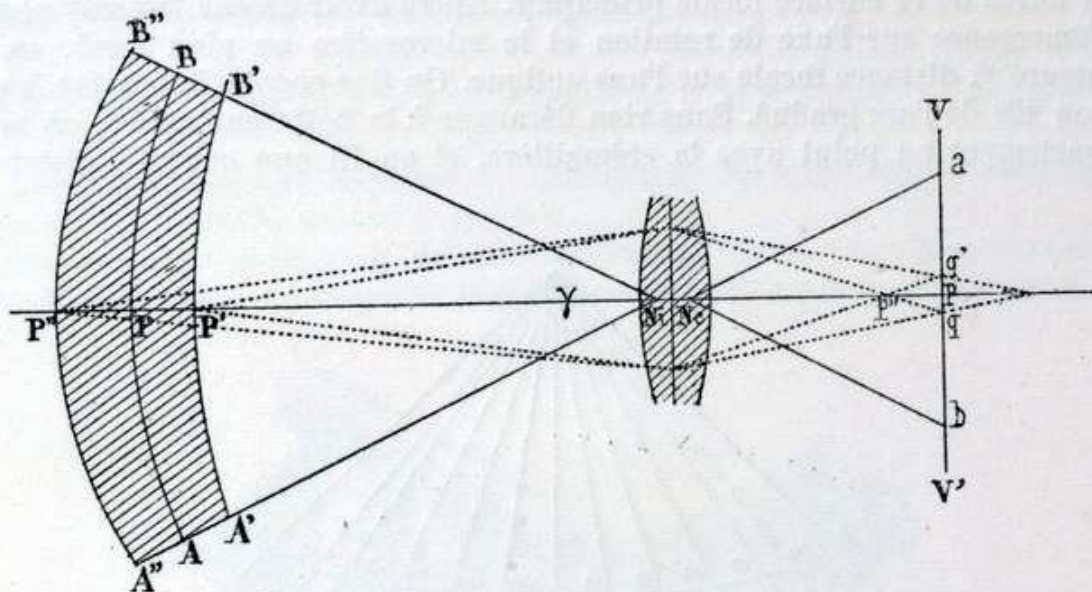


Fig. 316.

le point nodal d'incidence et pour base la limite circulaire du champ utile. Cet angle A'N_iB' est égal à l'angle de l'*image utile* aN_eb. On a donc

$$\gamma = A'N_iB' = aN_eb = 2 \text{ arc tang } \frac{ap}{pN_e}.$$

Il suffit donc, pour déterminer γ , de fixer la limite a du rayon de l'image utile. A cet effet, il faut examiner les images des points situés sur la ligne APB, tous à égale distance de N_i, et fixer le point qui a pour image une surface dont la dimension maxima est inférieure ou au plus égale à 0^m0002.

Cet élément est donc l'un des plus utiles à connaître et des plus propres à renseigner sur les qualités d'un objectif. Si on remarque, en effet, que l'angle du champ utile et la clarté de l'objectif sont deux éléments qui varient en sens inverse l'un de l'autre, et si on consi-

dère qu'il est avantageux, en général, que ces éléments soient aussi grands que possible, on peut dire que :

La bonté d'un objectif se mesure au produit du champ par la clarté. (De la Baume-Pluvinel.)

L'angle du champ est à peu près constant, quelle que soit la position du point P sur l'axe principal de l'objectif. On peut donc considérer chaque objectif comme ayant un angle de champ fixe. Il n'en est pas de même de la profondeur du champ.

154. On peut, à l'aide du tourniquet du commandant Moessard, étudier la forme de la surface focale principale. Après avoir amené le point nodal d'émergence sur l'axe de rotation et le micromètre au plan focal, on a mesuré f , distance focale sur l'axe optique. On fixe ensuite la manivelle au trou 10^e de l'arc gradué. Sans rien déranger à la boîte antérieure, on met exactement au point avec la crémaillère, et on lit une nouvelle distance

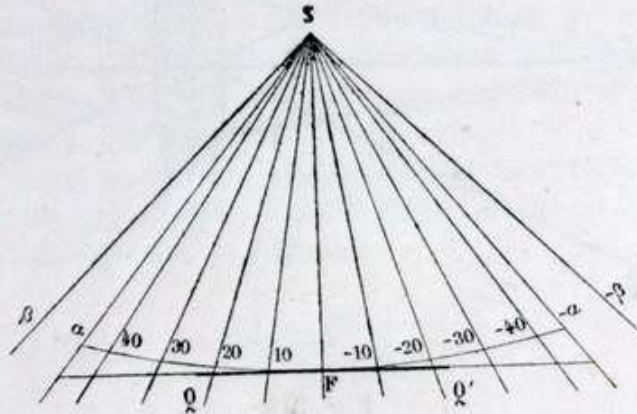


Fig. 317.

focale F_{10} ; on passe au trou 20, et l'on mesure F_{20} , et ainsi de suite, en s'arrêtant d'abord à l'angle α quand on n'a plus de netteté, puis à l'angle β , où toute image, toute lueur disparaît, interceptée par la monture. α ou la longueur qui lui correspond sur la surface focale est le *champ de netteté*, qui augmente quand l'ouverture du diaphragme diminue ; β est le *champ de visibilité*, qui doit être indépendant des diaphragmes, si ces derniers sont bien placés dans un objectif double.

On fait les mêmes mesures pour les angles négatifs de l'autre côté du zéro, et, construisant la *fig. 317*, dont les lignes sont inclinées de 10^e l'une sur l'autre, on porte à leur distance de S, F, -10 , -20 , ... La courbe ainsi obtenue en coordonnées polaires est une section horizontale de la surface focale.

En tournant l'objectif dans sa rondelle d'un angle connu, et recommençant, on détermine autant de méridiennes de la surface qu'on le désire ; l'inclinaison de ces coupes se mesure par rapport au point V que l'on a fait graver sur la monture.

Si l'objectif est bien construit, toutes ces courbes sont identiques.

On mesure la longueur QQ' , pour laquelle la courbe obtenue ne s'écarte

pas d'une droite de plus d'un demi-millimètre; on a ainsi le *champ plan minimum*.

Si $QQ' = 15\text{cm}$, on pourra dire que l'objectif donné *couvre* 15cm sans diaphragme.

155. Emploi du test-focimètre. — On peut aussi étudier la surface focale à l'aide du *test-focimètre*, instrument imaginé par l'auteur de cet ouvrage. C'est une série de huit secteurs circulaires dont l'angle au centre est de 45° et le rayon $0\text{m}25$. La surface du secteur est divisée en vingt bandes formées par des traits égaux et également espacés, alternativement blancs et noirs. Les intervalles qui séparent chaque trait sont les suivantes, la bande n° 1 étant la plus éloignée du centre :

Bande	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Intervalle	5mm	4	3	2,75	2,50	2,25	2	1,75	1,50	1,25	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	$0\text{mm},1$

Les intervalles sont indiqués en millimètres; les huit secteurs sont tous égaux et portent des numéros de 1 à 8.

On les monte comme un focimètre ordinaire, sur une tige horizontale de fer que l'on fixe à un support; le plan des secteurs est perpendiculaire à la

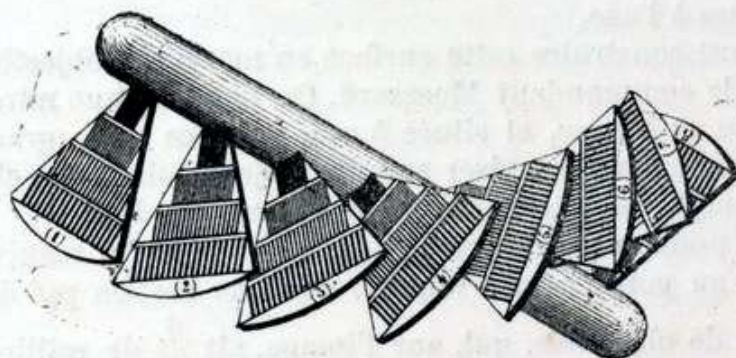


Fig. 318.

tige, leur centre se confond avec le centre de celle-ci (une tige d'appui-tête par exemple), et on les dispose de telle sorte que, vus de face, les huit secteurs examinés à distance semblent constituer un cercle. On règle l'intervalle qui sépare les secteurs suivant la nature des essais que l'on veut effectuer, la distance focale de l'objectif, etc.; ces secteurs sont d'ailleurs placés à égale distance les uns des autres.

On commence par disposer cet instrument en face la chambre noire, de telle manière que la tige sur laquelle sont fixés les secteurs se projette au centre de la glace dépolie. L'objectif étant muni de son plus grand diaphragme, on cherche à mettre au point la bande n° 20 du secteur n° 4. Pour cette opération, on s'aidera d'une forte loupe. Ce résultat étant atteint, on peut constater immédiatement quelle est la limite du champ de netteté avec le diaphragme employé: il suffit de rechercher quelle est la bande qui n'est pas résolue (c'est-à-dire la bande du numéro le plus faible pour laquelle on ne peut pas séparer les traits) sur le secteur le plus voisin du secteur qui a servi à la mise au point (fig. 318) ou sur ce secteur lui-même.

On mesure alors sur la glace dépolie la distance du centre du secteur au centre de la première bande non résolue. En doublant cette distance, on a le diamètre du champ dont la netteté est $\frac{1}{n}$ millimètres pour une profondeur de foyer exprimée par la distance qui sépare les deux secteurs.

Supposons, par exemple, qu'avec un objectif muni de son plus grand diaphragme on mette au point le centre du secteur 4, que ce secteur soit reproduit à moitié grandeur et que la bande 16 du secteur 5 (ou du secteur 3) soit la première de celles qui ne sont pas résolues. La bande 16 contient en vraie grandeur des traits distants de $0^m,0005$; à moitié grandeur, cette distance sera sur la glace dépolie 0^m00025 . La distance du centre à cette bande étant sur la glace dépolie 0^m03 , l'intervalle des deux secteurs étant en vraie grandeur 5 centimètres, nous dirons que pour une profondeur totale de foyer de 10 centimètres, l'objectif essayé sépare 0^m00025 sur une plaque dont le diamètre est de 0^m06 . En faisant cet essai pour les divers points de la surface focale, on arrivera à déterminer par points la forme de cette surface correspondant à une certaine valeur de la netteté. On examinera, en faisant tourner l'objectif dans sa rondelle s'il n'y a pas d'irrégularités dans la forme de la surface, auquel cas on serait averti immédiatement d'un défaut dans la construction de l'objectif. Cet essai doit être répété en photographiant le test-focimètre : on a ainsi une valeur du foyer chimique pour les rayons obliques à l'axe.

156. On peut construire cette surface en montant l'objectif sur le tourniquet de M. le commandant Moessard. On emploie une mire composée de triangles noirs et blancs, et située à une distance assez grande de l'appareil; à son défaut, on peut viser sur des objets noirs, des cheminées éloignées par exemple, se détachant bien nettement sur le ciel.

On met un premier diaphragme dans l'objectif et, la manivelle étant au zéro, on met au point au micromètre sur une section pp' de la mire, ou sur un détail de cheminée, qui, sur l'image, ait $\frac{1}{20}$ de millimètre de longueur. On fait mouvoir le chariot de la chambre en avant, puis en arrière, jusqu'à ce que les deux points p, p' semblent se confondre, ou que le détail visé disparaisse; on fait chaque fois la lecture et l'on inscrit ces deux lectures; on refait les mêmes opérations, après avoir amené la manivelle au trou 10^e , puis au trou 20^e , et ainsi de suite.

Sur le dessin donnant la méridienne de la surface focale, on construit de même les deux courbes ainsi déterminées.

On recommence successivement pour tous les diaphragmes. Naturellement, les courbes obtenues s'écartent et s'allongent à mesure que le diaphragme diminue.

Soit (*fig. 319*) la courbe correspondant au plus petit diaphragme, on mène perpendiculairement à l'axe O la droite DD', la plus longue qui soit contenue dans l'intérieur de cette courbe. DD' est le diamètre du cercle représentant le *champ plan maximum*.

On inscrit alors que l'objectif, diaphragmé autant que possible, couvre DD', à la distance focale SH.

On peut aussi mesurer l'angle $MSM' = \gamma$, et dire que l'objectif donné embrasse au maximum un champ de γ^e .

157. A défaut de l'un ou l'autre de ces appareils, on peut déterminer le champ embrassé par un objectif : ce champ a pour mesure l'angle du champ. Pour déterminer cet angle, on dispose l'appareil photographique de manière à obtenir sur le verre dépoli les images de divers objets très éloignés. Puis

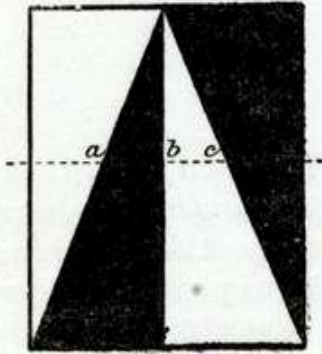


Fig. 318 bis.

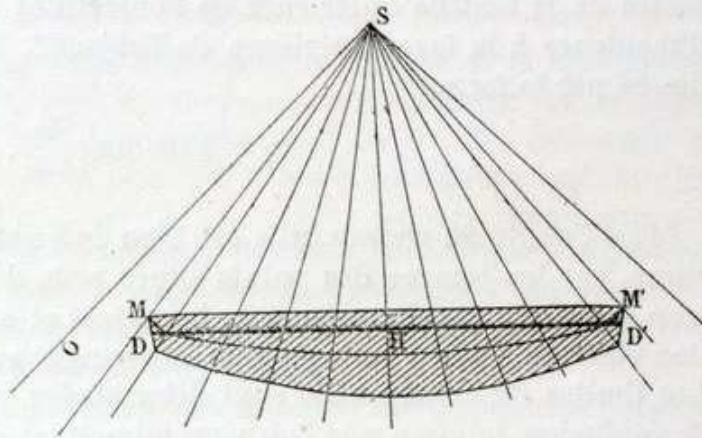


Fig. 319.

on cherche parmi les objets visés deux points A et B (fig. 320) dont les images se forment à des extrémités opposées du champ. Si N_i est le point nodal d'incidence de l'objectif, l'angle AN_iB est l'angle du champ de l'objectif. On dirige l'appareil vers le point A et on fait en sorte que l'image de ce

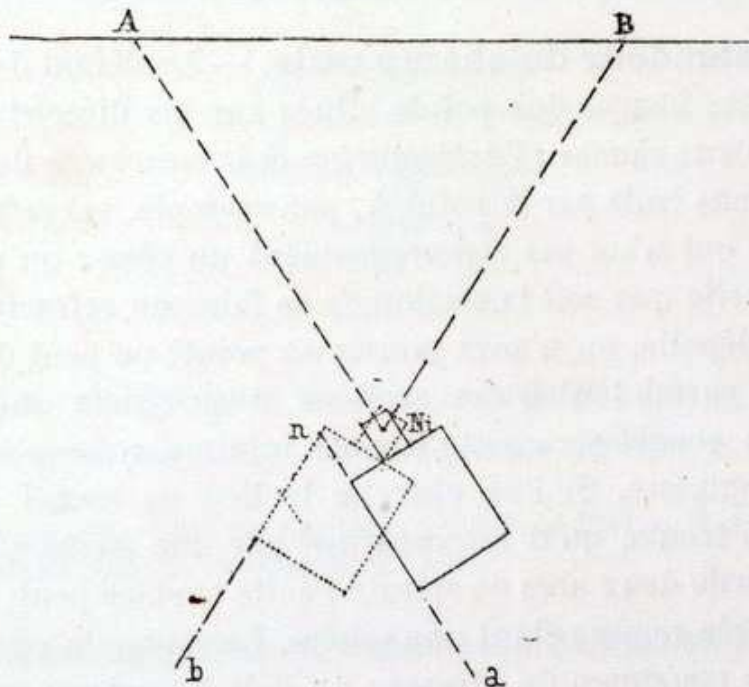


Fig. 320.

point se forme au centre du verre dépoli. On trace le long de la chambre noire, sur la table qui lui sert de support, la droite na sensiblement parallèle à la direction N_iA ; puis, on tourne l'appareil vers le point B et on trace de même la droite nb parallèle à la direction N_iB . Il suffit de mesurer avec un

rapporteur l'angle anb pour avoir l'angle du champ de l'objectif. Cette détermination s'effectuera en même temps que la construction graphique qui donne la longueur focale de l'objectif. (Voir 145.)

On peut aussi déterminer l'angle du champ en appliquant purement et simplement la définition que nous avons donnée. En effet, soient δ_a le diamètre de la lentille antérieure de l'objectif et h_i la distance du point nodal d'incidence à la face antérieure de l'objectif, l'angle du champ γ est alors donné par la formule

$$\gamma = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tang} \frac{\delta_a}{2h_i}.$$

Mais l'angle du champ utile est bien inférieure à l'angle du champ théorique, car les images des points situés près des limites du champ laissent trop à désirer sous le rapport de la netteté et sous le rapport de l'illumination pour qu'il soit avantageux de les recevoir sur la plaque photographique. Les limites du champ utile sont déterminées par les diamètres des cercles de confusion minima que l'on veut admettre; en d'autres termes, le champ utile comprend tous les points qui ont pour images des cercles égaux ou inférieurs au cercle de diffusion tolérée. L'étendue de ce champ est fonction de plusieurs facteurs, parmi lesquels un des plus importants est le rapport de clarté : le champ utile augmente pour un même objectif quand le rapport de clarté diminue. Nous verrons comment à l'aide de tables d'un usage facile on peut connaître la dimension *couverte* nettement par l'objectif lorsqu'on connaît le diamètre du champ utile.

153. Profondeur du champ utile. — Le défaut de netteté que présentent les images des points situés sur les directrices obliques dépend de deux causes : l'*astigmatisme* et la *courbure* de l'image. Le cône de rayons émis par le point A, par exemple, est réfracté suivant un faisceau qui n'est pas rigoureusement un cône : on peut démontrer que, quelle que soit la section de ce faisceau réfracté par le plan de la glace dépolie, on n'aura jamais un point; on peut démontrer de même que parmi toutes ces sections il en existe une de surface minima : on considérera cette surface minima comme étant l'image du point lumineux. Si l'on cherche le lieu de toutes ces sections minima, on trouve qu'il est constitué par une surface résultant de la révolution de deux arcs de spirale : cette surface peut, en pratique, être considérée comme étant une sphère. Le rayon de cette sphère est le *rayon de courbure* de l'image; on doit l'exprimer par une fraction $\frac{m}{n}$ de la distance focale principale¹. L'image d'un point lumineux qui n'est pas nette sur la surface focale par le fait de l'*astigma-*

1. De la Baume Pluvinel, *Congrès international de photographie*, 1889.

tion, est même moins nette sur la surface de l'image par suite de la courbure du champ. Donc, le manque de netteté des images en dehors du centre du champ est due à l'action combinée de l'astigmatisme et de la courbure du champ.

La *profondeur du champ utile* P'P" peut se définir de la manière suivante. Soit VV' (fig. 316) le plan focal conjugué du point P : si on avance le point objet de P en P', ou si on recule de P en P", les faisceaux des rayons réfractés découpent sur le plan VV' des cercles tels que qq'. Lorsque le diamètre de ces petits cercles est égal à la plus grande dimension ω de la surface de diffusion tolérée, la distance PP' est la *profondeur antérieure* du champ, et la distance PP" la *profondeur postérieure* du champ; la distance P'P" est la *profondeur totale* du champ. Les distances pp', pp", p'p" sont les profondeurs correspondantes de l'image.

La profondeur du champ n'est pas une quantité intrinsèque de l'objectif. Étant donnés quatre éléments convenablement choisis, on peut trouver, par le calcul, la profondeur du champ; les éléments qui servent à les déterminer sont :

D distance du point objet P au point nodal d'incidence de l'objectif;

F distance focale principale de l'objectif;

δ ouverture utile (ou rapport de clarté) de l'objectif;

ω dimension maxima de la surface de diffusion tolérée.

En appliquant la définition ci-dessus, on trouve pour les profondeurs du champ

$$PP' = \frac{D(D - F)\omega}{F\delta + D\omega} .$$

$$PP'' = \frac{D(D - F)\omega}{F\delta - D\omega} ,$$

$$P'P'' = \frac{2(D - F)}{\frac{F\delta}{D\omega} - \frac{D\omega}{F\delta}} .$$

Lorsque le point P est à une distance de l'objectif égale à $\frac{F\delta}{\omega}$ la profondeur du champ devient infinie et le champ utile est alors un tronc de cône infini.

Ces formules permettent de construire diverses tables, très utiles dans la pratique, comme nous le verrons plus loin.

159. Distance hyperfocale, avant-plan de l'infini. — La formule

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

peut se simplifier; supposons $p = nf$, alors

$$p' = f + \frac{f}{n - 1} .$$

La distance du point conjugué p' au foyer principal ou *distance hyperfocale* sera

$$\Delta f = \frac{f}{n-1}.$$

Nous désignerons par *avant-plan de l'infini* le plan le plus rapproché de l'objectif qui soit au point simultanément avec les objets placés infiniment loin : cette simultanéité n'est possible que grâce à l'existence d'une certaine *tolérance de mise au point*. Soit ε cette tolérance, c'est-à-dire la distance maxima qui puisse *séparer* deux points voisins de l'image sans qu'un œil normal cesse de les voir comme un seul. J.-H. Dallmeyer admettait $\frac{1}{100}$ de pouce pour cette distance, soit 0^m00025. Cette tolérance n'est que 0,0001, ou même 0^m00005 pour des observateurs armés d'une loupe; mais les photographies sont généralement examinées à simple vue. Admettons 0^m00025, soit ω l'ouverture de l'objectif, qui reçoit les rayons émanés d'un point infiniment loin sur l'axe : les rayons issus de ce point vont converger au foyer

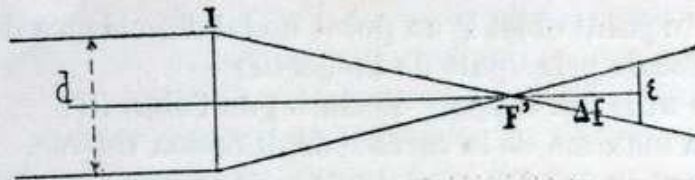


Fig. 321.

principal de l'objectif; au delà de ce foyer ils divergent. Désignons par Δf la distance (*fig. 321*) à laquelle leur écartement maximum vaut ε ; ces rayons ne forment encore qu'un point pour l'œil de l'observateur. Désignons par d le diamètre du diaphragme, f la distance focale principale $\frac{d}{f} = \omega$. On a

$$\Delta f = \frac{\varepsilon f}{d} = \frac{\varepsilon}{\omega};$$

mais Δf est la distance hyperfocale correspondant à un certain plan situé à la distance $p = nf$, telle que l'on ait

$$\Delta f = \frac{f}{n-1}.$$

Donc, les objets situés dans ce plan ont leurs images simultanément au point avec l'infini : c'est l'avant-plan de l'infini; sa distance est donnée par les relations

$$p = nf$$

et

$$\frac{f}{n-1} = \frac{\varepsilon f}{d}.$$

On en déduit

$$n = \frac{d}{\varepsilon} + 1,$$

ou bien

$$\frac{f}{n-1} = \frac{\varepsilon}{\omega},$$

et, par suite,

$$n = \frac{\omega f}{\varepsilon} + 1,$$

formule qui permet de calculer la distance à partir de laquelle tous les objets viennent se peindre nettement sur la glace dépolie.

Nous avons vu que la profondeur de foyer relative à une portion de l'objet est la distance qui sépare les deux plans extrêmes (l'un en avant, l'autre en arrière de cet objet), entre lesquels il peut se déplacer sans cesser d'être au point sur l'écran fixe; en d'autres termes, on peut admettre que la profondeur de foyer mesure la distance totale des plans simultanément au point pour une distance p du plan moyen.

De la formule

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

on déduit, en différentiant,

$$-\frac{dp}{p^2} - \frac{dp'}{p'^2} = 0,$$

d'où

$$dp = \frac{p^2}{p'^2} dp';$$

mais $\frac{p}{p'} = \frac{1}{g}$, g étant le grossissement, et si $p = nf$, on a

$$g = \frac{1}{n-1};$$

par suite, on a

$$dp' = -g^2 dp,$$

de même

$$dp' = -dp \frac{f^2}{(p-f)^2} = -dp \frac{1}{(n-1)^2},$$

et

$$dp = -dp' \frac{(p-f)^2}{f^2}.$$

On voit donc qu'à un déplacement infiniment petit dp de l'objet correspond en sens contraire un déplacement dp' de l'image, tel que

$$dp' = -g^2 dp.$$

La profondeur de foyer relative à un même déplacement de l'image est inversement proportionnelle au carré du grossissement; elle est proportionnelle au carré de la distance de l'objet à l'objectif, puisque $g = \frac{1}{n-1}$.

Dans le cas d'un déplacement fini, on a

$$\begin{aligned} dp &= \frac{dp'fp^2}{pp'dp' + fp'^2} \\ &= -\frac{dp'f}{gdp' + fg^2}. \end{aligned}$$

Dans la pratique, la différence entre les deux résultats est assez faible, car on n'a à calculer la profondeur de foyer que pour des distances assez faibles de l'objet. La différence entre les deux valeurs est, en effet,

$$\frac{dp'^2}{g(dp' + fg)}.$$

On peut donc adopter la première formule. Désignons par ε la tolérance de mise au point; on a (*f*g. 321) :

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{dp'}{p'};$$

d'où

$$dp' = \frac{\varepsilon}{d} p' = \frac{\varepsilon f(1 + g)}{d},$$

c'est-à-dire

$$dp' = \varepsilon \frac{f}{d} (1 + g) = \frac{\varepsilon}{\omega} (1 + g).$$

(Si dans cette formule nous faisons $g = 0$, nous retrouvons la distance hyperfocale); par suite

$$dp = -\frac{\varepsilon}{\omega} \frac{1 + g}{g^2} = -\frac{\varepsilon}{\omega} n(n - 1),$$

dp représente la distance d'un des plans extérieurs au plan visé : c'est en quelque sorte la demi-profondeur de foyer ; la profondeur totale serait donc

$$2dp = -2n(n - 1) \frac{\varepsilon}{\omega}.$$

Cette formule peut suffire pour la pratique. La profondeur totale de foyer sera sensiblement $\frac{n(n - 1)}{20\omega}$ en centimètres pour un objet placé à n fois la distance focale f de l'objectif exprimée en centimètres.

La distance hyperfocale de l'image est $\frac{f}{n - 1}$, le grossissement

$$g = \frac{1}{n - 1}.$$

De la comparaison de ces deux nombres ressort l'une des méthodes de

mesure de f recommandée par le Congrès international de photographie de 1889. Pour un grossissement $g = \frac{1}{n-1}$, l'image est à la distance hyperfocale

$$\frac{f}{n-1} = \Delta.$$

Il suffira donc de mesurer cette distance; on a

$$f = \frac{\Delta}{g} = \Delta \cdot \frac{1}{g}.$$

La mesure sera d'autant plus exacte que g sera d'autant plus voisin de l'unité¹.

160. Déformation des images; distorsion. — Pour que l'image qui se forme sur la glace dépolie soit une reproduction homo-

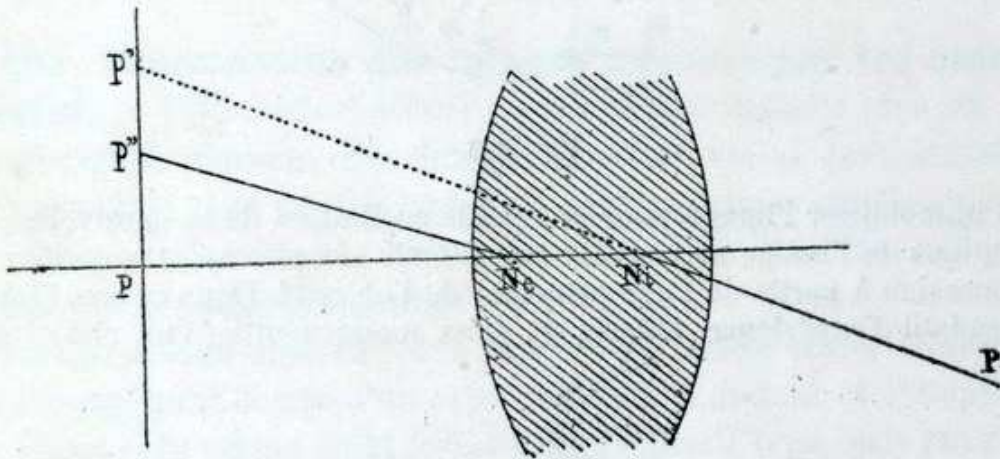


Fig. 322.

thétique de l'objet, il faut que les directrices d'émergence soient dans le prolongement des directrices d'incidence. Si les points nodaux ne coïncident pas, les directrices d'émergence n'ont aucun point commun avec les directrices d'incidence. De plus, si les faisceaux émanant des divers points de l'objet rencontrent l'objectif excentriquement, comme cela a lieu lorsqu'on emploie un diaphragme, les directrices d'émergence ne sont pas parallèles aux directrices d'incidence. Pour ces deux causes, l'image du point P (*fig. 322*), située sur la directrice N_iP , au lieu de se former en p' sur le prolongement de N_iP , se forme en p'' sur la directrice d'émergence N_eP'' . De là résulte une reproduction déformée de l'objet. On exprime ce fait en disant que l'objectif produit une certaine distorsion.

1. L. Benoist, *Mémoire inédit*.

M. de la Baume-Pluvinel a proposé avec raison d'appeler *distorsion de l'objectif* le rapport $\frac{PP'}{PP''}$ pour le point P situé à la limite du champ utile¹.

On peut effectuer une mesure de la distorsion et du champ exempt de distorsion à l'aide du tourniquet Moessard. Il peut se faire que l'on ne

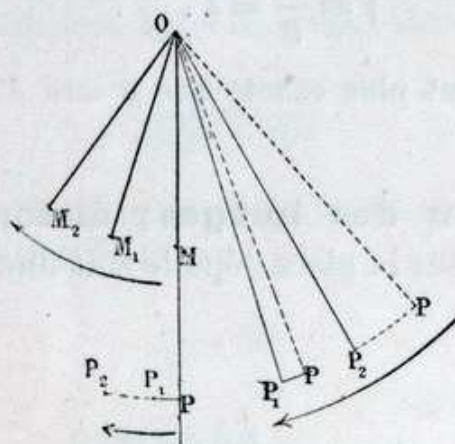


Fig. 323.

puisse immobiliser l'image pour une petite oscillation de la manivelle : les trépidations de l'image ne peuvent être jamais complètement annulées s'il y a distorsion à partir de l'axe principal de l'objectif. Dans ce cas, l'image est, pendant l'expérience, animée de deux mouvements : l'un réel et égal

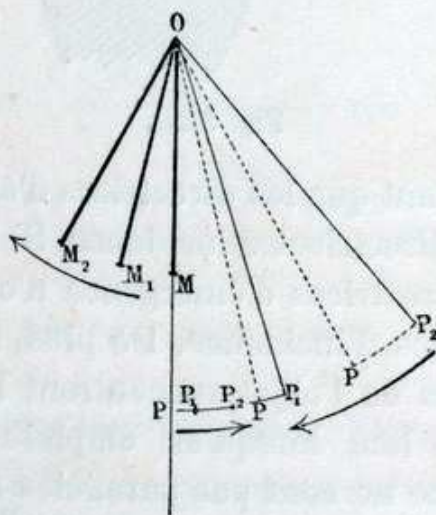


Fig. 224.

au déplacement du point nodal ; l'autre, apparent, provenant des dilatations et des contractions causées par la distorsion, dilatation et contraction nulles ou presque nulles sur l'axe optique et croissant à mesure qu'on s'éloigne de cet axe. On doit observer la règle pratique suivante.

1. *Congrès international de photographie*, 1889.

Tant que les changements de sens du mouvement de l'image et de celui de la manivelle concordent exactement, faire marcher le point nodal dans le sens voulu pour arrêter l'image; dès que cette concordance disparaît et que des vibrations irrégulières de l'image se produisent aux environs du zéro, changer le sens du réglage jusqu'à faire disparaître cette irrégularité; le point nodal est alors sur l'axe.

A ce moment, le déplacement apparent PP_1P_2 pour un écart de la manivelle MM_1M_2 compté sur l'arc gradué est justement l'effet de la *distorsion* correspondant à cet écart; ce déplacement se mesure au micromètre et s'inscrit à la place indiquée sur la feuille analytique de l'objectif. Si le point P semble marcher dans le *même sens* que la main (*fig. 323*), de P en P_2 , c'est que la distorsion est *en dedans*, l'image diminue quand l'azimut augmente. Dans le cas contraire (*fig. 324*), la distorsion est *en dehors*, l'image est plus grande aux bords qu'au centre.

Le *champ sans distorsion* est égal à la course de la manivelle pour laquelle la distorsion est nulle, ou du moins négligeable, c'est-à-dire qu'elle n'entraîne qu'un déplacement moindre que $\frac{1}{20}$ de millimètre.

161. Illumination des images formées par les objectifs.

Clarté. — Différents objectifs ou un même objectif plus ou moins diaphragmé donnent des images plus ou moins lumineuses d'un même objet; c'est un fait que l'on peut exprimer en disant que les objectifs ont des *clartés* différentes. La *clarté* d'un objectif peut se définir de la manière suivante :

La clarté d'un objectif est le rapport qui existe entre l'illumination de l'image qu'il donne d'un objet infiniment distant et l'illumination de l'image du même objet formée par l'objectif type, pris pour terme de comparaison.

D'après cette définition, on peut exprimer la clarté d'un objectif en fonction de sa distance focale principale et de son ouverture utile.

Rappelons d'abord que l'*éclat intrinsèque* d'une source radiante est la quantité de radiations que l'unité de surface de la source envoie à l'unité de distance, sur l'unité de surface, dans l'unité de temps. Désignons par E cet éclat : la quantité de radiations qu'une source de cet éclat déverse sur une surface donnée, dans un temps donné, est exprimée par la formule

$$Q = E \frac{\Sigma \sigma \cos \alpha \cos \beta}{D^2} t,$$

dans laquelle σ et Σ représentent les surfaces supposées planes de la source radiante et de l'objet exposé, et α désigne l'angle formé par la direction des rayons émis avec la normale à la source lumineuse; ces rayons tombent à une distance D sur l'objet en faisant avec la normale à cet objet un angle β .

L'intensité I d'un faisceau de radiation étant mesurée par le même nombre que l'éclat E de la source qui l'émet, on a aussi

$$Q = I \frac{\Sigma \sigma \cos \alpha \cos \beta}{D^2} t.$$

L'illumination produite par la source radiante, c'est-à-dire la quantité de radiations qu'elle envoie sur l'unité de surface dans l'unité de temps est

$$\mathfrak{J} = E \frac{\sigma \cos \alpha \cos \beta}{D^2},$$

ou bien

$$\mathfrak{J} = I \frac{\sigma \cos \alpha \cos \beta}{D^2}.$$

Un corps qui reçoit une illumination \mathfrak{J} rayonne à son tour avec un éclat

$$E' = \mathfrak{J} \frac{1}{\mu},$$

$\frac{1}{\mu}$ étant le pouvoir réflecteur du corps pour la radiation considérée. Ce corps pourra donc jouer le rôle de source radiante vis-à-vis d'un autre corps, et déterminer à sa surface une illumination

$$\mathfrak{J}' = \mathfrak{J} \frac{1}{\mu} \frac{\sigma' \cos \alpha' \cos \beta}{D'^2}.$$

L'éclat d'un objet est proportionnel à l'intensité du faisceau de radiations qui l'éclaire. Connaissant l'éclat actinique $A_1 I$ d'un élément p_1 de sur-

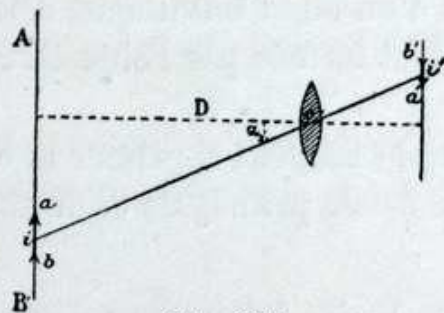


Fig. 325.

face Σ , on peut déterminer la quantité de radiations Q qu'il envoie dans l'unité de temps sur la surface de l'objectif; car δ étant le diamètre du diaphragme employé, la surface utile de l'objectif est sensiblement égale à $\frac{\pi \delta^2}{4}$; on aura

$$Q = \frac{A_1 I \Sigma \pi \delta^2 \cos^2 \alpha_1}{4 O i^2}.$$

Mais l'on voit que $O i$ (fig. 325) peut être déterminé facilement :

$$O i = \frac{D}{\cos \alpha_1};$$

donc

$$Q = \frac{A_1 I \Sigma \pi \delta^2 \cos^4 \alpha_1}{4D^2} .$$

C'est la quantité de radiations qui pénètre dans l'appareil et se répartit sur l'image lumineuse $a'b'$. En désignant par σ la surface de cette image lumineuse, on a

$$\sigma = \Sigma \frac{F^2}{(D - F)^2} .$$

Connaissant la surface σ de l'image et d'autre part la quantité Q de radiations qui tombe sur cette image, son illumination a_1 sera

$$a_1 = \frac{Q}{\sigma} = \frac{A_1 I \pi \delta^2 \cos^4 \alpha_1 (D - F)^2}{4D^2 F^2} .$$

Cette formule montre que les différents points du champ d'un objectif ne sont pas également éclairés. Si \mathfrak{J} est l'illumination d'une image formée au centre du champ, l'illumination \mathfrak{J}' de cette image, lorsqu'elle se forme sur une directrice faisant un angle α avec l'axe principal, est donnée par la formule

$$\mathfrak{J}' = \mathfrak{J} \cos^4 \alpha .$$

Par exemple, avec un objectif qui embrasse un angle de 90° , l'intensité des images au bord du champ est le *quart* de l'intensité des images au centre du champ.

Un objet d'éclat intrinsèque E situé sur l'axe optique principal d'un objectif de foyer F donnera une image d'illumination

$$\mathfrak{J} = \frac{Q}{\sigma} = \frac{E \pi \delta^2 (D - F)^2}{4D^2 F^2} .$$

Si dans cette formule nous faisons $D = \infty$, l'illumination devient

$$\mathfrak{J} = E \frac{\pi \delta^2}{4F^2} .$$

L'illumination produite par l'objectif dont la clarté est prise pour unité sera

$$\mathfrak{J}' = E \frac{\pi \delta'^2}{4F'^2} .$$

La clarté du premier objectif par rapport au second sera

$$C = \left(\frac{\delta}{F} \right)^2 \left(\frac{F'}{\delta'} \right)^2 .$$

Le rapport $\frac{\delta}{F}$ est le *rapport de clarté* de l'objectif. On a l'habitude d'exprimer sa valeur par une fraction $\frac{1}{n}$ qui a pour numérateur l'unité.

La *clarté* d'un objectif est donc égale au carré de son rapport de clarté multiplié par le carré de l'inverse du rapport de clarté de l'objectif pris pour terme de comparaison.

Nous avons admis, dans les formules précédentes, que δ était le diamètre du diaphragme employé; mais le diamètre du diaphragme n'est égal au diamètre de l'ouverture utile de l'objectif que dans les objectifs simples. Si l'objectif est double, le diamètre de l'ouverture utile de l'objectif est donné par la formule

$$\delta = \frac{\psi \delta'}{\psi - l}.$$

Dans cette formule, ψ représente la distance focale principale de la lentille antérieure de l'objectif, δ' est le diamètre du diaphragme, l la distance qui sépare le centre du diaphragme du point nodal d'émergence de la lentille antérieure¹.

162. Objectif type. — Le choix de l'objectif type, dont la clarté est par convention égale à l'unité, est absolument arbitraire. On connaît actuellement trois systèmes de valeurs pour la clarté des objectifs :

A). Le système de R.-T. Dallmeyer employé depuis plusieurs années ;

B). Le système du Congrès international de photographie de 1889 ;

C). Le système adopté par la Société photographique de la Grande-Bretagne.

A). Dans le système de R.-T. Dallmeyer, le rapport de clarté de l'objectif type est égal à $\frac{1}{\sqrt{10}}$, soit sensiblement $\frac{1}{3,16}$.

Les avantages qu'il y a à adopter pour objectif type celui dont le rapport de clarté est $\frac{1}{\sqrt{10}}$ sont les suivants :

1^o Cette ouverture est très sensiblement l'ouverture *pratiquement* utile des meilleurs objectifs à portraits.

2^o La clarté d'un objectif dont le rapport de clarté est $\frac{1}{n}$ s'exprime par

$$C = \left(\frac{1}{n}\right)^2 (\sqrt{10})^2 = \frac{1}{n^2} 10.$$

1. De la Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*. Paris, Gauthier-Villars.

La multiplication par 10 se faisant immédiatement, on peut dire que la clarté s'obtient par une seule opération : l'élevation de $\frac{1}{n}$ au carré.

L'inverse $\frac{1}{C}$ de la clarté, qui est un des facteurs du temps de pose, s'obtient très facilement dans ce système ; il suffit d'élever n au carré et de reculer la virgule d'un rang vers la gauche.

3° Dans ce système, la clarté est presque toujours exprimée par un nombre plus petit que l'unité, et le coefficient de clarté $\frac{1}{C}$ par un nombre supérieur à l'unité.

Le seul reproche que l'on puisse faire à ce système est que le rapport de clarté de l'objectif type est un nombre incommensurable.

B). Le Congrès international de photographie de 1889 a adopté comme rapport de clarté de l'objectif type $\frac{1}{10}$. Il a été appelé *pouvoir photométrique normal* d'un objectif celui qui correspond à l'admission de la lumière par une ouverture égale au dixième de la distance focale principale pendant l'unité de temps ; cette ouverture se nomme alors ouverture normale de l'objectif, et le diaphragme qui la réalise est le diaphragme normal ou diaphragme n° 1.

Dans ce système, la clarté d'un objectif dont le rapport de clarté est $\frac{1}{n}$ s'exprime par

$$C = \left(\frac{1}{n}\right)^2 (10)^2 = \frac{1}{n^2} 100.$$

On obtient donc la clarté de l'objectif en élevant $\frac{1}{n}$ au carré et multipliant par 100 ; ce système présente donc les mêmes avantages que le système de R.-T. Dallmeyer. Ici le rapport de clarté de l'objectif type est un nombre commensurable.

Le seul reproche que l'on puisse faire à ce système, c'est que le rapport de clarté de l'objectif type $\frac{1}{10}$ ne répond pas à ce qui existe comme objectifs photographiques : beaucoup d'objectifs ont des rapports de clarté supérieurs à $\frac{1}{10}$. Tous les objectifs à portraits sont dans ce cas. Voigtlander construit actuellement avec les nouveaux verres

de Schott, à Iéna, *six nouvelles séries* d'objectifs dont les rapports de clarté sont, *pratiquement*, supérieurs à $\frac{1}{10}$, et il est probable que le nombre de ces séries s'accroîtra encore; Dallmayer livre depuis longtemps six séries d'objectifs d'ouverture supérieure à $\frac{1}{10}$.

Les deux systèmes A et B diffèrent d'ailleurs peu en pratique; prenons, par exemple, l'objectif rectilinéaire rapide $6\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$; cet objectif est muni de la série suivante de diaphragmes :

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{8,66}, \quad \frac{1}{10}, \quad \frac{1}{12,25}, \quad \frac{1}{15,81}, \quad \frac{1}{22,36}, \quad \frac{1}{31,62}.$$

Dans le système de R.-T. Dallmeyer, la clarté sera :

$$\left(\frac{1}{n}\right)^2 (\sqrt{10})^2 = \frac{10}{75}, \quad \frac{10}{100}, \quad \frac{10}{150}, \quad \frac{10}{250}, \quad \frac{10}{500}, \quad \frac{10}{1000}.$$

Dans le système du Congrès de 1889 :

$$\left(\frac{1}{n}\right)^2 (10)^2 = \frac{100}{75}, \quad \frac{100}{100}, \quad \frac{100}{150}, \quad \frac{100}{250}, \quad \frac{100}{500}, \quad \frac{100}{1000}.$$

L'inverse $\frac{1}{C}$ de la clarté, facteur très important pour le temps de pose, sera :

R.-T. Dallmeyer :	$\frac{1}{C} = 7,5$	10	15	25	50	100
Congrès 1889 :	$\frac{1}{C} = 0,75$	1	1,5	2,5	5	10

Les nombres que l'on obtient dans ces deux séries ne diffèrent donc que par un déplacement de virgule ou la suppression d'un zéro.

C) Dans le système proposé par la Société photographique de la Grande-Bretagne, le rapport de clarté de l'objectif type est égal à $\frac{1}{4}$. La clarté de l'objectif qui a pour rapport de clarté $\frac{1}{n}$ est alors

$$C = \left(\frac{1}{n}\right)^2 (4)^2 = \frac{1}{n^2} 16;$$

elle est égale au carré du rapport de clarté multiplié par 16. Cette multiplication par 16 rend ce système peu pratique; de plus, il existe des objectifs dont le rapport de clarté est supérieur à $\frac{1}{4}$. Ce système présente donc des inconvénients qui ne sont compensés par aucun avantage sérieux.

G. Watmough Webster¹ a proposé de prendre pour objectif type un objectif dont le rapport de clarté serait $\frac{1}{2}$. Dans ce système, la clarté est égale au rapport de clarté multiplié par 4.

163. Corrections à introduire. — Pour déterminer la clarté d'un objectif, nous avons dû supposer que l'objet considéré était dans le voisinage de l'axe principal de cet objectif; or, nous avons vu (161) que l'illumination de l'image d'un objet varie suivant l'angle que fait la directrice moyenne d'incidence avec l'axe principal. Si \mathfrak{I} et \mathfrak{I}' sont les illuminations de l'image lorsque l'objet est sur l'axe principal et sur une directrice faisant un angle α avec cet axe, l'on a

$$\mathfrak{I} = \mathfrak{I}' \cos^4 \alpha.$$

De plus, les rayons lumineux sont absorbés par les lentilles et réfléchis sur leurs diverses faces.

L'absorption de la lumière par l'objectif dépend de la qualité du verre. On reconnaîtra qu'une lentille est bien transparente lorsqu'en la plaçant sur du papier blanc il n'y aura aucune différence entre les éclats du papier vu directement et au travers du verre.

La perte de lumière due à la réflexion est d'autant plus considérable que les faces de l'objectif sont plus nombreuses. En réunissant deux lentilles avec du baume du Canada dont l'indice de réfraction se rapproche de celui du verre, on peut admettre que la réflexion sur les faces collées est nulle, et il n'y a à tenir compte que des réflexions aux faces extérieures des lentilles. Un objectif simple (à deux ou trois verres *collés*) n'a donc que deux surfaces réfléchissantes, et, toutes choses égales d'ailleurs, il est plus lumineux qu'un objectif double qui a quatre ou six faces extérieures.

On peut admettre que l'absorption et la réflexion causent une perte de lumière de 20 % en moyenne².

Pour comparer les clartés de deux objectifs A et B, M. de la Baume-Pluvinel a proposé le moyen suivant : on place une échelle photométrique, celle de Warnerke par exemple, en contact avec une plaque sensible, et on expose le tout au foyer principal de l'objectif A, après avoir dirigé l'appareil vers le ciel; puis on découvre l'objectif pendant un certain temps. On répète la même expérience, dans les mêmes conditions, avec l'objectif B. On développe simultanément les deux plaques sensibles, et on constate que les numéros des der-

1. *British journal of Photography*, sept. 1872, et *Bulletin de la Société française de photographie*, 1872, p. 238.

2. De la Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*, p. 16.

nières cases visibles sur les plaques sont N_a sur la première plaque et N_b sur la seconde. Le rapport des clartés sera

$$\frac{C_b}{C_a} = \left(\frac{4}{3}\right) N_b - N_a.$$

164. Mesure de la clarté propre des objectifs. — M. le commandant Moessard emploie le dispositif suivant pour mesurer la clarté propre des objectifs, suivant l'axe principal. Soit AB (fig. 326) l'objectif à essayer : on prend deux sources de lumière égales C et C', par exemple deux lampes à acétate d'amyle, donnant des flammes égales, limitées par un écran à fente transversale ; on peut prendre aussi deux écrans translucides, de surfaces

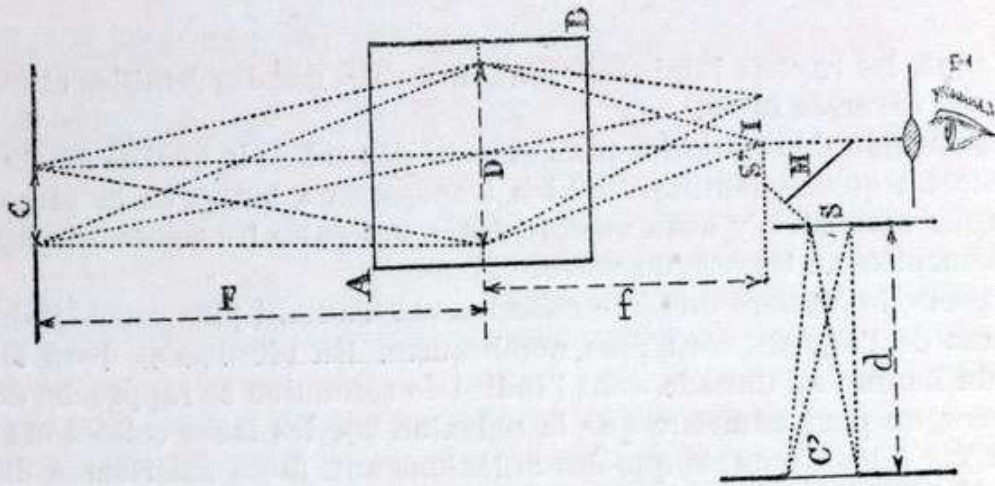


Fig. 326.

égales, éclairés par deux sources égales situées à même distance derrière ces écrans. En I et S on place deux écrans opalins, recevant l'un l'image conjuguée de C fournie par l'objectif, l'autre l'éclairement direct de l'écran C'. Un miroir M incliné à 45° avec la direction de l'axe principal renvoie l'image de S en S' sur le prolongement de I. Les écrans I et S sont noirs, à l'exception des deux parties I et S, à peu près égales et telles que la partie translucide de I soit plus grande que l'image conjuguée de C.

L'œil placé en T, derrière un œilleton muni si l'on veut d'un oculaire, voit juxtaposées les surfaces éclairées S' et I. La source C est fixe ; on déplace la source C' sur la ligne C'S jusqu'à ce que les éclats S' et I soient égaux.

Admettons que l'on ait atteint ce résultat, et soit E l'équivalent numérique des sources de lumières égales C et C' ; c la surface brillante de C et C' , o l'ouverture utile de l'objectif ; F la distance fixe de C' à D ; f la distance de D à I ; i et s les surfaces éclairées égales, l'une, i , à l'image de C ; l'autre, s , à la portion translucide de l'écran de gauche ; A et M les coefficients de clarté de l'objectif et du miroir, c'est-à-dire la quantité de lumière qu'ils transmettent, celles qu'ils reçoivent étant égale à 1.

L'éclat intrinsèque superficiel de i est $\frac{Eco}{iF^2} \times A$; celui de S' est égal à $E \frac{cs}{sd^2} \times M = \frac{EcM}{d^2}$.

Par hypothèse, ces deux éclats sont égaux : le calcul de cette dernière expression, où d est la seule variable, donnera l'éclat superficiel de l'image I , éclat qui est inversement proportionnel à d^2 .

On pourra prendre pour unité d'éclat superficiel celui d'une surface éclairée par l'unité de surface à l'unité de distance, par conséquent enlever l'objectif, faire $c = 1c^2$, $F + f = 1m$, et mesurer la distance D correspondante, qui deviendrait alors unité de mesure. L'éclat superficiel d'une image serait alors égal à $\frac{D^2}{d^2}$.

Examinons ce que représente l'éclat superficiel qui a pour expression $E \frac{co}{iF^2} A$. Pour cela, remplaçons $\frac{c}{i}$ par sa valeur $\frac{F^2}{f^2}$; il vient $E \frac{o}{f^2} A$; mais E est une quantité constante, $\frac{o}{f^2}$ est l'angle conique des rayons convergents sur l'image i ; cet angle n'est pas constant; A est la quantité à évaluer.

En adoptant à tous les objectifs en essai le diaphragme normal ou un diaphragme de même numéro, on rend constante la quantité $\frac{o}{\varphi^2}$, φ étant la distance focale principale.

On peut admettre que si F est un peu grand, la différence entre $\frac{o}{f^2}$ et $\frac{o}{\varphi^2}$ est très petite et négligeable; en effet :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\varphi} - \frac{1}{F}$$

et

$$-\frac{1}{f^2} + \frac{1}{\varphi^2} = -\frac{1}{F^2} + \frac{2}{F\varphi}.$$

On pourra donc considérer sans erreur sensible $\frac{o}{f^2}$ comme constant si F est, par exemple, égal ou supérieur à 40 mètres, et l'expression $\frac{D^2}{d^2}$ qui mesure l'éclat intrinsèque superficiel de l'image pourra être considérée comme mesurant le coefficient de clarté A de l'objectif qui lui est proportionnel.

La mesure de la clarté se réduit donc à la mesure de la distance de la source de lumière mobile à l'écran correspondant.

L'adjonction de ce dispositif au tourniquet permet de mesurer la clarté suivant tous les axes secondaires de l'objectif, et par conséquent de se rendre compte des variations de l'éclairement de l'image avec l'inclinaison des rayons sur l'axe principal; on peut cependant se contenter de l'essai de la clarté suivant l'axe principal ¹.

1. P. Moessard, *Congrès international de photographie*, 1889.

165. Essai de l'achromatisme de l'objectif. — Il existe plusieurs moyens de reconnaître si le foyer physique de l'objectif coïncide avec son foyer chimique.

Pour cela, il suffit de disposer sur une planchette à dessin un titre de journal ou une série de chiffres assez grands et présentant des parties très déliées. On place la planchette *obliquement* par rapport à l'axe de l'objectif, de telle sorte que les lettres soient toutes inégalement éloignées de l'objectif; on met au point une lettre, l'objectif étant muni de son plus grand diaphragme; on remplace la *glace* dépolie (qui était d'abord placée dans le châssis négatif) par une plaque sensible; on développe l'image. La lettre la plus nette doit être celle qui a été mise au point.

Claudet a imaginé pour cet essai un appareil qu'il a appelé *focimètre*. L'instrument se compose d'une série de secteurs numérotés

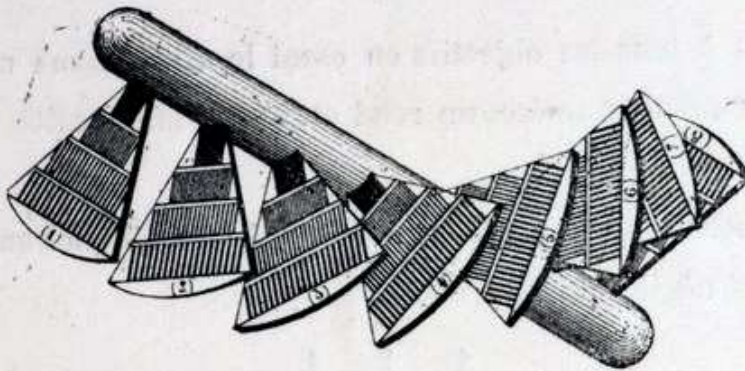


Fig. 327.

que l'on place sur une même tige à une certaine distance les uns des autres; on met au point l'un des secteurs. On photographie l'appareil: si le secteur qui précède ou celui qui suit le numéro mis au point est le plus net sur l'épreuve, c'est que l'objectif a un foyer chimique.

Cet essai est susceptible d'une grande précision si l'on emploie le *test-focimètre* (*fig. 327*) que nous avons fait construire pour l'étude des objectifs.

On peut, sans faire d'épreuve photographique, étudier comment un objectif se comporte avec les diverses radiations: c'est le procédé que nous avons vu employer chez le savant et regretté Prasmowski. On pointe l'objectif sur une série de trous percés dans une plaque de tôle se détachant sur le ciel, ou bien on place une fente d'environ 0^m05 de long sur 0^m01 de large, munie de deux fils tendus en croix (*fig. 328*) en face d'une surface bien

éclairée (mur blanc, ciel, etc.); on met très exactement au point, à l'aide d'une forte loupe ou d'un oculaire à micromètre, et l'on remplace la loupe par un spectroscopie disposé de telle sorte que l'image qui se formait sur le micromètre soit à distance de la vision nette du spectroscopie. L'objectif n'étant pas achromatique, une seule portion du spectre est bien au point et permet de voir nettement les bords et le fil horizontal de la fente; si l'objectif est achromatique, deux fragments plus ou moins écartés du spectre seront à la fois au point, et c'est de la position de ces fragments que l'on déduira la valeur de l'achromatisme réalisé. La réunion du bleu et du violet donne la meilleure solution.

On peut disposer l'expérience autrement. On met au point l'appareil sur un tube d'induction au chlorure d'indium: les deux raies de l'indium correspondent précisément aux deux régions du spectre dont il faut réunir les

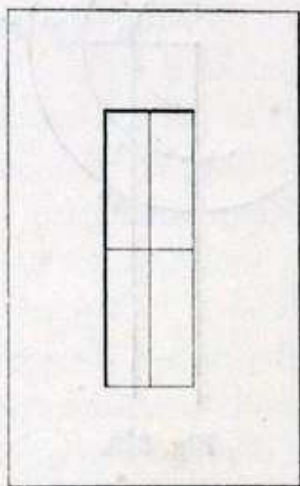


Fig. 328.

foyers pour avoir le meilleur achromatisme chimique. Le spectroscopie doit montrer à la fois ces deux raies bien nettes sur le plan même de la mise au point optique.

Claudet, Lerebours et Secretan¹ ont constaté depuis longtemps que les diverses substances sensibles employées à l'obtention des images nécessitaient des corrections différentes du foyer physique; d'après eux, le papier ciré, le collodion sec, le collodion humide, ont des foyers chimiques différents. Ces différences ne sont sensibles qu'avec des objectifs employés à toute ouverture et possédant peu de profondeur de foyer; il en est de même des écarts constatés par Claudet, écarts qui proviennent de l'état de l'atmosphère, de la température, etc.

Cet observateur a constaté² que les deux foyers ne sont jamais dans la même position l'un par rapport à l'autre; il y a une seule distance focale donnant la coïncidence des deux foyers. Claudet croyait qu'il était impossible de construire des objectifs dans lesquels les deux foyers puissent coïncider pour toutes les distances des objets, de tels instruments exigeant l'em-

1. Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 5^e édition, p. 117.

2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1858, p. 49.

ploi de deux espèces de verre dans lesquels les pouvoirs réfringents soient dans le même rapport que les pouvoirs dispersifs ¹.

166. Essais divers. — Les différentes opérations que nous venons de décrire doivent être effectuées pour tous les objectifs : elles permettent de déterminer les constantes de ces objectifs. Indépendamment de ces constantes, il est bon d'examiner si l'objectif est bien centré. On peut étudier le centrage à l'aide du *tourniquet*. Si l'objectif est mal centré, le point nodal est en n , en dehors de l'axe de figure. On n'arrive à immobiliser l'image que pour deux positions symétriques de l'objectif dans sa rondelle : quand la main ira de gauche à droite, l'image suivra d'abord, puis s'arrêtera en q' et q'' (*fig. 329*) pour revenir ensuite sur ses pas ; de droite à

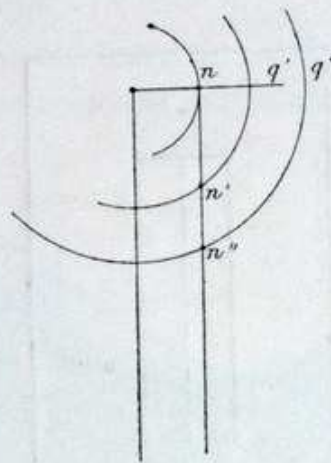


Fig. 329.

gauche, ce sera l'inverse. Quand le point nodal sera à hauteur de l'axe de rotation en n , le changement de sens du mouvement de l'image se fera au zéro.

On peut reconnaître plus simplement un mauvais centrage : on examine à travers l'objectif l'image de la flamme d'une bougie placée assez loin, l'observateur étant lui-même à une distance de l'objectif égale à trois ou quatre fois sa distance focale. On aperçoit une série d'images de la bougie, images produites par réflexion à la surface des lentilles. Si l'objectif est bien centré, on pourra trouver une position de l'œil et de l'objectif par rapport à la bougie permettant de placer toutes ces images sur une même droite, ce qu'il est impossible d'obtenir avec un objectif mal centré.

Les verres composant un objectif doivent être exempts de veines, stries, etc. Les diverses surfaces doivent être correctement polies par l'opticien. Toute apparence terne ou grise qui reste après un nettoyage soigneux est l'indice d'un poli défectueux. La présence de quelques bulles d'air n'affecte en rien la qualité d'un objectif. Si les lentilles sont accidentellement éraillées, il convient de recouvrir l'éraillure avec un peu de noir de fumée ; la perte de lumière qui en résulte est insensible, et l'on évite ainsi l'altération de l'image qui se produirait si l'éraillure était un peu profonde.

1. *Liverpool and Manchester Photographic journal*, 1857.

167. Résumé. — Nous nous sommes étendus un peu longuement sur l'essai des objectifs, parce que ces instruments ne sont pas, en général, livrés avec une feuille spéciale pour chaque appareil indiquant ses diverses qualités. L'opérateur qui ne possède pas un matériel spécial pour essayer complètement les objectifs, celui qui manque de connaissances théoriques suffisantes devra cependant faire les essais suivants, dont nous démontrerons plus loin l'utilité.

A). *Mesure de la distance focale principale.* Pour cela, on met au point sur des objets très éloignés, l'objectif étant muni de son plus grand diaphragme. On marque sur la base de la chambre la position de l'un des bords du cadre à glace dépolie ou de la planchette porte-objectif; on trace sur un carton une ligne de 0^m10 de long et on la met au point en disposant l'appareil de telle sorte que l'image de la ligne soit reproduite à moitié grandeur. (Cette ligne devra donc occuper *exactement* 0^m05 de long sur la glace dépolie.) On marquera sur la base de la chambre noire la position du *même* bord du cadre à glace dépolie ou de la planchette porte-objectif. La distance qui sépare les deux traits ainsi marqués sur la base représente la moitié de la longueur focale principale; il suffira donc de *doubler cette distance* pour avoir la longueur focale principale.

B). *Profondeur de foyer, astigmatisme, distorsion.* La profondeur de foyer dépend du diaphragme employé. L'astigmatisme se reconnaît à ce qu'il est impossible de mettre au point à partir d'une certaine distance du centre; quant à la distorsion, on la mettra en évidence en cherchant à reproduire l'image de traits horizontaux et verticaux formant un quadrillé: les lignes droites ne doivent pas être cintrées sur la glace dépolie s'il n'y a pas distorsion.

C). La mesure du *champ de netteté* peut s'effectuer approximativement en examinant sur la glace dépolie d'une chambre noire munie de son objectif quelle est la distance maxima des objets dont l'image se forme avec une netteté suffisante; cet essai doit être fait avec les divers diaphragmes de l'objectif: on saura ainsi qu'avec *tel* diaphragme l'objectif couvre une surface de *tel* diamètre.

D). *Clarté.* Si l'objectif est simple, on mesurera, à l'aide d'une règle graduée ou à l'aide d'un compas, le *diamètre* du diaphragme de l'objectif; s'il est double ou triple, on opérera de la manière suivante: on mettra au point un objet très éloigné, on remplacera la glace dépolie par un châssis négatif dans lequel on placera un morceau de carton au lieu d'une glace préparée. On fait une ouverture ronde au

centre du carton et on transporte le tout dans l'obscurité; on place ensuite une bougie tout près de l'ouverture du carton et l'on observe la partie éclairée visible sur la combinaison antérieure. Le diamètre de cette partie éclairée, mesurée avec soin (à l'aide des pointes d'un compas) représente l'ouverture utile de l'objectif pour le diaphragme employé. En divisant cette longueur (exprimée en millimètres) par le nombre qui exprime la distance focale de l'objectif, on aura le rapport de clarté. Par exemple, la distance focale principale d'un objectif est 0^m200, soit 200 millimètres; le diamètre de l'image qui se dessine sur la lentille antérieure est 10 millimètres.

Le rapport de clarté sera

$$\frac{10}{200} = \frac{1}{20}.$$

E). Achromatisme. La recherche de l'achromatisme pourra s'effectuer d'une manière suffisamment précise en reproduisant à assez grande échelle $\left(\frac{1}{3} \text{ ou } \frac{1}{4} \text{ de grandeur naturelle}\right)$ un titre de journal placé assez obliquement (30 à 40°) par rapport à l'axe de l'objectif. On met au point une des lettres, l'objectif étant muni de son plus grand diaphragme; on remplace dans le châssis négatif la glace dépolie par une plaque sensible, l'on fait poser et l'on développe le cliché; on examine le négatif. La lettre qui a été mise au point doit être plus nette que les autres.

§ 3. — COEFFICIENT DE CLARTÉ, PROFONDEUR DE FOYER,
DIMENSION DES IMAGES.

168. L'expression la plus générale qui détermine le temps de pose t peut prendre la forme suivante :

$$t = \frac{1}{E} \frac{1}{I} \frac{1}{C} \frac{1}{S} \frac{D^2}{(D - F)^2},$$

formule dans laquelle $\frac{1}{E}$ est une fonction des éclats actiniques $A_1 A_2 \dots A_n$ des divers éléments de l'objet et des angles $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$ que font les axes secondaires des éléments $p_1 p_2 \dots p_n$ avec l'axe principal de l'objectif; I est l'intensité actinique du faisceau éclairant; C la clarté décimale de l'objectif diaphragmé, S la sensibilité de la plaque, D la distance de l'objet à l'objectif, F la distance focale principale de l'objectif.

Cette formule peut se simplifier si l'on suppose que les plaques aient toutes la même sensibilité, si on néglige le coefficient de distance et si l'on réunit en un seul les coefficients d'éclat et d'éclairage. En désignant par L ce dernier coefficient double, la formule du temps de pose se réduit à

$$t = L \times \frac{1}{C}.$$

Le coefficient de clarté est l'inverse de la clarté (161). Le coefficient de clarté *décimal* est, dans le système de R. T. Dallmeyer,

$$\frac{1}{C} = n^2 \frac{1}{10};$$

il est, dans le système du Congrès de 1889,

$$\frac{1}{C} = n^2 \frac{1}{100};$$

et dans le système de la Société photographique de la Grande-Bretagne, il est

$$\frac{1}{C} = n^2 \frac{1}{16}.$$

On voit donc l'avantage qu'il y a à employer le système décimal. Le tableau 168 — A indique la valeur de ces différents coefficients de clarté dans les trois systèmes en fonctions du rapport de clarté $\frac{1}{n}$.

Le rapport $\frac{1}{n}$ dont dépend le coefficient de clarté est égal au rapport $\frac{\delta}{F}$. On peut donc calculer n en divisant la distance focale de l'objectif par son ouverture utile. M. de la Baume-Pluvinel a construit un diagramme (fig. 330) qui dispense de faire cette opération et donne de suite la valeur du rapport $\frac{1}{n}$. Le diaphragme qui limite l'ouverture utile de l'objectif est appliqué sur la figure et disposé de manière qu'un de ses diamètres se confonde avec la ligne horizontale inférieure. Cela fait, on considère la verticale passant par l'extrémité droite du diamètre du diaphragme et on prend l'intersection de cette verticale avec l'horizontale correspondant au foyer de l'objectif. La position du point de rencontre des deux droites, par rapport aux diagonales qui le comprennent, indiquent la valeur du rapport $\frac{1}{n}$. Supposons, par exemple, $\delta = 0^m06$ et $F = 0^m25$: l'extrémité droite de l'un des diamètres du diaphragme appliqué sur la base de la figure tombe sur la division 6. La verticale passant par ce point rencontre

RAPPORT de clarté $\frac{1}{n}$	COEFFICIENT de clarté de la Soc. G. B. $\frac{n^2}{16}$	COEFFICIENT de clarté décimal $\frac{n^2}{10}$	COEFFICIENT de clarté système du Congrès. $\frac{n^2}{100}$	RAPPORT de clarté $\frac{1}{n}$	COEFFICIENT de clarté de la Soc. G. B. $\frac{n^2}{16}$	COEFFICIENT de clarté décimal $\frac{n^2}{10}$	COEFFICIENT de clarté système du Congrès. $\frac{n^2}{100}$
$\frac{1}{2.5}$	0,4	0,6	0,06	$\frac{1}{14}$	12,2	19,6	1,96
$\frac{1}{2.7}$	0,5	0,7	0,07	$\frac{1}{15}$	14,1	22,5	2,25
$\frac{1}{3}$	0,6	0,9	0,09	$\frac{1}{16}$	16,0	25,6	2,56
$\frac{1}{3.2}$	0,7	1,0	0,01	$\frac{1}{17}$	18,1	28,9	2,89
$\frac{1}{3.5}$	0,8	1,2	0,12	$\frac{1}{18}$	20,2	32,4	3,24
$\frac{1}{3.7}$	0,9	1,4	0,14	$\frac{1}{19}$	22,6	36,1	3,61
$\frac{1}{4}$	1,0	1,6	0,16	$\frac{1}{20}$	25,0	40,0	4,00
$\frac{1}{4.2}$	1,1	1,8	0,18	$\frac{1}{22}$	30,2	48,4	4,84
$\frac{1}{4.5}$	1,3	2,0	0,20]	$\frac{1}{24}$	36,0	57,6	5,76
$\frac{1}{4.7}$	1,4	2,2	0,22	$\frac{1}{26}$	42,2	67,6	6,76
$\frac{1}{5}$	1,6	2,5	0,25	$\frac{1}{28}$	49,0	78,4	7,84
$\frac{1}{5.5}$	2,0	3,0	0,30	$\frac{1}{30}$	56,2	90,0	9,00
$\frac{1}{6}$	2,2	3,6	0,36	$\frac{1}{32}$	64,0	102,4	10,24
$\frac{1}{6.5}$	2,6	4,2	0,42	$\frac{1}{34}$	72,2	115,6	11,56
$\frac{1}{7}$	3,1	4,9	0,49	$\frac{1}{36}$	81,0	129,6	12,96
$\frac{1}{7.5}$	3,5	5,6	0,56	$\frac{1}{38}$	90,2	144,4	14,44
$\frac{1}{8}$	4,0	6,4	0,64	$\frac{1}{40}$	100,0	160,0	16,00
$\frac{1}{8.5}$	4,5	7,2	0,72	$\frac{1}{42}$	110,2	176,4	17,64
$\frac{1}{9}$	5,1	8,1	0,81	$\frac{1}{44}$	121,0	193,6	19,36
$\frac{1}{9.5}$	5,7	9,0	0,90	$\frac{1}{46}$	132,2	211,6	21,16
$\frac{1}{10}$	6,2	10,0	1,00	$\frac{1}{48}$	144,0	230,4	23,04
$\frac{1}{11}$	7,1	12,1	1,21	$\frac{1}{50}$	156,2	250,0	25,00
$\frac{1}{12}$	9,0	14,4	1,44	$\frac{1}{55}$	189,1	302,5	30,25
$\frac{1}{13}$	10,6	16,9	1,69	$\frac{1}{60}$	225,0	360,0	36,00

l'horizontale de la division 25 en un point compris entre les diagonales $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$. D'après la position de ce point par rapport à ces deux diagonales, on voit que le rapport $\frac{1}{n}$ est environ $\frac{1}{4,2}$.

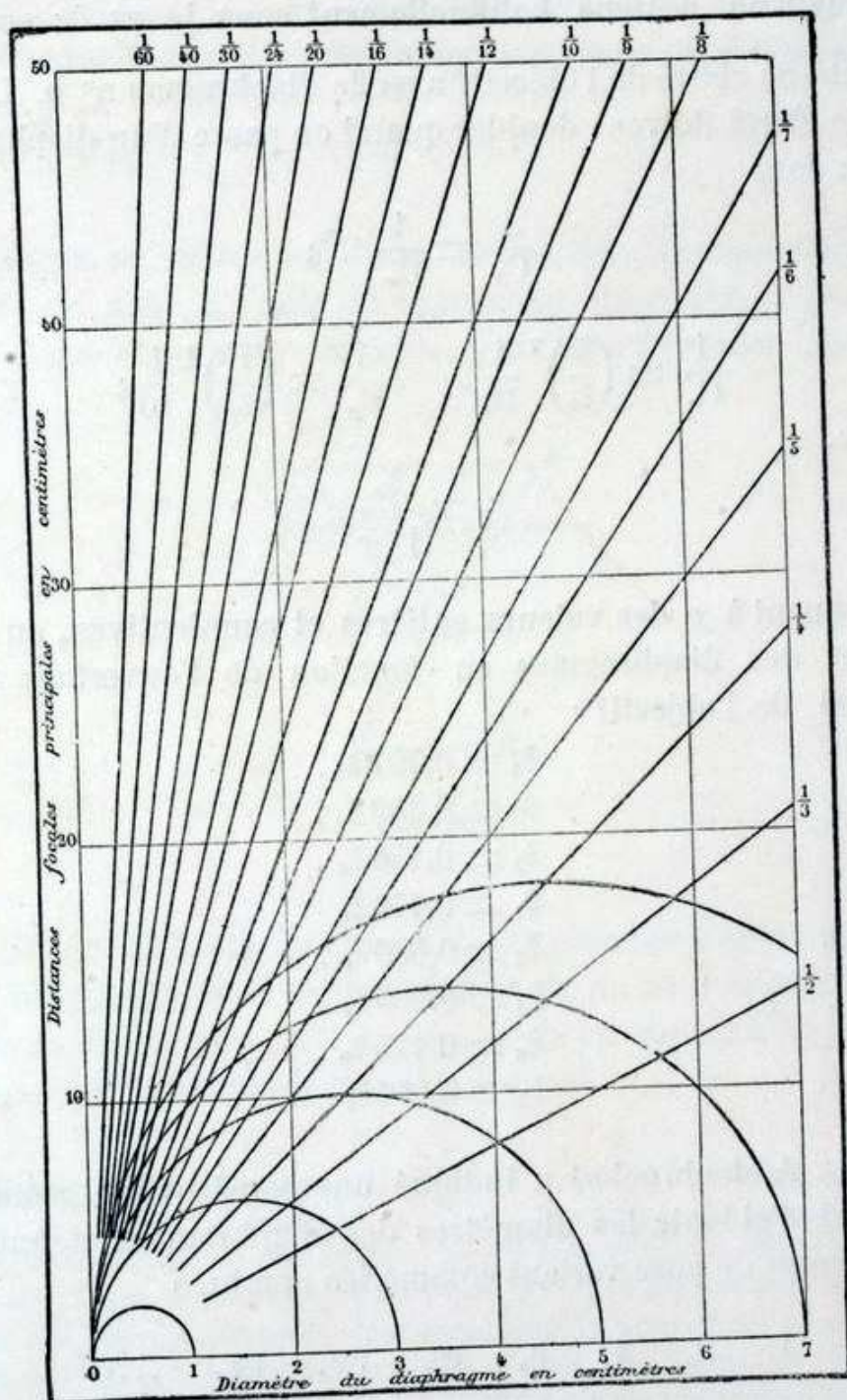


Fig. 330.

169. Graduation des diaphragmes. — Les bons constructeurs calculent les ouvertures des diaphragmes de manière que les

temps de pose aillent en doublant quand on passe d'un diaphragme au suivant. Ce calcul peut se faire simplement. Soit, en effet, $\frac{1}{C_o}$ le coefficient de clarté de l'objectif, muni du plus grand diaphragme, celui que l'on désigne habituellement sous le n° 0; soit $\frac{1}{C_p}$ le coefficient de clarté de l'objectif avec le diaphragme n° p . Les coefficients de clarté doivent doubler quand on passe d'un diaphragme au suivant; donc

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_o} 2^p;$$

mais

$$\frac{1}{C_o} = \left(\frac{F}{\delta_o}\right)^2 \frac{1}{10}, \quad \frac{1}{C_p} = \left(\frac{F}{\delta_p}\right)^2 \frac{1}{10};$$

par suite,

$$\delta_p = \frac{\delta_o}{\sqrt{2^p}}.$$

En donnant à p des valeurs entières et consécutives, on aura les diamètres des diaphragmes en fonction de l'ouverture maxima $\delta_o = 1,000$ de l'objectif :

$$\begin{aligned} \delta_1 &= 0,707 \delta_o, \\ \delta_3 &= 0,353 \delta_o, \\ \delta_5 &= 0,176 \delta_o, \\ \delta_7 &= 0,176 \delta_o, \\ \delta_2 &= 0,500 \delta_o, \\ \delta_4 &= 0,250 \delta_o, \\ \delta_6 &= 0,125 \delta_o, \\ \delta_8 &= 0,062 \delta_o \end{aligned}$$

M. G.-L. Addenbrooke¹ a indiqué une construction géométrique permettant d'obtenir les diamètres des diaphragmes donnant une série de temps de pose variant comme les nombres

$$1, \quad 2, \quad 4, \quad 8, \quad 16, \quad 32, \quad 64, \quad \dots$$

A l'aide des nombres que nous venons de faire connaître, on obtiendra bien plus rapidement le diamètre de ces diaphragmes,

1. *The British journal photographic Almanac*, 1884, p. 110.

puisqu'il suffit de multiplier par $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_p$ le diamètre du plus grand diaphragme choisi pour avoir immédiatement des diamètres de diaphragmes régulièrement gradués.

R.-T. Dallmeyer¹ a établi une échelle (en centimètres et pouces) permettant d'obtenir immédiatement les diamètres des diaphragmes suivant le système qu'il a adopté, système dans lequel le rapport de

$$\text{clarté } \frac{1}{n} = \frac{1}{\sqrt{10}}.$$

Nous avons vu (85) quelle était la position du diaphragme dans l'objectif; on peut, à l'aide du tourniquet Moessard, reconnaître si les diaphragmes sont bien placés dans un objectif symétrique. Soient

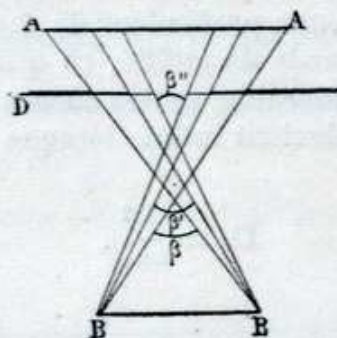


Fig. 331.

AA et BB (*fig. 331*) les lentilles, D le diaphragme : le champ de visibilité β maximum, avec le diaphragme D, ira en diminuant, comme l'indique la figure β, β', β'' , à mesure qu'on prendra un plus petit diaphragme, si ce diaphragme est mal placé.

170. Profondeur de foyer. — Soit P' (*fig. 332*) l'image du point P formé par un objectif aplanétique L. (Un objectif est dit aplanétique pour un point lorsqu'il donne une image rigoureusement nette de ce point. Voir 39.) Si on recule le point-objet de P en Q, ou si on l'avance de P en R, les cônes des rayons réfractés découpent sur le plan focal passant par p' de petits cercles qq'. Lorsque ces petits cercles sont égaux au cercle de diffusion tolérée, la distance PQ est la profondeur de foyer postérieure, et la distance PR la profondeur de foyer antérieure. La *profondeur totale de foyer* est la distance QR.

1. *The journal of the Camera club* (conférence), 16 mars 1888.

Il serait plus rationnel ¹ d'appeler les distances PQ et PR les *profondeurs d'objet* et de réserver pour les distances P'Q' et P'R' les dénominations de profondeur de foyer, comme le font plusieurs auteurs.

La *profondeur de foyer* (voir p. 315) est déterminée par le diamètre du

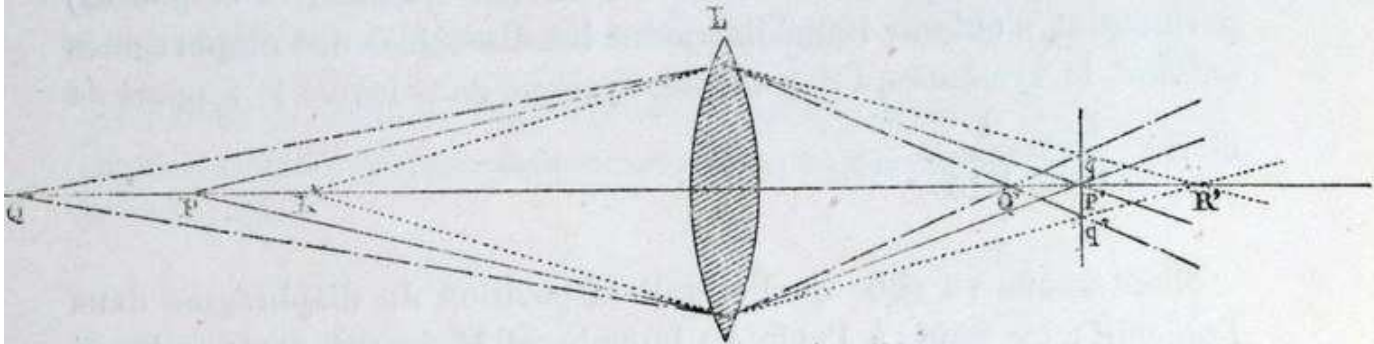


Fig. 332.

diaphragme. A mesure que ce diamètre diminue la profondeur de foyer augmente, et, pour obtenir une profondeur de foyer double, l'ouverture du diaphragme doit être diminuée de moitié, ce qui nécessitera un temps de pose quatre fois plus considérable, toutes choses égales d'ailleurs.

La profondeur de foyer devient infinie lorsque la distance du point-objet à l'objectif est égale à

$$D_o = \frac{F^2}{n\omega}$$

170 — A

OUVERTURE	TEMPS de POSE.	FOYER DE L'OBJECTIF EN CENTIMÈTRES								
		10	15	20	25	30	38	45	53	60
		DISTANCE DE L'OBJET LE PLUS RAPPROCHÉ (APPROXIMATIVEMENT).								
$\frac{f}{10}$	1	4,20	9,30	16,20	25,20	36,30	56,70	81,60	110,40	144,60
$\frac{f}{15}$	2	2,70	6,30	10,80	16,80	24,30	37,80	54,60	74,10	96,60
$\frac{f}{20}$	4	2,10	4,80	8,10	12,90	18,30	28,50	41,10	55,80	72,60
$\frac{f}{25}$	6	1,80	3,90	6,60	10,20	15,00	22,80	33,00	45,00	58,20
$\frac{f}{30}$	8	1,50	3,30	5,40	8,70	12,30	19,20	27,60	37,20	48,60
$\frac{f}{35}$	12	1,35	2,85	4,80	7,50	10,50	16,50	23,70	31,80	40,50
$\frac{f}{40}$	16	1,20	2,70	4,20	6,60	9,30	14,40	20,70	28,20	36,60

1. De la Baume-Pluvinel, *Mémoire inédit.*

Tous les points situés au delà de cette distance donneront dans l'appareil photographique une image nette. En supposant que le diamètre des cercles de confusion soit de 0^m00025, Dallmeyer a construit la tableau **170 — A** pour les différentes valeurs attribuées à F (foyer de l'objectif) et $\frac{1}{n}$ (ouverture ou rapport de clarté).

Soit, par exemple, à trouver la distance de l'objet le plus rapproché de l'avant-plan pour un objectif de 0,15 de foyer avec un diaphragme dont le rapport de clarté est $\frac{1}{10}$.

Nous chercherons dans la première colonne (ouverture) le rapport $\frac{1}{10}$.
Parcourant cette ligne de droite à gauche, nous cherchons le nombre qui se trouve au-dessous de 15, distance focale de l'objectif : nous trouvons 9^m30 comme distance cherchée. C'est celle à partir de laquelle tous les points situés *au-delà* donneront dans l'appareil photographique une image nette.

La formule $D_o = \frac{F^2}{n\omega}$ montre que D_o étant inversement proportionnel à ω et directement proportionnel à $\frac{1}{n}$, il sera toujours facile, à l'aide de cette formule, de trouver les valeurs de D_o qui correspondent à des valeurs différentes de ω et de $\frac{1}{n}$.

M. de la Baume-Pluvinel a calculé le tableau **170 — B** dans l'hypothèse où $\omega = 0^m0002$.

170 — B

		RAPPORT DE CLARTÉ $\frac{1}{n}$											
		$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{35}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{55}$	$\frac{1}{60}$
DISTANCE FOCALE EN CENTIMÈTRES F	5	2.5	1.3	.9	.7	.5	.5	.4	.4	.3	.3	.3	.3
	10	10.0	5.0	3.4	2.5	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	.9	.9
	15	22.5	11.3	7.5	5.7	4.5	3.8	3.3	2.9	2.5	2.3	2.1	1.9
	20	40.0	20.0	13.4	10.0	8.0	6.7	5.8	5.0	4.5	4.0	3.7	3.4
	25	62.5	31.3	20.9	15.7	12.5	10.5	9.0	7.9	7.0	6.3	5.7	5.3
	30	90.0	45.0	30.0	22.5	18.0	15.0	12.9	11.3	10.0	9.0	8.2	7.5
	35	122.5	61.3	40.9	30.7	22.5	20.5	17.5	15.4	13.6	12.3	11.2	10.3
	40	160.0	80.0	53.4	40.0	32.0	26.7	22.9	20.0	17.8	16.0	14.6	13.4
	45	202.5	101.3	67.5	50.7	40.5	33.8	29.0	25.4	22.5	20.3	18.4	16.9
	50	250.0	125.0	83.4	62.5	50.0	41.7	35.8	31.3	27.8	25.0	22.8	20.9

On se sert facilement de ce tableau. Soit un objectif de 15 centimètres de foyer ayant un rapport de clarté égal à $\frac{1}{10}$, à quelle distance doit se trouver l'objet le plus rapproché pour correspondre à une netteté de 0^m0002 ?

Dans la colonne verticale du rapport de clarté $\frac{1}{10}$, nous cherchons le nombre qui se trouve sur la même ligne horizontale que le nombre 15, distance focale de l'objectif en centimètres; nous trouvons ainsi 11^m3 pour distance cherchée.

Cet exemple montre que, à mesure que l'on désire une netteté plus considérable, la distance de l'avant-plan augmente. Si l'on voulait n'admettre que des cercles de confusion ayant un diamètre de 0^m0001, il suffirait de doubler tous les nombres de la table précédente pour avoir les nouvelles valeurs de D_0 . M. Pizzighelli a calculé¹ dans cette hypothèse le tableau **170 — C**.

170 — C

DISTANCE focale F en millimètres.	RAPPORT DE CLARTÉ											
	$\frac{f}{5}$	$\frac{f}{10}$	$\frac{f}{15}$	$\frac{f}{20}$	$\frac{f}{25}$	$\frac{f}{30}$	$\frac{f}{35}$	$\frac{f}{40}$	$\frac{f}{45}$	$\frac{f}{50}$	$\frac{f}{55}$	$\frac{f}{60}$
	LA DISTANCE DE L'OBJET DEVRA ÊTRE EN MÈTRES :											
50.....	5	2,5	1,7	1,3	1	0,9	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
100.....	20	10	6,7	5,0	4	3,4	2,9	2,5	2,3	2,0	1,8	1,7
150.....	45	22,5	15	11,3	9	7,5	6,5	5,7	5,0	4,5	4,1	3,8
200.....	80	40,0	26,7	20	16	13,4	11,5	10,0	8,9	8,0	7,3	6,7
250.....	125	62,5	41,7	31,3	25	20,9	17,9	15,7	13,9	12,5	11,4	10,5
300.....	180	90,0	60,0	45,0	36	30	25,7	22,5	20,0	18,0	16,4	15,0
350.....	245	122,5	81,7	61,3	45	40,9	35	30,7	27,2	24,5	22,3	20,5
400.....	320	160,0	106,7	80,0	64	53,4	45,7	40	35,6	32,0	29,1	26,7
450.....	405	202,5	135,0	101,3	81	67,5	57,9	50,7	45	40,5	36,8	33,8
500.....	500	250,0	166,7	125,0	100	83,4	71,5	62,5	55,6	50	45,5	41,7

Ce tableau montre qu'avec un objectif de 0^m,15 (150 millimètres) de distance focale et un rapport de clarté $\frac{1}{10}$ (diaphragme d'ouverture $\frac{f}{10}$), l'avant-plan de l'infini sera à 22^m60; elle montre aussi que plus la longueur focale augmente, plus l'on doit diminuer l'ouverture du diaphragme. Les

1. *Phot. Correspondenz*, 1886, p. 481.

distances correspondant à 100 fois la distance focale sont imprimées en chiffres gras.

Si le cliché que l'on veut obtenir est destiné à l'agrandissement, il y a intérêt à adopter comme diamètre des cercles de confusion les plus petites valeurs et prendre alors 0^m0001 pour diamètre de ce cercle; mais, en pratique, il suffit d'adopter 0^m00025 ou 0^m0002 pour diamètre de ces cercles.

171. Profondeur postérieure, antérieure et totale. — Ces trois profondeurs de foyer sont données par les formules

$$P_p = \frac{D(D-F)\omega}{F^2 \frac{1}{n} - D\omega}, \quad P_a = \frac{D(D-F)\omega}{F^2 \frac{1}{n} + D\omega}, \quad P_{p+a} = \frac{2(D-F)}{\frac{F^2}{nD\omega} - \frac{nD\omega}{F^2}}$$

A l'aide de ces formules, M. de la Baume-Pluvinel a calculé le tableau **171 — A** et tracé un graphique (*fig. 333*) permettant de déterminer facile-

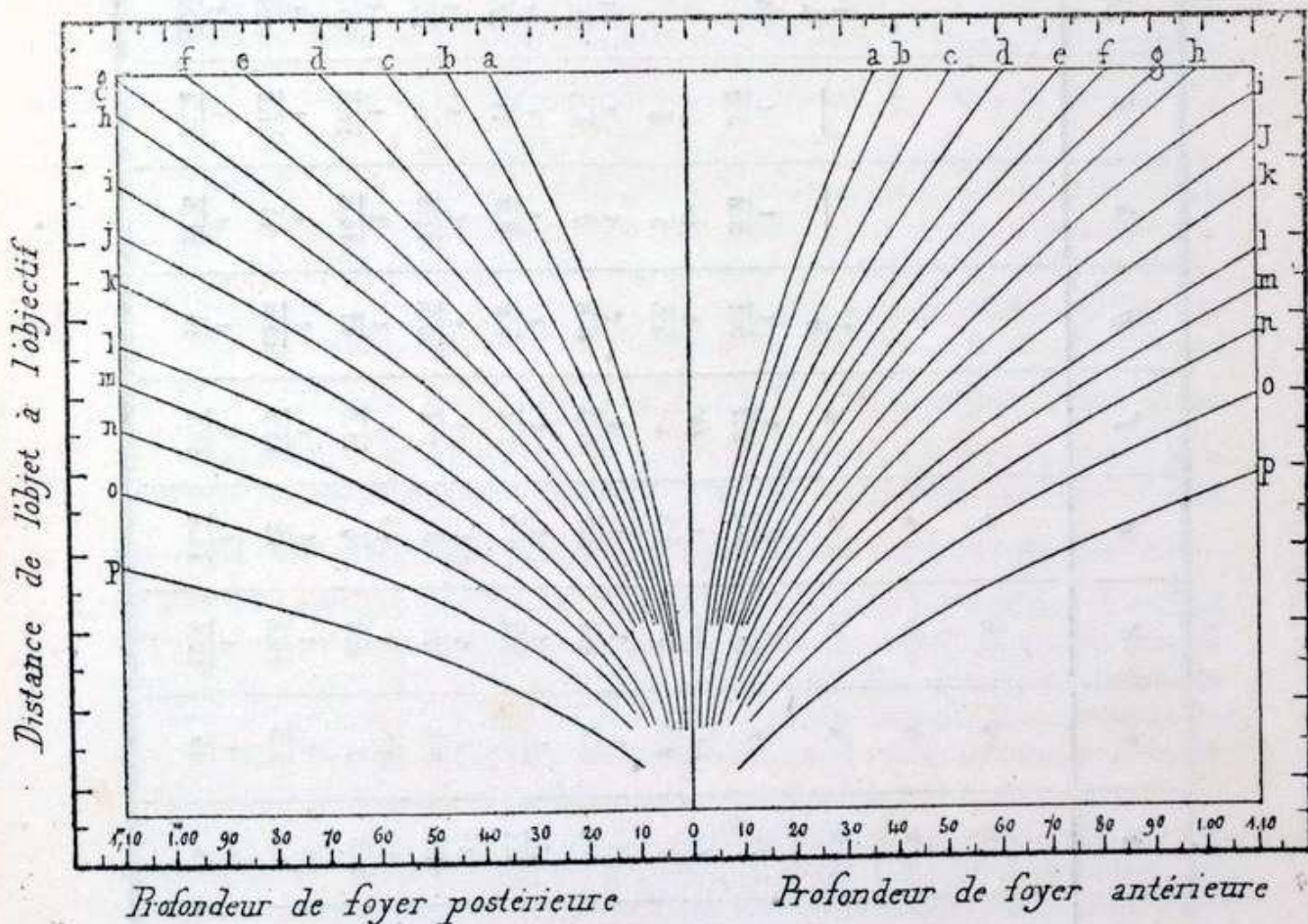


Fig. 333.

ment les profondeurs de foyer d'un objectif sans avoir à effectuer dans chaque cas particulier un calcul spécial.

Pour se servir de cette table et du graphique, on opère de la manière sui-

DISTANCES focales en centimètres.	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
10	»	»	»	»	»	»	$\frac{1^*}{2}$	—	—	$\frac{1^*}{3}$	$\frac{1^*}{3.5}$	—	—	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{1^*}{3}$
15	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{3.1}$	—	—	$\frac{1}{4.7}$	$\frac{1}{5.6}$	—	—	—	$\frac{1}{4.5}$	—
20	»	»	»	»	»	»	$\frac{1}{4.5}$	—	—	$\frac{1^*}{6.9}$	$\frac{1}{8.1}$	—	$\frac{1^*}{5}$	$\frac{1^*}{6}$	$\frac{1^*}{8}$	—
25	»	»	»	$\frac{1}{2.1}$	$\frac{1}{2.4}$	$\frac{1}{2.7}$	$\frac{1}{3.1}$	$\frac{1}{3.6}$	$\frac{1}{4.2}$	$\frac{1}{4.7}$	$\frac{1}{5.6}$	$\frac{1}{6.9}$	$\frac{1}{7.8}$	$\frac{1}{9.6}$	$\frac{1}{12}$	—
30	»	$\frac{1^*}{2}$	$\frac{1}{2.4}$	$\frac{1^*}{3}$	$\frac{1}{3.5}$	$\frac{1^*}{4}$	$\frac{1}{4.5}$	$\frac{1^*}{5}$	$\frac{1^*}{6}$	$\frac{1}{6.9}$	$\frac{1}{8.1}$	$\frac{1^*}{10}$	$\frac{1}{11.5}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{18.5}$	—
35	$\frac{1}{2.3}$	$\frac{1}{2.6}$	$\frac{1}{3.3}$	$\frac{1}{4.1}$	$\frac{1}{4.7}$	$\frac{1}{5.4}$	$\frac{1}{6.6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8.3}$	$\frac{1}{9.5}$	$\frac{1}{11.1}$	$\frac{1}{13.8}$	$\frac{1}{15.7}$	$\frac{1}{19.2}$	$\frac{1}{25.5}$	—
40	$\frac{1^*}{3}$	$\frac{1}{3.4}$	$\frac{1}{4.4}$	$\frac{1}{5.4}$	$\frac{1}{6.2}$	$\frac{1}{7.1}$	$\frac{1}{8.2}$	$\frac{1}{9.3}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{12.4}$	$\frac{1}{14.6}$	$\frac{1}{18.2}$	$\frac{1}{20.7}$	$\frac{1}{25.5}$	$\frac{1}{33.7}$	—
45	$\frac{1}{3.5}$	$\frac{1}{4.4}$	$\frac{1}{5.6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9.1}$	$\frac{1}{10.5}$	$\frac{1}{11.9}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{15.8}$	$\frac{1}{18.6}$	$\frac{1}{23.2}$	$\frac{1}{26.5}$	$\frac{1}{32.6}$	$\frac{1}{43.2}$	—
50	$\frac{1}{4.4}$	$\frac{1}{5.5}$	$\frac{1^*}{7}$	$\frac{1}{8.6}$	$\frac{1^*}{10}$	$\frac{1}{11.3}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{14.8}$	$\frac{1}{17.4}$	$\frac{1}{19.7}$	$\frac{1}{23.2}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{33}$	$\frac{1}{40.8}$	$\frac{1}{54}$	—
55	$\frac{1}{5.4}$	$\frac{1}{6.6}$	$\frac{1}{8.5}$	$\frac{1}{10.5}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{13.8}$	$\frac{1}{15.8}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{21.2}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{28.3}$	$\frac{1}{35.4}$	$\frac{1}{40.3}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{66}$	—
60	$\frac{1}{6.5}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{12.6}$	$\frac{1}{14.4}$	$\frac{1}{16.5}$	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{21.6}$	$\frac{1}{25.4}$	$\frac{1}{28.9}$	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{42.6}$	$\frac{1}{48.5}$	$\frac{1}{60}$	—	—

vante : on considère dans la table la ligne correspondant à la distance focale principale F de l'objectif; on parcourt cette ligne jusqu'à ce que l'on rencontre le rapport de clarté donné $\frac{1}{n}$, ou le nombre qui s'en rapproche le plus; puis, remontant la colonne où figure ce nombre, on trouve à la ligne supérieure une lettre qui indique à quelle courbe du graphique l'on doit se reporter. Consultant alors le graphique, on considère la ligne horizontale correspondant à la distance donnée de l'objet à l'objectif. On parcourt cette ligne jusqu'aux points où elle rencontre les courbes auxquelles on doit se reporter. En mesurant sur l'échelle à la base du graphique la distance de ces points à la verticale passant par le point o , on obtient les profondeurs postérieures et antérieures du foyer.

Prenons par exemple l'objectif 3B de Dallmeyer, diaphragmé à $\frac{f}{6}$; on a donc $\frac{1}{n} = \frac{1}{6}$. Nous voulons avec cet instrument photographier un objet situé à 7 mètres; quelles sont, dans ces conditions, les profondeurs de foyer de cet objectif?

Cherchons dans la colonne des distances focales le nombre 30 centimètres; sur la même ligne horizontale nous trouvons $\frac{1}{6}$ dans la colonne i : nous devons donc nous reporter aux courbes i du graphique (*fig. 333*). En parcourant la ligne horizontale du graphique correspondant à la distance de 7 mètres à compter verticalement, nous rencontrons les courbes i en des points qui donnent pour les profondeurs postérieure et antérieure 0^m69 et 0^m57.

Les rapports de clarté, marqués d'une astérisque dans le tableau, indiquent que pour ces chiffres les courbes donnent des résultats exacts. Par exemple, dans la colonne h , le rapport de clarté $\frac{1}{5}$ correspondant à un foyer de 30 centimètres est marqué de ce signe; ceci veut dire que la courbe h a été tracée en supposant que l'objectif avait 30 centimètres de foyer et que son rapport de clarté était égal à $\frac{1}{5}$. Cette courbe h représente donc *exactement* les variations des foyers. Lorsqu'on est appelé à considérer la courbe h dans d'autres circonstances, on n'obtient que des résultats approximatifs mais d'une exactitude bien suffisante si on considère que les profondeurs de foyer dépendent de la netteté des images: cette netteté, nous venons de le voir, est un élément nécessairement incertain et varie suivant la distance à laquelle on examine les images.

C'est pour ce motif que plusieurs auteurs admettent qu'en pratique la profondeur de foyer antérieure est égale à la profondeur postérieure, la profondeur totale étant le double de l'une d'elles. Il est inutile de considérer ces divers éléments dans le cas des objectifs à portraits.

Dallmeyer a calculé le tableau **171 — B** indiquant les profondeurs postérieures du point sur lequel on a mis au foyer: ces profondeurs ne s'appliquent qu'au centre de la plaque ou de l'image. Pour avoir les meilleurs résultats, les objets latéraux doivent être rapprochés de l'objectif et les objets centraux doivent s'en trouver plus éloignés, c'est-à-dire qu'on doit

DISTANCE FOCALE PRINCIPALE	RAPPORTS DE CLARTÉ	TEMPS DE POSE RELATIFS	DISTANCE DE L'OBJET EN MÈTRES						
			3.047	3.656	4.266	4.875	5.485	6.094	7.313
			PROFONDEUR DE FOYER EN ARRIÈRE DE L'OBJET SUR LEQUEL S'EST FAITE LA MISE AU POINT						
0.152	1/2	4	0.177	0.278	0.405	0.531	0.708	0.885	1.316
	1/3	9	0.304	0.455	0.632	0.860	1.088	1.442	2.201
	1/4	16	0.405	0.607	0.835	1.214	1.569	1.923	2.935
	1/5	25	0.430	0.759	1.063	1.442	1.796	2.403	3.668
	1/6	36	0.607	0.911	1.265	1.720	2.176	2.884	4.402
	1/7	49	0.708	1.063	1.467	1.999	2.530	3.365	5.136
	1/10	100	1.012	1.518	2.100	2.859	3.618	4.807	7.337
0.228	1/2	4	0.076	0.114	0.164	0.202	0.278	0.534	0.506
	1/3	9	0.101	0.177	0.253	0.329	0.460	0.531	0.810
	1/4	16	0.126	0.228	0.329	0.430	0.582	0.708	1.088
	1/5	25	0.177	0.304	0.430	0.557	0.708	0.885	1.341
	1/6	36	0.202	0.354	0.506	0.658	0.860	1.063	1.619
	1/7	49	0.228	0.405	0.582	0.759	0.987	1.240	1.872
	1/10	100	0.329	0.582	0.835	1.088	1.417	1.771	2.682
0.331	1/3	9	0.063	0.114	0.133	0.177	0.228	0.304	0.430
	1/4	16	0.076	0.126	0.177	0.228	0.304	0.405	0.582
	1/5	25	0.088	0.177	0.202	0.304	0.379	0.506	0.708
	1/6	36	0.101	0.202	0.253	0.354	0.455	0.607	0.860
	1/7	49	0.126	0.228	0.304	0.405	0.531	0.708	1.012
	1/10	100	0.177	0.329	0.430	0.582	0.759	1.012	1.417
	0.379	1/3	9	0.038	0.057	0.082	0.107	0.171	0.177
1/4		16	0.051	0.076	0.101	0.126	0.202	0.228	0.329
1/5		25	0.063	0.082	0.126	0.177	0.253	0.304	0.405
1/6		36	0.076	0.114	0.152	0.202	0.304	0.354	0.506
1/7		49	0.088	0.117	0.177	0.228	0.354	0.405	0.658
1/10		100	0.126	0.168	0.253	0.329	0.506	0.582	0.835
0.455		1/4	16	0.032	0.051	0.073	0.098	0.126	0.158
	1/5	25	0.038	0.063	0.092	0.123	0.158	0.202	0.297
	1/6	39	0.047	0.076	0.107	0.145	0.190	0.237	0.354
	1/7	49	0.057	0.088	0.126	0.171	0.221	0.278	0.411
	1/10	100	0.079	0.126	0.180	0.247	0.316	0.405	0.588
0.531	1/4	16	0.025	0.032	0.051	0.067	0.073	0.101	0.168
	1/5	25	0.032	0.041	0.063	0.082	0.088	0.126	0.209
	1/6	36	0.038	0.051	0.076	0.101	0.107	0.152	0.253
	1/7	49	0.044	0.057	0.088	0.117	0.126	0.177	0.294
	1/10	100	0.063	0.082	0.126	0.168	0.180	0.253	0.421
0.637	1/4	16	0.016	0.025	0.038	0.041	0.063	0.082	0.126
	1/5	25	0.019	0.032	0.047	0.054	0.079	0.101	0.158
	1/6	36	0.022	0.038	0.057	0.063	0.095	0.126	0.190
	1/7	49	0.025	0.044	0.067	0.076	0.110	0.145	0.221
	1/10	100	0.038	0.063	0.095	0.104	0.158	0.205	0.316

les disposer sur une ligne courbe, suivant la courbure de champ produite par l'objectif.

Supposons que l'on se serve de l'objectif 4B de Dallmeyer dont le foyer est 0^m15, muni d'un diaphragme de 0^m05. Le rapport de clarté est $\frac{1}{3}$: le modèle est placé à la distance de 3^m656 ; c'est sur un objet placé à cette distance que s'est effectuée la mise au point. On demande la profondeur de foyer en arrière de ce point.

Nous trouvons dans la colonne des distances focales principales 0^m152, dans les rapports de clarté $\frac{1}{3}$ dans la colonne verticale indiquant la distance de l'objet en mètres 3^m656, nous trouvons sur la même horizontale que $\frac{1}{3}$ 0^m455 pour la profondeur de foyer cherchée. — Si ce même objectif était employé avec un diaphragme de 0^m025, le rapport de clarté serait $\frac{1}{6}$, et dans les conditions précédentes, la profondeur de foyer serait 0^m911. Les temps de pose seraient 9 dans le premier cas, 36 dans le second.

Le tableau précédent est calculé en supposant que le diamètre du cercle de confusion est égal à 0^m00025 = $\frac{1}{100}$ de pouce anglais; ceci est suffisant si les épreuves sont examinées à la distance moyenne d'environ 0^m35. Mais si les épreuves sont très petites, elles sont en général examinées à une distance inférieure à 0^m35 et, dans ce cas, le cercle de diffusion toléré doit avoir un diamètre plus petit. Au contraire, s'il s'agit d'épreuves de grandes dimensions, épreuves que l'on regarde à une distance de 1 mètre à 2 mètres, le cercle de diffusion toléré peut avoir un diamètre beaucoup plus grand sans que l'observateur cesse de percevoir *nettement* les détails de l'image.

La *netteté* est donc relative. Il serait utile de s'entendre pour savoir ce que l'on doit entendre par *image nette*. Nous avons formulé notre opinion à ce sujet (41), en tant que *netteté* à demander aux objectifs de foyer moyen (de 0^m20 à 0^m40).

Les divers tableaux précédents montrent que la profondeur de foyer diminue rapidement quand le foyer s'allonge ou que la grandeur de l'image augmente. C'est ainsi que, pour un objectif de 0^m60 de foyer possédant à toute ouverture un rapport de clarté égal à $\frac{1}{4}$, la profondeur de foyer a 3^m656 n'est que 0^m025 et la profondeur totale est sensiblement 0^m050, profondeur de foyer insuffisante pour obtenir un portrait. Ceci montre pourquoi les grandes épreuves sont toujours inférieures aux petites comme *netteté* et pourquoi il est utile d'employer un objectif de foyer *aussi court* que le comporte la dimension de la plaque employée si l'on veut obtenir rapidement des images possédant une grande profondeur de foyer.

On voit donc que les diaphragmes judicieusement employés sont d'une très grande utilité pour le photographe; mais il ne faudrait pas croire qu'ils puissent corriger tous les défauts inhérents à un objectif. On peut dire que *le meilleur objectif est celui qui opère avec le plus grand diaphragme* ¹.

1. Dallmeyer, *Du choix et de l'emploi des objectifs photographiques*.

172. Dimensions des lignes et des surfaces conjuguées.

— Les tableaux précédents montrent qu'à partir d'une certaine distance la profondeur de foyer varie fort peu. Il est important d'examiner comment varient les dimensions de l'image. Une ligne droite de longueur O située dans un plan focal déterminé a pour image une droite de longueur I situé dans le plan focal conjugué du premier. Désignons par p la distance de l'objet à l'objectif, p' la distance de l'objectif à l'écran, f le foyer de l'objectif; il est facile de voir que

$$\frac{O}{I} = \frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f} = \frac{p - f}{f}.$$

Pour un objet placé à une distance infinie l'image est nulle; l'objet se rapprochant de l'objectif, son image grandit, et pour $p = 2f$ l'image est égale à l'objet. L'objet se rapprochant davantage de l'objectif, l'image devient plus grande que l'objet, et pour $p = f$ elle est infiniment grande et infiniment éloignée.

De là résulte que les objectifs photographiques ne peuvent être employés que pour $p > f$. Le rapport $\frac{O}{I}$ est positif, l'image est toujours réelle.

Remarquons ici que nous devons entendre par distance d'un *point-objet* à un objectif la distance de ce point-objet au *point nodal d'incidence*, et par distance d'un *point-image* à un objectif, la distance de ce point-image au *point nodal d'émergence*.

Une surface S contenue dans un plan focal déterminé a pour image une surface S' contenue dans le plan focal conjugué du premier. Désignons par O la longueur d'une droite tracée dans la surface S , I la longueur de son image; on aura

$$\frac{S}{S'} = \left(\frac{O}{I}\right)^2 = \left(\frac{f}{p' - f}\right)^2 = \left(\frac{p - f}{f}\right)^2.$$

Ces diverses relations permettent d'obtenir la valeur du rapport $\frac{O}{I}$ en fonction de f et de p ou de p' ; elles permettent aussi de résoudre le problème inverse et de trouver les valeurs de p et de p' en fonction de f et du rapport $\frac{O}{I}$. Des relations précédentes, on déduit

$$p = f \left(1 + \frac{O}{I}\right) \quad p' = f \left(1 + \frac{I}{O}\right).$$

En pratique, l'on a toujours besoin de connaître les valeurs des quantités p et p' . Ces quantités indiquent à l'opérateur la distance à laquelle il doit placer le modèle de l'objectif pour avoir une image d'une grandeur déterminée et la longueur du tirage de la chambre noire pour que l'objectif soit agrandi un certain nombre de fois.

Secretan¹ a calculé le tableau **172—A** donnant les valeurs de p et de p' en fonction des quantités dont elles dépendent : ce tableau permet d'éviter le petit calcul nécessaire pour chaque cas particulier.

Pour se servir de ce tableau, on considère la ligne horizontale correspondant à la distance focale principale de l'objectif que l'on emploie ; puis on cherche dans la colonne en tête de laquelle est inscrite la valeur donnée du rapport $\frac{O}{I}$. A l'intersection de la ligne et de la colonne, on trouve deux nombres. Le nombre supérieur indique la distance p de l'objet à l'objectif, et le nombre inférieur donne la distance p' de l'image à l'objectif.

Les distances p et p' étant proportionnelles à f , une opération approchée peut donner les valeurs de p et de p' pour les distances focales principales qui ne sont pas indiquées dans le tableau. Supposons, par exemple, que l'on se serve d'un objectif de 0^m43 de foyer : on veut, avec cet instrument, obtenir une image qui soit le tiers de l'objet ; on désire connaître les distances de l'objet et de l'image à l'objectif. On prendra les nombres 0,40 et 0,50 entre lesquels est comprise la distance focale de l'objectif. Pour un accroissement de 0^m10 dans la distance focale, la distance de l'objet à l'objectif s'accroît de 0^m40 (différence entre 2^m00 et 1^m60). Pour 0^m01 d'augmentation dans la distance focale, l'accroissement sera 0^m04, et pour 0^m03 elle sera 0^m04 \times 3 = 0^m12 ; donc, pour 0^m43 de longueur focale, la distance de l'objet à l'objectif sera 1^m60 + 0^m12 = 1^m72.

La distance de l'image à l'objectif est 0^m53 pour un objectif dont la longueur focale est 0^m40 ; elle est 0^m67 pour l'objectif de 0^m50 de foyer. Il y a donc un accroissement égal à 0^m67 — 0^m53 = 0^m14 pour une augmentation de 0^m10 dans la longueur focale, soit 0^m014 par centimètre d'augmentation ; donc, pour 0^m03 de plus dans la longueur focale, il y aura 0^m042, soit 0^m572 pour distance de l'image à l'objectif.

173. Emploi d'un graphique. — Afin de montrer d'une manière continue comment varient les distances focales conjuguées avec le rapport $\frac{O}{I}$ et la distance focale principale de l'objectif, M. de la Baume-Pluvinel use d'un graphique (*fig. 334*). Pour se servir de ce graphique, on considère la ligne horizontale correspondant à la distance focale principale de l'objectif que l'on emploie ; on parcourt cette ligne de gauche à droite jusqu'à ce que l'on rencontre la première oblique, à la base de laquelle figure la valeur donnée du rapport $\frac{O}{I}$. Le point d'intersection de la ligne horizontale et de cette oblique indique la position que doit occuper l'objet par rapport à l'objectif, qui est supposé se trouver sur la ligne verticale passant par le zéro. Donc, en mesurant sur l'échelle qui se trouve à la

1. *De la distance focale des systèmes optiques convergents*, 1855.

	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/15	1/20	1/25	1/30
0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,60	2,10	2,60	3,10
	0,20	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	2,40	3,15	3,90	4,65
	0,30	0,23	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16
0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	3,20	4,20	5,20	6,20
	0,40	0,30	0,27	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21
0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	4,00	5,25	6,50	7,75
	0,50	0,38	0,33	0,31	0,30	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26
0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30	4,80	6,30	7,80	9,30
	0,60	0,45	0,40	0,38	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31
0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	3,50	3,85	5,60	7,35	9,10	10,85
	0,70	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36
0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	6,40	8,40	10,40	12,40
	0,80	0,60	0,53	0,50	0,48	0,47	0,47	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,42	0,41
0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50	4,95	7,20	9,45	11,70	13,95
	0,90	0,68	0,60	0,56	0,54	0,53	0,51	0,51	0,50	0,50	0,48	0,47	0,47	0,47
0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	8,00	10,50	13,00	15,50
	1,00	0,75	0,67	0,63	0,60	0,58	0,57	0,56	0,55	0,55	0,53	0,53	0,52	0,52
0,55	1,10	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40	4,95	5,50	6,05	8,80	11,55	14,30	17,05
	1,10	0,83	0,73	0,69	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,59	0,58	0,57	0,57
0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60	9,60	12,60	15,60	18,60
	1,20	0,90	0,80	0,75	0,72	0,70	0,69	0,68	0,66	0,66	0,64	0,63	0,62	0,62
0,65	1,30	1,95	2,60	3,25	3,90	4,55	5,20	5,85	6,50	7,15	10,40	13,65	16,90	20,15
	1,30	0,98	0,87	0,81	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72	0,72	0,69	0,68	0,68	0,67
0,70	1,40	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	7,70	11,20	14,70	18,20	21,70
	1,40	1,05	0,93	0,87	0,84	0,82	0,80	0,79	0,77	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72
0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50	8,25	12,00	15,75	19,50	23,25
	1,50	1,13	1,00	0,94	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83	0,83	0,80	0,79	0,78	0,77
0,80	1,60	2,40	3,30	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,00	8,80	12,80	16,80	20,80	24,80
	1,60	1,20	1,07	1,00	0,96	0,93	0,91	0,90	0,88	0,88	0,85	0,84	0,83	0,83
0,85	1,70	2,55	3,40	4,25	5,10	5,95	6,80	7,65	8,50	9,35	13,60	17,85	22,10	26,35
	1,70	1,28	1,13	1,06	1,02	0,99	0,97	0,96	0,94	0,94	0,91	0,89	0,88	0,88
0,90	1,80	2,70	3,60	4,50	5,40	6,30	7,20	8,10	9,00	9,90	14,40	18,90	23,40	27,90
	1,80	1,35	1,20	1,12	1,08	1,05	1,03	1,01	0,99	0,99	0,96	0,95	0,94	0,93
0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,70	6,65	7,60	8,55	9,50	10,45	15,20	19,95	24,70	29,45
	1,90	1,43	1,27	1,19	1,14	1,11	1,09	1,07	1,05	1,05	1,01	1,00	0,99	0,98
1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	16,00	21,00	26,00	31,00
	2,00	1,50	1,33	1,25	1,20	1,17	1,14	1,15	1,10	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03

	1/40	1/50	1/60	1/70	1/80	1/90	1/100	1/120	1/140	1/160	1/180	1/200
0,40	4,40 0,10	5,40 0,10	6,40 0,10	7,40 0,10	8,40 0,10	9,40 0,10	10,40 0,10	12,40 0,10	14,40 0,10	16,40 0,10	18,40 0,10	20,40 0,10
0,45	6,45 0,15	7,65 0,15	9,45 0,15	10,65 0,15	12,45 0,15	13,65 0,15	15,15 0,15	18,15 0,15	21,15 0,15	24,15 0,15	27,15 0,15	30,15 0,15
0,20	8,20 0,21	10,20 0,20	12,20 0,20	14,20 0,20	16,20 0,20	18,20 0,20	20,20 0,20	24,20 0,20	28,20 0,20	32,20 0,20	36,20 0,20	40,20 0,20
0,25	10,25 0,26	12,75 0,26	15,25 0,25	17,75 0,25	20,25 0,25	22,75 0,25	25,25 0,25	30,25 0,25	35,25 0,25	40,25 0,25	45,25 0,25	50,25 0,25
0,30	12,30 0,31	15,30 0,31	18,30 0,31	21,30 0,30	24,30 0,30	27,30 0,30	30,30 0,30	36,30 0,30	42,30 0,30	48,30 0,30	54,30 0,30	60,30 0,30
0,35	14,35 0,36	17,85 0,36	21,35 0,36	24,85 0,36	28,35 0,35	31,85 0,35	35,35 0,35	42,35 0,35	49,35 0,35	56,35 0,35	63,35 0,35	70,35 0,35
0,40	16,40 0,44	20,40 0,44	24,40 0,44	28,40 0,44	32,40 0,44	36,40 0,40	40,40 0,40	48,40 0,40	56,40 0,40	64,40 0,40	72,40 0,40	80,40 0,40
0,45	18,45 0,46	22,95 0,46	27,45 0,46	31,95 0,46	36,45 0,46	40,95 0,46	45,45 0,45	54,45 0,45	63,45 0,45	72,45 0,45	81,45 0,45	90,45 0,45
0,50	20,50 0,51	25,50 0,51	30,50 0,51	35,50 0,51	40,50 0,51	45,50 0,51	50,50 0,51	60,50 0,50	70,50 0,50	80,50 0,50	90,50 0,50	100,50 0,50
0,55	22,55 0,56	28,05 0,56	33,55 0,56	39,05 0,56	44,55 0,56	50,05 0,56	55,55 0,56	66,55 0,55	77,55 0,55	88,55 0,55	99,55 0,55	110,55 0,55
0,60	24,60 0,62	30,60 0,61	36,60 0,61	42,60 0,61	48,60 0,61	54,60 0,61	60,60 0,61	72,60 0,61	84,60 0,60	96,60 0,60	108,60 0,60	120,60 0,60
0,65	26,65 0,67	33,15 0,66	39,65 0,66	46,15 0,66	52,65 0,66	59,15 0,66	65,65 0,66	78,65 0,66	91,65 0,65	104,65 0,65	117,65 0,65	130,65 0,65
0,70	28,70 0,72	35,70 0,71	42,70 0,71	49,70 0,71	56,70 0,71	63,70 0,71	70,70 0,71	84,70 0,71	98,70 0,71	112,70 0,70	126,70 0,70	140,70 0,70
0,75	30,75 0,77	38,25 0,77	45,75 0,76	53,25 0,76	60,75 0,76	68,25 0,76	75,75 0,76	90,75 0,76	105,75 0,76	120,75 0,75	135,75 0,75	150,75 0,75
0,80	32,80 0,82	40,80 0,82	48,80 0,81	56,80 0,81	64,80 0,81	72,80 0,81	80,80 0,81	96,80 0,81	112,80 0,81	128,80 0,81	144,80 0,80	160,80 0,80
0,85	34,85 0,87	43,35 0,87	51,85 0,86	60,35 0,86	68,85 0,86	77,35 0,86	85,85 0,86	102,85 0,86	119,85 0,86	136,85 0,86	153,85 0,85	170,85 0,85
0,90	36,90 0,92	45,90 0,92	54,90 0,92	63,90 0,91	72,90 0,91	81,90 0,91	90,90 0,91	108,90 0,91	126,90 0,91	144,90 0,91	162,90 0,91	180,90 0,90
0,95	38,95 0,97	48,45 0,97	57,95 0,97	67,45 0,97	76,95 0,97	86,45 0,96	95,95 0,96	114,95 0,96	133,95 0,96	152,95 0,96	171,95 0,95	190,95 1,15
1,00	41,00 1,03	51,00 1,02	61,00 1,02	71,00 1,01	81,00 1,01	91,00 1,01	101,00 1,01	121,00 1,01	141,00 1,01	161,00 1,01	181,00 1,01	201,00 1,01

partie supérieure gauche de la table la distance du point d'intersection à la verticale, on obtient la distance du point-objet à l'objectif. De même, si on continue à parcourir la ligne horizontale jusqu'à sa rencontre avec la deuxième oblique, à la base de laquelle figure la valeur donnée du rapport $\frac{O}{I}$, le point d'intersection de la ligne horizontale avec cette oblique indique la position du point-image. Donc, en mesurant sur l'échelle qui se

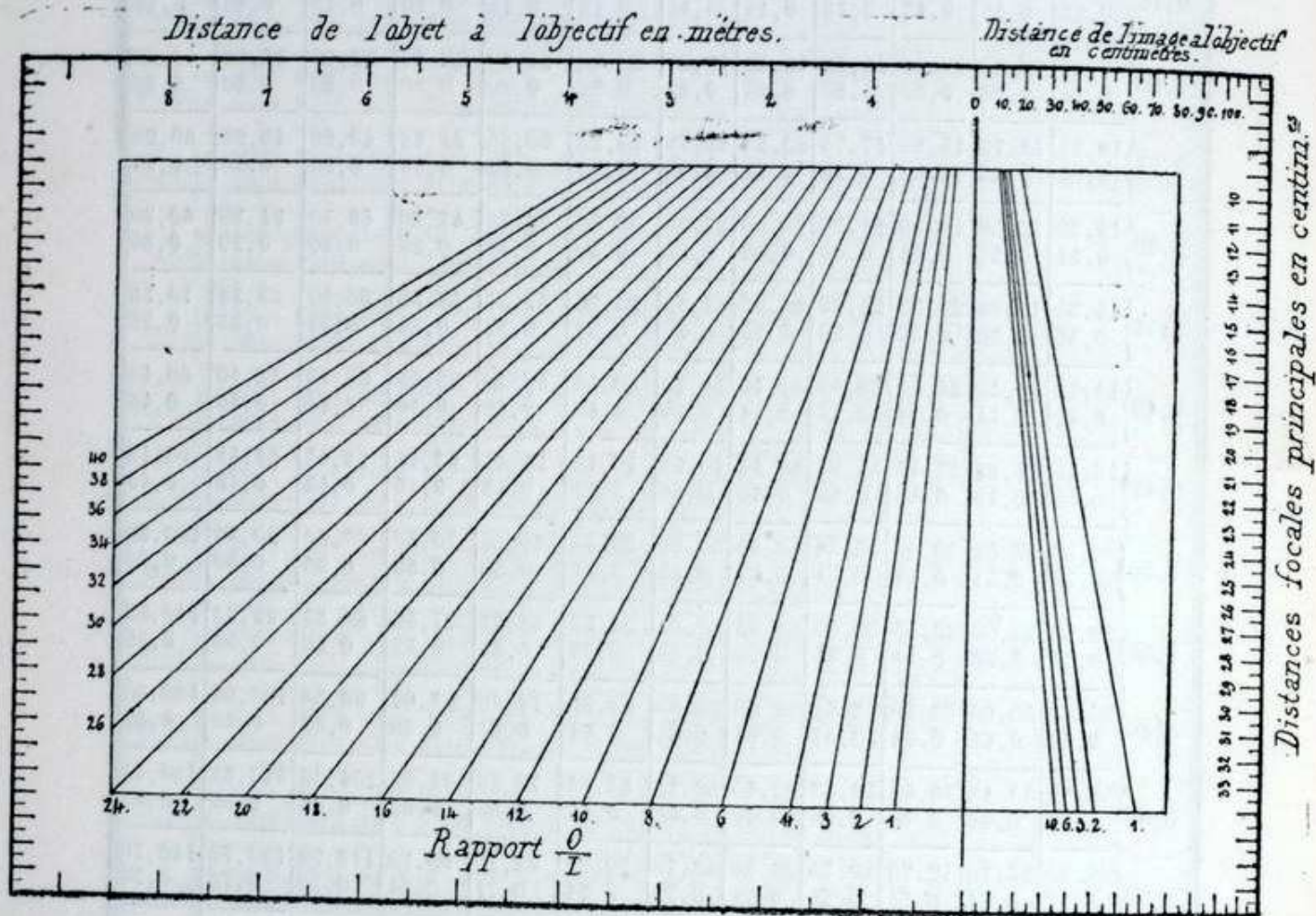


Fig. 334.

trouve à la partie supérieure droite de la table la distance du point d'intersection à la verticale passant par le zéro, on obtient la distance du point-image à l'objectif.

Si la valeur donnée du rapport $\frac{O}{I}$ était plus petite que l'unité, il faudrait considérer l'inverse de ce rapport et lire comme si l'image était l'objet et comme si l'objet était l'image. Supposons, par exemple, que l'on veuille obtenir, à l'aide d'un objectif de 0^m11 de foyer, une image huit fois plus grande que l'objet, cherchons quelles doivent être les distances de l'objet et de l'image à l'objectif. Le rapport $\frac{O}{I}$ étant plus petit que l'unité, nous prenons son inverse 8. Considérons la ligne horizontale correspondant à un objectif de 0^m11 de foyer : cette ligne rencontre la première oblique 8 en un point situé à 0^m99 de la verticale passant par le zéro. Donc, la distance

de l'image agrandie de l'objectif doit être de 0^m99 . Sur la même ligne horizontale à droite du zéro, nous rencontrons l'oblique 6 à 0^m13 de la verticale et l'oblique 10 à 0^m12 de cette verticale. On peut donc admettre que l'oblique intermédiaire 8 serait rencontrée en un point distant de 0^m125 de la verticale. Donc, la distance de l'objet à l'objectif doit être de 0^m125 .

BIBLIOGRAPHIE

Consulter les ouvrages indiqués chapitre V et chapitre VII.
