Auteur ou collectivité : Leclerc de Pulligny, Jean-Marie-Félix
Auteur : Leclerc de Pulligny, Jean-Marie-Félix (1859-1939)
Auteur secondaire : Puyo, Constant (1857-1933)
Titre : Les objectifs d'artiste : pratique et théorie des objectifs et téléobjectifs anachromatiques

Adresse : Paris : Photo-club de Paris, 1906
Collation : 1 vol. (232 p.-[6] f. de pl.) : ill. ; 19 cm
Collection : Bibliothèque de la Revue de photographie
Cote : CNAM-BIB 8 Ke 464
Sujet(s) : Objectifs photographiques ; Achromatisme
Langue : Français

Date de mise en ligne : 03/10/2014
Date de génération du PDF : 26/9/2017

Permalien : http://cnum.cnam.fr/redir?8KE464

BIBLIOTHÈQUE DE
LA REVUE DE
PHOTOGRAPHIE

L. DE PULLIGNY
C. PUYO

LES OBJECTIFS D'ARTISTE

PARIS
PHOTO-CLUB DE PARIS
44, Rue des Mathurins
1906

Hommage d'un des auteurs

BIBLIOTHÈQUE
DE LA REVUE DE PHOTOGRAPHIE

L. DE PULLIGNY = C. PUYO

LES

OBJECTIFS D'ARTISTE

PRATIQUE ET THÉORIE
DES OBJECTIFS ET TÉLÉOBJECTIFS
ANACHROMATIQUES

PARIS
PHOTO-CLUB DE PARIS
44, Rue des Mathurins
1906

AVERTISSEMENT

Le premier soin des auteurs de ce petit livre a été de le diviser en deux parties, afin de rejeter dans la seconde tout ce qui, théories mathématiques ou calculs, semblait le moins du monde susceptible d'effaroucher les lecteurs brouillés avec les quatre règles.

La première partie ne renferme donc que les quelques formules d'application nécessaires à l'usage des objectifs anachromatiques, et, par suite, peut être lue par tous les amateurs, si nombreux aujourd'hui, qui s'intéressent à la photographie artistique.

Ils y trouveront, exposés avec le plus de simplicité possible, les résultats des essais divers effectués depuis quelque trois ans, en vue de créer des types d'objectifs propres à rendre la nature d'une façon autre et esthétiquement meilleure que ne le font les objectifs strictement corrigés.

Il n'est pas question de supprimer ces derniers qui, dans les importants domaines de la photographie documentaire et de la photographie scientifique, demeureront sans rivaux et règneront sans partage. Les ambitions de l'objectif anachromatique se bornent au domaine de la

Photographie pictoriale ; mais on peut penser et l'on doit dire qu'ainsi limitées ces ambitions sont légitimes.

Tout genre particulier exige, en effet, des instruments spécialisés ; le progrès est à ce prix. Or jusqu'ici le Photographe pictorial n'a eu entre les mains que des outils, merveilleux sans doute, mais qui n'ont pas été faits spécialement pour son usage. C'est à créer ces outils que nous nous sommes appliqués ; ceux que nous proposons ont le grand avantage d'être éminemment simples ; même certains paraîtront peut-être rudimentaires ; mais à tout il faut un commencement. L'avenir se chargera bien de compléter la tâche ébauchée et de faire lever la semence si elle est féconde.

Tels qu'ils sont d'ailleurs, ces objectifs peuvent déjà faire bonne besogne. Et n'envions pas trop les photographes de demain. Les instruments mis à leur service seront plus perfectionnés sans doute ; mais que sera devenue leur belle simplicité ?

L. de P. — C. P.

PREMIÈRE PARTIE

PRATIQUE DES OBJECTIFS ANACHROMATIQUES

DÉFINITION

DE LA

PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE

ELLE EST UNE ASPIRATION VERS LA SYNTHÈSE

Avant de nous mettre à la recherche d'un objectif pour artistes, peut-être n'est-il pas superflu de fixer nos idées sur le but à atteindre, en définissant les besoins de la Photographie dite Artistique, que les Anglais appellent d'un mot plus précis, la Photographie Pictoriale.

Pour ce faire, opposons au Photographe pictorial le Photographe classique, et voyons en quoi diffèrent et leurs tendances et leurs façons d'agir.

Ce Photographe classique, nous le supposons homme de goût, expert en son métier, et possesseur d'un appareil excellent, armé d'un anastigmat de grande clarté. Il transporte, un jour, cet appareil devant un site qu'il a longuement choisi, qu'il juge pittoresque et dont l'éclairage lui semble bon ; là, il détermine avec précision le point de vue, soigne la mise en plaque du motif, met savamment au point en jouant de la bascule et du diaphragme ; il a dans ses châssis des plaques admirables — encore à trouver — dont la sensibilité est semblable à celle de l'œil humain, qui vont, par suite, traduire les couleurs du sujet en valeurs exactes... Il déclenche son obturateur. Puis, rentré dans le cabinet noir, il révèle avec sa sûreté coutumière un merveilleux négatif dont il tire enfin — sur albuminé, citrate, platine ou charbon — une *réplique positive exacte,* — insistons sur ce mot *exacte,* parce que, comme nous le verrons, il est presque toute la question ; épreuve d'ailleurs de ton agréable, de technique irréprochable, qu'il peut caresser d'un œil complaisant et que tout autre peut contempler sans ennui, voire même avec quelque plaisir.

L'épreuve ainsi obtenue, produit d'un goût éclairé que soutient une technique sûre, est-elle une œuvre d'art?

Ceux qui en discutent ont tendance à confondre deux choses qui, pour avoir des points communs, ne sont cependant pas identiques. *Faire de la Photographie avec art* est une chose ; *faire de l'Art par le moyen de la Photographie* en est, sans doute, une autre. Que l'on puisse faire de la Photographie avec art, cela n'est pas douteux et c'est déjà fort joli, et tout le monde n'y arrive pas ; le bon portrait sortant d'un atelier professionnel, produit collectif par suite industriel, est une photographie faite avec art. Mais qu'une œuvre ainsi obtenue soit à proprement parler une œuvre d'art, cela, pour tout esprit impartial, est moins sûr ; paraît beaucoup moins sûr si l'on veut bien se reporter, comme il convient, aux définitions diverses de l'œuvre d'art : Expression d'un tempérament, — Interprétation de la nature, — Déformation systématique et voulue du réel... Il est permis, en effet, de se demander si, au cours des opérations diverses qui ont été énumérées plus haut, l'œuvre a pu recevoir de la main de l'exécutant une suffisante empreinte, s'il s'y trouve visible en quelque endroit, nettement visible, l'intervention décisive d'une personnalité. Toute la question est là, non ailleurs. Certes, jusqu'au moment où il a déclenché l'obturateur, le photographe a fait œuvre personnelle non négligeable : il a composé son sujet ; la composition est chose d'art ; mais ensuite? Ensuite l'automatisme du procédé est entré en scène, a parlé en maître ; entre des mains étrangères, cliché et épreuve eussent donné des résultats sensiblement identiques : pour tout dire, une fois pressé le déclic de l'obturateur, le procédé, automatiquement, s'est chargé du reste.

Cet automatisme apparaît donc au photographe pictorial comme l'adversaire qu'il doit vaincre, s'il veut, en un désir légitime, aller plus loin que le photographe classique et intervenir non plus seulement dans la *composition*, mais aussi dans la *traduction*, dans l'*interprétation* du sujet.

Donc, modifier, transformer le procédé, l'adultérer s'il est nécessaire, le violenter au besoin, de telle sorte qu'il permette à l'artiste des interventions de plus en plus multipliées, de plus en plus décisives, aux divers moments de la genèse de l'œuvre, tel est le but que va poursuivre le photographe pictorial. De la légitimité de ces actes il ne s'inquiète pas : pour lui la fin justifie les moyens ; et alors que le photographe classique tient que, le sujet étant en place, sa besogne d'artiste est terminée, le photographe pictorial estime que la sienne commence.

Cela explique qu'il ait accueilli avec joie, dès sa naissance et dès ses premiers balbutiements, un procédé tel que celui à la gomme bichromatée ; pour la première fois apparaissait la possibilité de triompher de l'automatisme, de s'évader de la prison des formules ; désormais une épreuve photographique pouvait être une épreuve *originale*, pouvait être, dans une mesure restreinte encore, appréciable cependant, une *interprétation*.

De cette liberté naissante, et qui grandira sans nul doute, l'usage est tout indiqué. Par elle il deviendra possible non seulement d'introduire dans l'œuvre une dose suffisante de personnalité, mais aussi, et parallèlement, de corriger les défauts qui apparaissent dès que l'on considère la photographie, non plus comme un pur procédé de reproduction, mais comme un *moyen d'expression ;* défauts qui constituent d'ailleurs la rançon des qualités, précieuses pour la science, de l'instrument photographique.

Quoi qu'on en puisse dire ou écrire, en effet, l'instrument photographique n'est pas apte, par sa seule vertu, à nous fournir des images rendant sensibles à nos yeux la nature et la vie. Ce qu'il peut nous donner aisément c'est le *trompe-l'œil*, l'antithèse même de l'art. L'objectif a l'âme d'un officier ministériel en mal de constat, et, pas plus qu'un inventaire n'est une œuvre littéraire, une photographie n'est, en soi, une œuvre esthétique.

C'est que l'objectif est, avant tout, un instrument d'analyse ; le rendu photographique est analytique. Or, tous les arts du dessin aspirent à la synthèse comme à leur fin naturelle, parce qu'ils sont faits non seulement pour décrire, mais, tout autant, pour suggérer. Aussi le progrès en ces matières se traduit-il par un rendu de plus en plus synthétique ; vérité banale dont l'évidence se manifeste si on oppose un Velasquez à un Mantegna, un Corot à un Claude Gellée, et sur laquelle il semble inutile d'insister davantage.

En art, — suivant le mot connu de Jules Breton, — il ne faut pas tout dire. Or l'objectif dit tout : il dénombre les feuilles des arbres, il nous force, par son insistance, à découvrir sur un visage de seize ans des rides, des taches, des tares qui, esthétiquement parlant, n'y sont point, car notre œil ne les voit pas, occupé qu'il est ailleurs, amusé par le jeu des lumières et des ombres sur les reliefs et dans les creux.

L'objectif, en un mot, ignore la synthèse.

Mais il y a plus : cette analyse implacable, l'objectif l'applique indistinctement à tous les éléments du sujet, aux marges aussi bien qu'au centre esthétique, aux objets sans importance comme aux figures intéressantes. Il est profondément égalitaire. Or, qui dit œuvre d'art dit « Ordonnance » et dit « Hiérarchie ».

L'objectif ignore ce qu'on nomme, en ces matières, les *sacrifices* et les *accents*.

Excès d'analyse, absence de sacrifices, absence d'accents, tels sont bien les défauts de l'image photographique.

Pour les faire partiellement, sinon totalement, disparaître, ce ne sera pas trop de saisir toutes les occasions qui s'offrent au cours des étapes successives ; même il faudra faire naître ces occasions ; cette conquête de la synthèse ne peut être que progressive. Mais elle s'impose si le photographe veut aller rejoindre le dessinateur et placer ses produits à côté des siens.

Que fait le dessinateur, en effet ? Il part, lui, de la synthèse, des trois ou quatre coups de crayon jetés d'abord sur la page blanche, Puis, à mesure que son crayon travaille, il descend aux détails, il analyse ; il prend, — pour parler comme jadis, — la route du Royaume d'Analyse. Mais dans ce royaume il ne pénètre pas très avant ; il s'arrête dans ces régions frontières, entre la synthèse et l'analyse, qui sont les régions de l'art. Le photographe, lui, part de l'analyse absolue que lui fournit de prime abord son instrument. S'il veut rejoindre le dessinateur il lui faut remonter la même route que celui-ci descend, marcher vers le Royaume de Synthèse. Seulement, tandis que la marche en avant du dessinateur se révèle par une création, la marche du photographe se traduira par une destruction.

Voyons maintenant comment, au cours de toutes les étapes de l'œuvre photographique, va s'exercer la poursuite continue d'un rendu de plus en plus synthétisé et de plus en plus partial ?

Ces étapes sont au nombre de trois : la composition du sujet, l'obtention du cliché, le tirage de l'épreuve.

De la composition nous ne dirons rien ; il est inutile d'insister, tout le monde est d'accord ; tout le monde fait de la synthèse, consciemment ou non, en recherchant les brumes ou les neiges qui synthétisent les arrière-plans ou les terrains, en s'attachant aux éclairages obliques ou à contre-jour qui donnent des masses, en n'introduisant dans le sujet qu'un petit nombre d'éléments et d'éléments simples, La simplification n'est pas, si l'on veut, la synthèse, mais c'est la préface obligée de la synthèse,

A l'autre bout de la route, à la troisième étape, le traitement de l'épreuve permettra d'achever la simplification ébauchée ; par le développement local de pratiquer des sacrifices et d'apposer des accents. Mais ce sujet sort de notre cadre.

Reste l'étape du cliché. Le sujet étant composé, il s'agit d'en fixer l'image. Ici l'objectif est l'intermédiaire obligé, un agent que nous pouvons choisir, mais dont, ce choix fait, l'action échappe à notre intervention.

Pouvons-nous demander à l'objectif de nous aider à faire un pas de plus sur le chemin que nous poursuivons ?

Lorsqu'un artiste peint d'après nature, s'il est myope il enlève son lorgnon, s'il a bonne vue il ferme à demi les yeux. C'est que les feuilles l'empêchent de voir l'arbre, et les arbres de voir la forêt ; son œil, trop analytique, le gêne. Pareillement les divers objectifs voient trop bien le détail infini des choses. Pouvons-nous leur demander de sacrifier sur l'autel de la synthèse l'acuité de vision dont ils sont si fiers ? et s'ils n'y consentent point, pouvons-nous aller chercher quelque serviteur plus modeste qui, à notre commandement, voudra bien cligner de l'œil ?

C'est ce que nous allons maintenant examiner.

RECHERCHE

D'UN

OBJECTIF AU RENDU SYNTHÉTISÉ

LES ABERRATIONS SONT-ELLES UTILISABLES ? EXAMEN, A CE POINT DE VUE, DES DIVERSES ABERRATIONS SPHÉRIQUES

On peut, évidemment, raisonner comme il suit : les objectifs admirables, exactement corrigés, que nous fournit la science des opticiens modernes, nous donnent, si *nous sortons des très petits formats*, des images dont l'excès de précision dans le modelé, la sécheresse dans le dessin nous sont désagréables ; car s'il est bon qu'un motif de 4 centimètres sur 6 centimètres soit défini avec une précision de 1/20 de millimètre, il est mauvais de définir avec la même précision une tête quart nature ou un paysage 24×30, et la raison indique que la largeur du rendu doit être proportionnelle à l'échelle de l'image.

Or, cette précision, cette analyse outrancière sont la conséquence de la correction quasi parfaite des aberrations. Essayons donc de voir si ces aberrations, que la science considère à juste titre comme des ennemis personnels, ne s'offriraient pas à l'art comme des auxiliaires ; si une d'entre elles au moins n'affecterait pas le rendu des objets d'une déformation, ou, pour dire mieux, d'une transformation heureuse. Un tel espoir, *a priori*, n'est pas absurde, car n'est-il pas curieux de constater que les objectifs donnant les images les plus agréables renferment précisément des résidus d'aberrations ; n'est-ce pas à l'aplanétisme imparfait que tel rectiligne ancien doit son mérite, au foyer chimique persistant que tel objectif simple doit sa douceur? Pourquoi certaine aberration, à découvrir, ne nous fournirait-elle pas ce que nous cherchons, en modifiant les images d'une façon meilleure que ne le font les artifices multiples et divers auxquels ont dû, jusqu'ici, recourir tous ceux que désole l'excessive précision de l'objectif?

Car, n'est-ce pas? l'idée de modifier le rendu photographique n'est pas nouvelle. Nombre de solutions de fortune ont été données au problème ; elles ont certains avantages, mais aussi certains inconvénients. Rappelons-les rapidement :

a) Le trou d'aiguille ou *sténopé* a trouvé de savants expérimentateurs et des vulgarisateurs enthousiastes. Il bat le *record* du bon marché, mais les sujets doivent détenir celui de la patience, car les poses se comptent par minutes... comme du temps de Daguerre. De plus, la profondeur de champ, excessive, nuit à la perspective aérienne. Enfin l'image est molle ; le flou n'est obtenu qu'aux dépens de la vigueur.

b) Les trousses bésicles du comte d'Assche ont eu leur temps de succès, mais là aussi l'ouverture relative est très petite et la pose très longue, trop longue pour permettre l'usage courant de ces instruments.

c) On peut mettre au point soigneusement un objectif quelconque, puis altérer légèrement cette mise au point exacte de façon à produire sur la glace dépolie un certain degré de flou qui se retrouvera sur le cliché. Il s'y retrouve, c'est vrai ; mais il n'est réparti uniformément ni agréablement. La courbure des surfaces focales, la profondeur variable des foyers pour les plans divers font que la netteté enlevée au motif principal reparaît le plus souvent autre part, généralement où on ne voudrait pas d'elle. L'image n'est donc pas homogène et, de plus, elle est molle, comme toujours quand intervient le flou de mise au point,

d) Ce même défaut se fait sentir lorsqu'on fait usage de ces objectifs spéciaux dans lesquels, la mise au point faite, on dérange les lentilles, donnant ainsi naissance à des résidus d'aberration qui troublent l'image. Solution bien imparfaite, solution étrange en tous cas, car, payer un objectif fort cher parce qu'il est exactement corrigé et le munir d'un dispositif rétablissant, au hasard, des aberrations supprimées à grand'peine, il faut quelque naïveté pour accepter en toute sérénité ce moyen de fortune.

e) Ne parlons pas des chiquenaudes imprimées à l'appareil pendant la pose, ni des balancements insensibles qu'on attend du modèle et qu'une pose très longue favorise, paraît-il. Ici le flou est encore plus difficile à doser, et les surprises doivent être fréquentes.

f) Pendant le tirage de la positive on peut placer une feuille mince transparente, gélatine ou celluloïd, entre le papier et le cliché. Le résultat est certain et le flou sûrement réglable ; c'est un des meilleurs procédés dont l'artiste dispose. On peut lui reprocher la difficulté de conserver les feuilles transparentes sans rayures et la complication qu'elles introduisent dans le matériel. On doit regretter surtout que le *flou* soit absolument uniforme et estompe de quantités rigoureusement égales les traits du modèle et les accessoires les moins importants.

Car ce que nous cherchons ici, précisons-le dès maintenant : ce n'est pas, à proprement parler, le *flou* qui donne au trait une mollesse cotonneuse et fait le dessin sans énergie. Le dessinateur en noir et blanc ne fait pas flou. La façon dont il rend les objets a un tout autre caractère ; et cette façon est évidemment la bonne.

Fait-il un portrait? Veut-il représenter une tête? Sauf erreur, il commence par traiter avec la précision la plus grande ce qui, dans le masque, constitue les traits les plus individuels, à savoir : l'arc de la bouche, la courbe des narines, les amandes des yeux. Cela fait, il poursuit en synthétisant : il masse les cheveux, il fond les contours; il simplifie le modelé et, parfois même, se contente de l'apposition d'accents clairs sur le fond neutre du papier. Pareillement, s'il s'agit d'un arbre, l'artiste analysera strictement l'allure du tronc, l'allure des branches, ce qui caractérise la nature de l'arbre; mais les feuilles, il ne les représentera pas une à une, il les traitera par grandes masses. S'agit-il d'un rocher, il analysera les contours, arrondis ou pointus, les cassures, les arêtes, ce qui, dans le dessin, distingue un granit d'un calcaire; mais il ne s'attachera pas au détail des taches colorées, des lèpres qui couvrent les faces ; il les résumera en larges touches.

Analyse dans ce qui est trait, synthèse dans ce qui est surface : telle semble bien être la méthode qui répond le mieux au rendu esthétique des êtres et des choses. Ce qu'il faudrait donc rechercher, c'est un dessin ferme sans dureté et d'une largeur proportionnée à l'échelle de l'image, combiné avec des surfaces nettoyées des accidents inutiles et, par suite, largement modelées.

Nos idées ainsi mieux fixées, passons maintenant en revue les diverses aberrations qui affectent les lentilles

2.

sphériques, examinons les modifications particulières qu'elles font subir aux images et l'importance de ces modifications.

1° **Courbure de la surface focale.** — Écartons la *Distorsion*, sans grande importance dans les sujets qui relèvent de la photographie artistique, et qu'il est d'ailleurs facile de faire disparaître par la symétrie du système optique et envisageons d'abord la *courbure de la surface focale.*

On sait que la lentille donne d'une droite telle que A C B, rencontrant son axe, une image courbe telle que A′ C′ B′. Par suite la glace dépolie étant placée en G C′ G′, seule l'image C′ du point C sera nette ; les points de l'image α β enregistrée par la plaque seront d'autant plus flous qu'ils sont éloignés du centre C′.

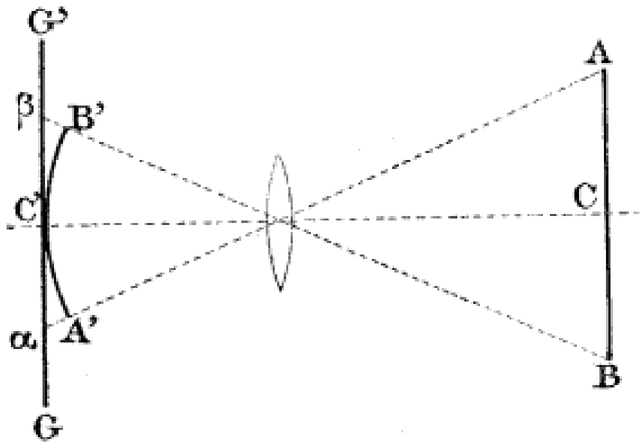


Fig. 1.

Donc, s'il s'agit de reproduire un objet plan détaillé, une carte, une façade de maison, perpendiculaire à l'axe, l'effet produit par cette aberration sera mauvais. Mais un tel cas ne se présente pas dans les études de tête, dans les études de personnages placés dans un intérieur ou en plein air. Ici il existe de nombreux plans, obliques, brisés. Et l'effet de cette courbure est alors pratiquement négligeable en présence des variations de netteté dues aux défauts de profondeur de champ ; *l'œil ne s'en aperçoit pas* et, par suite, la cause est jugée.

Même on peut se servir de cette courbure : par exemple, pour éviter l'emploi de la bascule ; en effet, tous les objets placés sur une courbe A C B étant au point sur la glace G G', si la tête d'une personne est en C, ses genoux en B, tête et genoux seront au point.

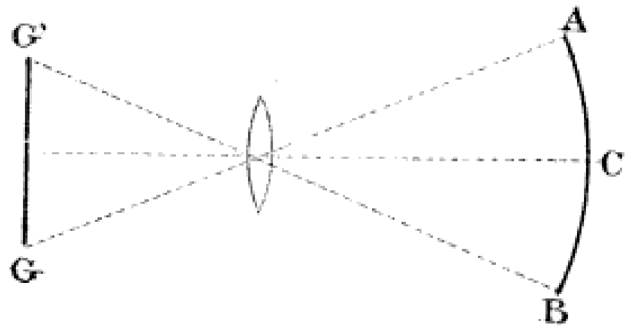


Fig. 2.

Autre application : le portrait d'une personne debout en T P. Si nous faisons passer l'axe de l'objectif par la tête T, l'image T' P_1' verra sa netteté décroître de la tête aux pieds ; la netteté du vêtement ira diminuant à partir de la tête ; d'où une accentuation du centre d'intérêt.

La courbure focale n'est sérieusement désavantageuse que dans les études de paysage. Ce qu'il faut là, c'est une variation progressive de la netteté dans les divers plans qui sont en avant et en arrière du plan d'intérêt principal, mais, dans toute l'étendue d'un plan parallèle à la glace dépolie, cette netteté doit être homogène. Elle ne l'est pas quand la surface focale est courbe, puisque la netteté décroît du centre aux bords de la

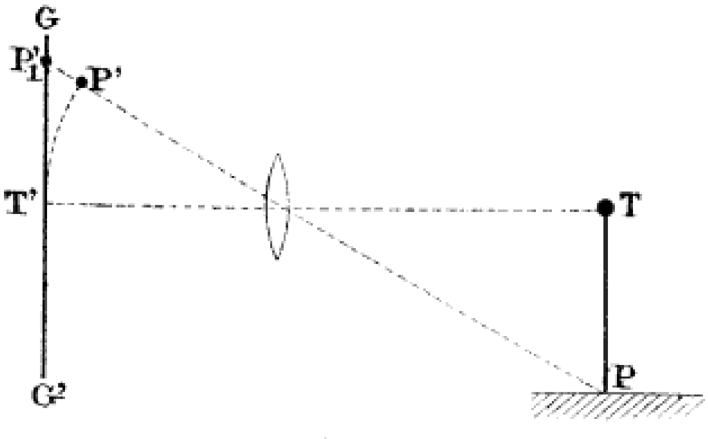


Fig. 3.

plaque, et ce défaut s'aperçoit au premier coup d'œil. Résumons :

La *courbure de la surface focale* est une aberration négligeable dans les objectifs destinés aux portraits, aux scènes animées; elle doit être, au contraire, strictement corrigée dans les objectifs destinés au paysage. *Elle est sans influence sur le rendu.* Donc cherchons ailleurs.

2° **Aberration sphérique principale. —** L'aberration sphérique principale affecte les rayons parallèles à l'axe dans les lentilles de grande ouverture relative. Elle résulte de ce que les rayons qui tombent vers les bords de la lentille forment leur foyer en F_1 plus près que ceux qui tombent au centre et qui vont concourir en F_2. Si on met la glace dépolie au point F_1 on a bien un point lumineux produit par le cône de rayons qui concourt en ce point, mais on coupe aussi, assez loin de son sommet, le cône des rayons qui concourent en F_2 et tous les cônes intermédiaires qui ont leur sommet entre F_1 et F_2.

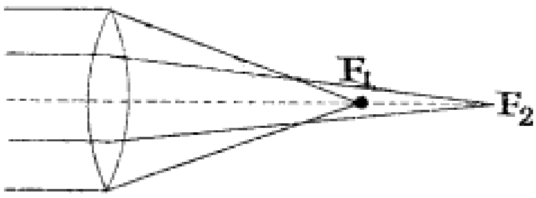


Fig. 4.

Il en résulte un épaississement cotonneux du trait qui n'est pas agréable, et on ne peut admettre cette aberration que pour une très petite part à l'œuvre de simplification que nous poursuivons.

En diaphragmant suffisamment, on peut atténuer à volonté l'aberration sphérique et en laisser juste assez pour qu'elle soit utile dans certains cas où cette réduction du diaphragme est admissible : par exemple, dans la photographie du paysage.

Ainsi, dans un objectif à paysage de 40 à 50 centimètres de longueur focale, la nécessité d'assurer une convenable profondeur de champ oblige à resserrer l'ouverture jusqu'à f : 20 ou même f : 30. Dans ces conditions, on peut utiliser une lentille plan convexe, face plane vers l'image ; avec cette disposition, très défavorable à la correction de l'aberration sphérique, celle-ci se fait sentir malgré la réduction du diaphragme et affecte la plaque d'une manière homogène dans un angle assez ouvert.

3° **Coma. Astigmatisme. —** Rigoureusement parlant, l'aberration sphérique principale ne concerne que les rayons parallèles à l'axe. Mais, quand un objectif est suffisamment corrigé de cette aberration, il l'est aussi de celle qui affecte, pour les mêmes raisons, les rayons modérément inclinés sur l'axe. Pour les rayons très inclinés sur l'axe, l'aberration sphérique se complique et prend le nom de *coma*. Nous n'avons pas à nous en occuper, car la photographie artistique n'utilise pas les objectifs *grand angle*.

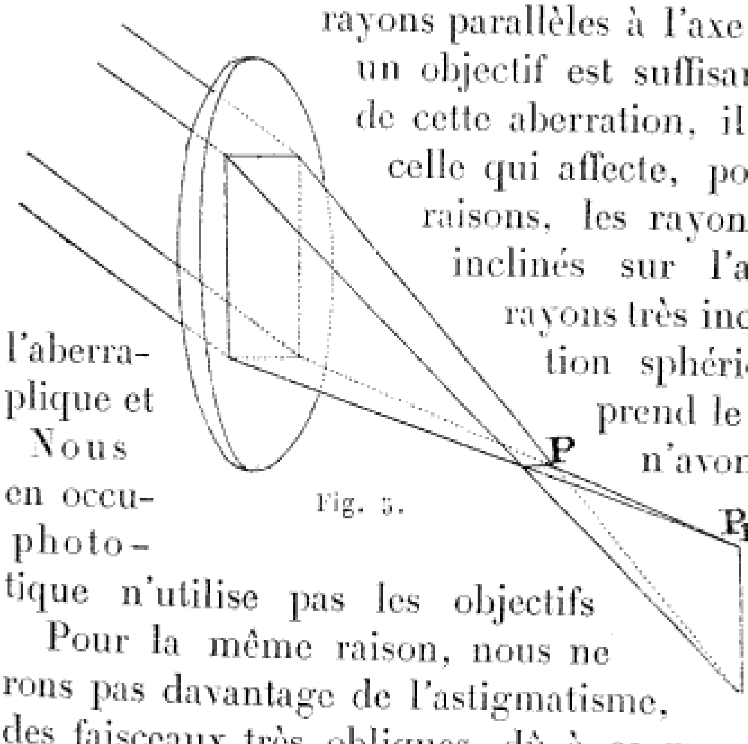


Fig. 5.

Pour la même raison, nous ne nous occuperons pas davantage de l'astigmatisme, autre défaut des faisceaux très obliques, dû à ce que ces rayons, au lieu de se réunir au sommet d'un cône, s'appuient sur deux droites rectangulaires. Pour le montrer, nous avons isolé parmi les rayons qui traversent la lentille ceux qui seraient limités par un rectangle tracé à sa surface.

On voit qu'il n'y a aucune position entre P et P_1 où la glace dépolie puisse couper le faisceau suivant un point.

C'est là une mauvaise aberration sans aucun doute ; mais elle ne se produit pas dans les zones de l'image que nous utilisons et où nous sommes confinés, comme on le verra plus loin, par le souci d'une juste perspective linéaire.

Astigmatisme et coma, ces aberrations, en nous interdisant le grand angle, nous forcent à être sages à ce point de vue. Qu'il leur soit donc pardonné pour l'heureuse discipline qu'elles nous imposent.

De toutes les aberrations que nous venons de passer rapidement en revue, aucune, pour conclure, ne se montre comme susceptible d'être utilisée pour nos desseins. Elles peuvent être indifférentes, elles ne sont pas bienfaisantes. Reste à voir si la dernière, *l'aberration chromatique*, dont le caractère est très spécial, ne va pas fournir une solution du problème posé.

L'ABERRATION CHROMATIQUE

SA NATURE - SON INFLUENCE SUR LE RENDU

LA SYNTHÈSE CHROMATIQUE

On sait en quoi consiste l'aberration chromatique : si l'on décompose la lumière solaire par un prisme, on constate qu'elle est constituée par des lumières simples, de couleurs, de réfrangibilités et de « longueurs d'onde » différentes. Les lumières simples, émanées d'un point et réfractées à travers une lentille, concourent en des foyers de longueurs inégales, le foyer le plus court étant celui des rayons violets et le plus long celui des rayons rouges : le foyer des rayons jaunes est entre les deux. Les rayons qui impressionnent le plus l'œil, ceux auxquels correspond la mise au point sur la glace dépolie, sont des rayons jaunes voisins de la raie D du spectre solaire et dont la longueur d'onde est d'environ 550 millioniėmes de millimètre. Par contre, ces rayons jaunes ont très peu d'action sur la plaque photographique et les rouges moins encore. L'activité photochimique augmente en marchant du jaune vers le violet, et elle est maxima au voisinage d'une raie G dont la longueur d'onde est de 430 millionièmes de millimètre. Les indices de réfraction N_{550} et N_{430} correspondant à ces raies sont respectivement 1,5302 et 1,5397 dans un *crown* léger de densité 2,50

Or si nous considérons l'ouverture A B du diaphragme d'un objectif (voir *fig. 6*), il reçoit d'un point P de l'objet un cône de lumière blanche et envoie vers la glace dépolie une série de *cônes* correspondant aux

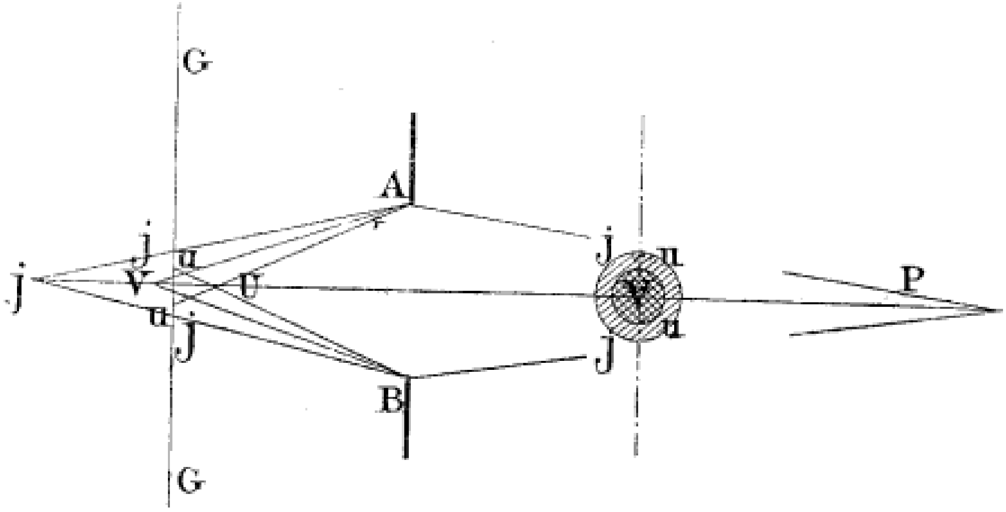


Fig. 6.

diverses couleurs simples parmi lesquels un cône violet avec son sommet en V et un cône jaune avec son sommet en J. En avant de V, on trouve les sommets d'une série de cônes d'activité décroissante dans l'ultra-violet, et, en arrière de J, les sommets d'une série de cônes d'activité décroissante jusqu'au rouge. Si nous coupons tous ces cônes par une glace sensible GG placée peu en avant du point V, qu'arrivera-t-il ?

Ne considérons pour simplifier que trois cônes : celui des rayons violets de la raie 430 (V), celui des rayons jaunes de la raie 550 (J), et un cône de rayons ultra-violets (U) par exemple. Le cône V sera coupé suivant

C. Puyo.

Réduction d'une épreuve format 24 × 30.
Lentille simple plan convexe F = 80 centimètres.
Diaphragme F : 8.

un très petit cercle qui recevra en plus des rayons de tous les autres cônes. Ceux du cône V, les plus actifs par eux-mêmes, seront de plus concentrés dans un très petit espace, de sorte qu'ils impressionneront fortement la plaque et fourniront un point petit et très blanc sur l'épreuve. Ceux du cône J, bien moins actifs, seront d'ailleurs étalés sur un cercle de grand diamètre *jj ;* ils impressionneront donc faiblement la plaque pendant le temps très court de la pose qui sera calculée en vue des rayons V, et sur l'épreuve ils donneront seulement une auréole blanchâtre au point brillant V. De même pour les rayons du cône U, mais ceux-ci sont plus actifs que les rayons J. De plus, l'auréole du diamètre *uu* s'ajoutera à celle qui existe déjà dans cette partie du fait des rayons J, de sorte que cette réunion fournira une auréole plus intense. Le même effet aura lieu pour tous les autres cônes, dont les effets se superposent sur l'image à mesure qu'on se rapproche du centre V, de sorte que l'image du point V sera entourée d'une auréole idéalement *dégradée*. Pareillement, si nous considérons une suite de points brillants formant une ligne, l'image de cette ligne sera bordée d'une frange dégradée, véritable *estompage* analogue au frottis dont le dessinateur enveloppe amoureusement les lignes de son crayon.

L'expérience justifie les explications qui précèdent, et *c'est en mettant au point très exactement en V sur l'image formée par les rayons violets qu'on ulitisera tous les objectifs anachromatiques.*

Mais nous avons vu que la mise au point sur la glace dépolie se faisait sur l'image jaune en J. Il faudra donc, après la mise au point, avancer la glace dépolie de la quantité JV avant de la remplacer par la plaque sensible. Si on ne faisait pas cette *correction* indispensable, on obtiendrait une mauvaise image, à peu près celle qu'on aurait en mettant au point avec un objectif *achromatique* à grande ouverture, puis en reculant la glace avant d'exposer. Ce serait donc un *flou de mise au point*, produisant un dessin confus et sans fermeté.

Il faudra donc une correction : on trouvera, pages 74 et suivantes, les divers moyens pratiques de l'effectuer très simplement.

Ainsi donc l'aberration chromatique transforme le rendu des objets ; par elle l'image d'un point est un point entouré d'une auréole *dégradée ;* l'image d'une droite est une droite dont les deux côtés sont bordés d'une *frange estompée* idéalement.

Examinons quel va être le résultat du travail de cette *frange chromatique.*

D'abord la largeur D de cette frange *(fig. 7)* est, comme le montre un calcul très simple (voir calcul p. 90), proportionnelle à la grandeur *absolue* du diamètre du diaphragme ; elle est égale au centième de ce diamètre.

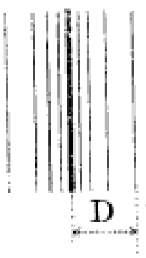


Fig. 7.

Première conséquence : tandis que dans un objectif ordinaire les variations du diaphragme font simplement varier la profondeur de champ, dans les objectifs anachromatiques ces variations serviront aussi à augmenter ou à diminuer le travail des franges chromatiques.

Deuxième conséquence : pour des objectifs de même ouverture relative, la largeur de la frange sera proportionnelle à la longueur focale, par suite à l'échelle de l'image. Donc, plus l'image sera grande, plus la simplification en sera accentuée. Autre avantage au point de vue esthétique.

Remarquons, d'autre part, que, les rayons qui produisent la frange chromatique ayant une action chimique assez lente, cette frange chromatique sera imprimée avec d'autant plus d'énergie et d'autant plus complètement que le temps d'exposition sera prolongé. En prolongeant l'exposition, nous augmenterons donc sur l'image les effets du travail de la frange chromatique ; en diminuant l'exposition, nous rendrons moins sensible ce travail de la frange.

En résumé, par le choix judicieux du diamètre du diaphragme et de la durée de pose, nous pourrons modifier l'effet produit sur l'image.

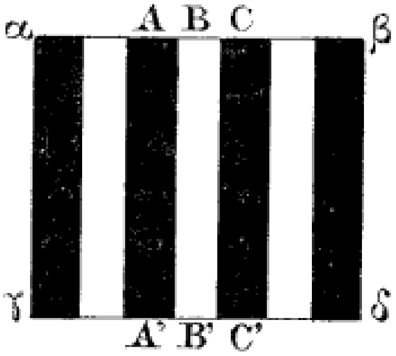


Fig. 8.

De quelle nature est cet effet ? On conçoit tout d'abord que l'image violette, — la plus active, — étant exactement au point, assurera la fermeté du dessin.

Quant aux autres images qui produisent l'estompage, leur action tendra à effacer sur les surfaces les petits accidents inutiles, à nettoyer ces surfaces et à élargir le modelé par une sorte de travail de synthèse.

Considérons une surface rayée de lignes très minces accolées, alternativement blanches et noires. Un objectif achromatique donnera de cela une image négative composée de traits nets, aux bords arrêtés, comme le montre la figure 8 représentant un fragment agrandi du cliché.

Si l'objectif est un anachromatique de même clarté, que se passera-t-il ?

Le bord droit de la raie AA' va être estompé, cette frange d'estompage va mordre sur la raie blanche BB' et la couvrir, si la largeur de cette raie blanche est faible et du même ordre de grandeur que la largeur de la frange. Du fait du voisinage de la raie AA′, la raie blanche BB′ va donc se griser ; la frange gauche de l'autre raie CC′ va agir de même sur BB′ et doubler l'intensité du phénomène. En prolongeant l'exposition, on conçoit que, sur le négatif, BB′ va se teinter fortement.

D'autre part, la quantité de lumière reçue sur la surface $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ étant la même que tout à l'heure, les raies AA′, CC′ vont, à égalité de durée d'exposition, s'imprimer moins fortement.

Au lieu donc d'avoir sur le cliché des raies alternativement noires et blanches, nous aurons une succession de raies alternativement gris foncé et gris clair. A la limite, le carré $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ serait uniformément gris, d'une *valeur moyenne* entre le blanc et le noir *(fig. 9)*.

Et l'on ferait le même raisonnement pour un damier.

Or cette synthèse qui consiste à remplacer les tons multiples, accolés sur une surface, par un ton moyen dont la valeur unique représente l'intégrale des valeurs existant sur cette surface, est la synthèse pictoriale.

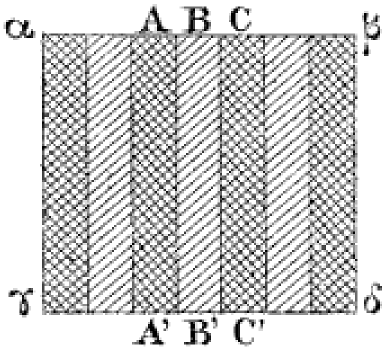


Fig. 9.

Un peintre a-t-il dans son paysage un toit de maison fait d'ardoises, les unes claires, les autres foncées, les autres couvertes de lichen ; il cligne de l'œil et, d'un coup de pinceau, synthétise le rendu du toit en une tache unique qui les résume toutes. Est-il placé devant un visage semé de taches de rousseur ; il cligne encore de l'œil et monte légèrement sur sa palette la valeur du ton qui va représenter la peau.

L'objectif anachromatique fait de même.

L'on voit aussi qu'en ce qui concerne les contours, l'estompé chromatique adoucira le passage du ton au ton voisin, aidera donc à faire tourner les figures, à les faire entrer dans les fonds. Et si vous rappelez à votre souvenir la façon dont Henner liait les contours de ses nymphes au fond sombre des bois sacrés et la façon simplifiée dont il en modelait les corps, en pleine clarté, vous aurez une sensation à peu près exacte du rendu anachromatique.

Résumons :

Simplification des surfaces sans altération du trait, ce que nous cherchions, l'aberration chromatique tend à nous le donner. C'est donc un agent utile ; c'est, de plus, un agent docile, puisque nous possédons deux moyens simples et sûrs de régler l'énergie de son action.

LA PERSPECTIVE

LONGUEURS FOCALES ET OUVERTURES DES OBJECTIFS DESTINÉS A LA PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE

Pour son malheur, l'objectif est, en matière de perspective, d'une absolue sincérité ; il ne sait pas tricher, à l'imitation des dessinateurs et des peintres ; la perfection linéaire qu'il fournit est mathématiquement exacte.

En revanche, il traite la perspective aérienne avec une assez grande désinvolture, et son pouvoir d'accommodation est faible. On ne saurait d'ailleurs lui en vouloir, la perspective aérienne étant, au fond, chose purement conventionnelle.

Les exigences de la perspective linéaire conditionnent la longueur focale des objectifs ; les convenances de la perspective aérienne conditionnent leur ouverture relative. Étudions donc ces deux questions.

Perspective linéaire. — *a)* De la sincérité de l'objectif dans la reproduction de la perspective linéaire résulte, en pratique, certains inconvénients :

Vous avez à faire le portrait d'un militaire avec épaulettes, le buste, large de 50 centimètres, s'offrant de trois quarts ; si vous placez votre objectif à 1 mètre de la figure, l'épaulette située en arrière sera sur l'image notablement plus petite que l'autre épaulette. Si le modèle est plus éloigné, à 2 mètres, l'effet sera amoindri, mais néanmoins subsistera de façon visible et choquante à l'œil.

Or, un peintre, placé à 2 mètres du même modèle, dessinera les deux épaulettes sensiblement pareilles. Tout au plus diminuera-t-il légèrement l'épaulette arrière, lui donnant par exemple des dimensions égales aux 9/10 de celles de l'épaulette avant. Ce qui suppose un point de vue distant de 4 à 5 mètres environ.

Devant un modèle placé à 2 mètres, le peintre l'a donc dessiné comme s'il était à 5 mètres ; et c'est toujours ainsi, et la raison en est simple.

Le peintre place son modèle à 2 mètres pour en mieux voir les traits, car son œil n'a pas la puissance d'un objectif ; et il le projette par la pensée à 5 mètres pour avoir une perspective agréable.

Lisons Charles Blanc : « Si un photographe veut avoir d'un personnage debout un portrait fidèle sans diminution des extrémités, il faut qu'il place son point de vue à 10 mètres du modèle... Quand le peintre n'a pas la reculée nécessaire, il se la procure fictivement par les méthodes de la perspective qui lui permettent de rectifier ce qu'il voit, en le dessinant comme il le verrait d'une distance convenable. »

A 10 mètres un personnage debout ! Mais si le personnage porte une jambe ou un bras en avant, ou en arrière, ce sera donc à 15 ou 20 mètres qu'il faudra le placer ; et s'il se présente en raccourci, comme le Christ de Mantegna, ce sera un éloignement de 30 ou 40 mètres qui deviendra nécessaire ?

Mais oui ! Par malheur, plusieurs raisons très fortes empêchent le photographe de se soumettre à ces convenances.

La première est l'exiguïté des locaux où il opère ; peu d'ateliers, encore moins de salons, possèdent les 15 ou 20 mètres de longueur qui seraient utiles.

Reste l'atelier de plein air. Mais ici deux autres obstacles se dressent : la petitesse des longueurs focales des objectifs courants, le faible tirage des chambres.

Supposons que l'opérateur dispose d'une chambre 18×24, armée d'un objectif trois pouces, instrument déjà grand et lourd, dont le foyer est de 30 centimètres, diagonale de la plaque, longueur classique.

A 10 mètres, le personnage debout, dont la hauteur est de $1^m,65$, aura sur la plaque une hauteur de $1^m,65 : 32$, soit 51 millimètres (1). L'image tient dans une plaque $6\ 1/2 \times 9$, et est trop à l'aise dans un 9×12.

Si donc le photographe tient absolument à utiliser sa plaque 18×24, il devra choisir entre deux moyens :

(1) Rappelons les formules simples permettant de résoudre ces petits problèmes :

Pour reproduire un objet à l'échelle $\frac{1}{n}$, il faut le placer à une distance D d'un objectif de longueur focale f, telle que :

$$D = (n + 1) f, \qquad (a)$$

et, dans ce cas, le tirage T sera :

$$T = f + \frac{1}{n} f. \qquad (b)$$

Le premier est mauvais et, naturellement, il l'adopte toujours ; il va se rapprocher du modèle jusqu'à ce que l'image de ce dernier remplisse à peu près le format 18×24, en ayant par exemple 165 millimètres de hauteur (réduction au 10^e). A ce moment il sera du modèle à $0^m,30 \times 11 = 3^m,30$.

$3^m,30$ au lieu de 10 mètres ; donc perspective médiocre.

Il est un autre moyen : laisser le modèle à 10 mètres et augmenter la longueur focale de l'objectif. Calculons : pour retrouver une image ayant 165 millimètres (réduction au 10^e), il faut un foyer :

$$F = \frac{10^m}{10 + 1} = 90 \text{ centimètres.}$$

Mais alors le tirage sera de 99 centimètres et dépasse les facultés du soufflet de l'appareil.

Il faut remarquer que les éloignements considérables de 10 mètres et au delà concernent des personnages entiers dont les pieds, les mains, les épaules peuvent se trouver à des distances notables d'un plan tangent à leur visage et parallèle à la glace dépolie.

S'il s'agit d'une tête ou même d'un buste adroitement placé, les plus fortes saillies du sujet, par rapport à son plan moyen, sont considérablement réduites, et l'expérience prouve qu'un éloignement de 3 à 4 mètres assure une perspective très satisfaisante.

Cet éloignement suffisant est aussi nécessaire, car, toutes les fois qu'une tête est photographiée à une distance inférieure à 3 ou 4 mètres, l'objectif déforme le modèle comme fait une boule de jardin contemplée à petite distance ; le nez est celui de Cyrano, les lèvres, celles d'un mulâtre, pendant que le front fuit en talus et que les oreilles semblent perdues dans le lointain.

Les photographes professionnels emploient le plus souvent des objectifs à portrait, système Petzval, dits « trois pouces » ou « quatre pouces » parce que les lentilles ont ces diamètres. Ces objectifs fournissent des grandeurs de tête jusqu'à celle appelée « carte album » sans qu'il soit nécessaire de descendre au-dessous de la distance fatidique de 3 mètres. Mais souvent aussi les photographes utilisent un objectif de foyer court et très ouvert, qui leur sert à petite distance pour les portraits d'enfants. A échelle réduite, la déformation de ces frimousses à peine accentuées est presque insensible. Mais qu'on photographie avec ce même instrument une tête un peu caractérisée, et les défauts seront découverts par qui les cherchera. Si l'on agrandit l'image obtenue dans ces conditions, la caricature apparaîtra frappante.

Il faut donc photographier à 3 mètres au moins. Mais si, par surcroît, nous voulons faire de grosses têtes et aller vite, on va voir qu'il nous faudra, comme dans le cas des personnages en pied, des longueurs focales démesurées, des lentilles de diamètre énorme et des chambres à tirage gigantesque.

Exemple : à la distance de 3 mètres environ, je veux faire une tête au tiers de grandeur et opérer à l'ouverture f : 8. Le calcul montre très simplement qu'il faudra une lentille de 75 centimètres de foyer, de 10 centimètres de diamètre et que le tirage de la chambre sera de 1 mètre. Pour la grandeur de demi-nature, les chiffres seraient : longueur focale 1 mètre, diamètre 12 centimètres, tirage $1^{m},50$.

Pour la grandeur du tiers, passe encore ; une lentille plan convexe, en crown, de 10 centimètres de diamètre et de 75 centimètres de foyer ne sort pas des petits prix, et le tirage de 1 mètre s'obtient d'une chambre à trois corps, serviteur encombrant quoique utile. Mais un tirage de 1^{m},50, mais une lentille de 12 centimètres de diamètre ! Nous sommes à la limite du possible.

Il est un seul moyen de la franchir, c'est l'emploi du téléobjectif.

Mais le photographe n'y songe pas. La notion, plus ou moins nette, qu'il a de tous ces obstacles, le porte à penser qu'après tout la perspective est une fâcheuse, qu'il est bien simple de l'ignorer ou d'agir comme si on l'ignorait. Et alors il *force* son objectif, le place à 1 mètre, à 0^{m},75, jusqu'à éborgner le modèle. Et il obtient des figures où l'œil droit est beaucoup plus petit que l'œil gauche, des planchers qui ont l'air d'être inclinés à 45 degrés, etc... et, pareillement, des paysages où les lointains se sont effondrés jusqu'à disparaître, où les cailloux des routes disputent au mont Blanc le record de la hauteur.

De cela le public ne s'aperçoit pas, parce qu'il ne s'aperçoit de rien d'abord et qu'à force de voir sur tous les murs et dans tous les albums ces perspectives forcées, il en a pris l'habitude, laquelle est, comme on sait, une seconde nature.

Les objectifs d'artistes devront évidemment tenir compte de toutes ces contingences ; mais au moins s'efforceront-ils soit de vaincre les obstacles, quand la chose sera possible, soit de réduire au minimum les inconvénients inévitables, résultant, par exemple, du tirage limité du soufflet.

Une chambre de campagne 13×18, ou 18×24, ou 24×30, a toujours un tirage tel qu'il sera possible d'utiliser des foyers égaux *au double* du petit côté de la plaque. Nous donnerons à nos objectifs pour figures, destinés à armer ces appareils, des foyers de cette grandeur au moins.

Si nous possédons une chambre d'atelier à trois corps, par suite à grand tirage, nous n'hésiterons pas à la doter d'un objectif de 60 centimètres, 80 centimètres, voire 1 mètre de foyer. Et nous n'hésiterons pas, parce qu'une lentille plan-convexe de 1 mètre de foyer coûte quelques francs, tandis qu'un anastigmat de même foyer, — lequel nous donnerait d'ailleurs un rendu insupportable, — reviendrait au prix d'une ferme en Beauce.

Le tirage de notre appareil est-il trop faible? l'adjonction d'une lentille divergente transformera notre objectif en téléobjectif et nous permettra, si cela nous plaît, de faire, à 3 et 4 mètres, des têtes grandeur nature.

Regardons agir le photographe pictorial, riche — à peu de frais — en combinaisons anachromatiques. Il a placé son modèle aussi loin de son appareil que le lui permet la longueur de l'atelier. Lui-même, assis en face de la glace dépolie, tourne d'une main la manivelle qui commande le corps avant de la chambre, de l'autre, le bouton molleté qui agit sur le corps arrière. Et là, sans bouger de place, sans déranger le modèle ni l'appareil, sans effort, le sourire aux lèvres, il fait apparaître à volonté sur la glace dépolie une tête carte de visite, carte album, quart nature, demi-nature, grandeur nature, à sa fantaisie.

Représentez-vous maintenant le photographe, attardé dans l'achromatisme, roulant son appareil, transformé en lourde brouette, dont l'approche précipitée, le choc imminent effrayent et font sursauter, sur la chaise de torture, le modèle inquiet.

Et, pareillement, pour les amateurs de la simple nature : tandis que l'un peinera longuement pour changer les combinaisons de sa trousse, l'autre plus avisé n'aura qu'à allonger le soufflet de sa chambre, à tourner un bouton molleté, et, en quelques instants, il verra l'image du paysage grandir et remplir avec exactitude les contours de la glace dépolie. C'est qu'il se sera muni d'un objectif à foyer variable, le seul qui convienne pleinement au paysage.

Perspective aérienne. — Quand les objets vont s'éloignant, leurs dimensions relatives diminuent suivant les lois, mathématiques, de la perspective linéaire ; en même temps leur apparence se modifie suivant la distribution de la lumière et la nature, changeante, de l'air interposé, suivant, par suite, des lois variables qui relèvent de la perspective aérienne.

En général, par suite de l'épaisseur croissante de la couche d'air, la *valeur* des objets tend à baisser. Cet effet, l'objectif le rend *assez bien* et même l'exagère volontiers, la couleur de l'atmosphère étant bleue par suite actinique. Ceci est plutôt favorable.

D'autre part, l'œil fixé sur un objet et accommodé à la distance de cet objet ne reçoit des éléments placés sur d'autres plans qu'une impression confuse, indirecte. A vrai dire, si, au lieu de rester immobile, l'œil se promène, comme son accommodation aux distances successives est quasi immédiate, il voit tout net successivement, aussi net du moins que le permet l'atmosphère. Et si un tableau était un trompe-l'œil, il n'y aurait pas de raison pour que tous les plans ne soient pas traités avec la même impartialité. Mais un tableau n'est pas un trompe-l'œil ; un tableau est un composé d'éléments d'importance esthétique variable; représenter tel élément avec précision et détail, et tel autre élément sans précision et sans détail, c'est attirer d'abord l'œil sur le premier, et le détourner du second. Fixé alors sur le premier, l'œil ne s'étonne pas de recevoir du second une impression confuse; il se réjouit plutôt de n'être point dérangé dans l'examen qu'il fait de l'élément capital qui l'intéresse.

On voit qu'il entre, dans cette distribution partiale de la netteté entre les divers éléments d'un tableau, une certaine part de convention; c'est une sorte de compromis; il suffit que le compromis soit heureux et la convention acceptée.

La région d'intérêt est située dans le tableau, à un certain plan, généralement à un plan moyen, assez rapproché, qui est le plan d'intérêt; mais elle n'occupe pas tout le plan jusqu'aux bords du cadre.

On conçoit donc que la netteté, dans les éléments secondaires de la composition pourrait rationnellement décroître, non seulement en profondeur, dans le sens perpendiculaire au tableau, suivant la succession des plans, mais aussi, dans le sens parallèle au tableau, dans les parties marginales du plan d'intérêt.

Tous les objectifs donnent à peu près le premier effet; la profondeur de champ étant limitée, et ils la donnent plus ou moins fort, suivant l'ouverture du diaphragme. Quant au second effet, il ne faut pas l'espérer des anastigmats modernes. Étant parfaitement corrigés ils couvrent la glace avec une netteté implacable jusqu'à l'extrême limite de ses bords. Les objectifs achromatiques eux-mêmes ne peuvent pas fournir ce dégradé latéral. L'assemblage de lentilles qui réalise l'achromatisme réalise en même temps un champ plan d'une certaine étendue et corrigé d'aberration sphérique. Au delà c'est une chute brusque de netteté aboutissant à la déformation complète des traits. Si on diminue le diaphragme on augmente le champ de netteté absolue mais toujours avec la chute brusque au bord, et on ne crée pas la zone de netteté décroissante qui. dans certains cas, serait utile à l'artiste. Cette zone intermédiaire, entourant un centre net d'une petite étendue, les objectifs anachromatiques simples peuvent la fournir à raison de la courbure de leur champ, comme nous l'avons indiqué page 18. Elle sera utilisée pour certains effets de portraits. Dans ce cas si le fond est uni, la diminution de netteté vers les bords ne l'affecte aucunement. En allant du centre vers le bas du tableau, elle simplifie le rendu des vêtements. Caractérisant ainsi leur rôle accessoire, elle concentre l'intérêt sur la figure.

Dans les têtes à grande échelle on peut ainsi concentrer l'intérêt sur les yeux, le nez et la bouche et il en résulte un effet véritablement puissant.

Mais revenons à la perspective aérienne proprement dite.

Comme nous l'indiquions tout à l'heure, l'objectif corrigé ne donne net que dans les limites de la profondeur de champ, laquelle est très faible aux grandes ouvertures. Pour les plans situés en avant et en arrière de ces limites, il y a là aussi une chute brusque de netteté qui se traduit non par une simplification mais par un trouble général du dessin. Entre les parties implacablement nettes et celles qui sont déplorablement cotonneuses ou même entièrement déformées, il y a bien une petite zone de raccordement où un opérateur habile arrive à loger ses lointains, mais c'est tout. Pour le reste de la composition, il n'a qu'une ressource, c'est de diaphragmer et d'étendre ainsi à toute la plaque la profondeur de champ et l'ennuyeuse netteté.

L'objectif anachromatique au contraire possède, même aux *grandes ouvertures*, une profondeur de champ remarquable, due au mélange de l'aberration chromatique avec un résidu d'aberration sphérique qui lui est laissé à dessein. Nulle part on ne trouve de netteté absolue, car, partout, la frange chromatique fait sentir sa caresse, mais l'artiste dispose en profondeur d'une longue zone de netteté relative, sensiblement homogène, dans laquelle sa composition se loge sans difficultés depuis les fonds jusqu'à un plan d'intérêt très suffisamment rapproché.

Dans l'*Ajustable landscape Lens* dont il sera question plus loin, la profondeur de champ est également très grande; c'est moins étonnant puisque ce diaphragme est petit (1 : 15, 1 : 18 et moins). Ce qui surprend c'est de ne pas retrouver dans cet instrument la sécheresse des objectifs corrigés, son rendu, quoique ferme, est d'une grande douceur et comme fondu. La douceur des traits est surtout produite ici par l'aberration sphérique qui se fait sentir à peu près uniformément dans toutes les directions, même suivant l'axe, et malgré le diaphragme, à cause de la forte courbure des lentilles et de leur disposition.

Ce sont, disions-nous, les convenances de la profondeur de champ qui conditionnent l'ouverture des objectifs; ces convenances varient suivant les genres.

Un objectif destiné à photographier la tête seule pourra avoir, en même temps qu'un long foyer, une grande ouverture. Cependant il y a des limites; l'épaisseur de la tête est telle qu'une ouverture exagérée produirait cet effet désagréable, si visible souvent sur les portraits un peu grands, faits de trop près avec des Petzval ouverts à f : 4 ou f : 3, figures où le nez est net et les cheveux flous; l'ouverture de f : 5 paraît être ici la plus grande utilisable.

Si la personne est représentée dans un milieu, intérieur ou plein air, le diaphragme devra être réduit pour permettre un dessin ferme des alentours; l'ouverture habituelle s'abaissera à f : 7 ou même moins.

Dans le paysage, enfin, l'ouverture utilisable se réduira bien plus encore. Tous ceux qui ont pratiqué les formats un peu grands, et utilisé des objectifs à long foyer, savent qu'en pratique la répartition judicieuse de la netteté entre les plans exige que le diaphragme diminue à mesure que le foyer s'allonge; f : 20, f : 30, f : 40 même sont des ouvertures d'usage courant lorsque la longueur focale atteint 40, 60 ou 80 centimètres. Néanmoins, pour les *anachromats*, la réduction du diaphragme pourra être moindre à cause de l'exceptionnelle profondeur de foyer dont nous avons parlé. Ce sera un bénéfice sérieux car le vent rend souvent les longues poses impossibles en plein air.

Comme conclusion et comme conséquence logique de ce qui précède, les diverses combinaisons anachromatiques, qui vont être présentées dans les chapitres suivants, comprendront donc :

Pour les études de figure : des objectifs très ouverts à long foyer et des téléobjectifs à foyer variable et à grande luminosité. Ces objectifs donneront des êtres et des choses une définition meilleure que les combinaisons strictement corrigées car, de par la synthèse chromatique, *le rendu s'élargira et se simplifiera à mesure que grandira l'image.*

4.

Pour le paysage, des objectifs à foyer variable et à ouverture réduite ; ici, la frange chromatique étant diminuée fortement par la réduction du diaphragme, l'aberration sphérique sera le principal artisan de la synthèse. Elle augmentera étonnamment la profondeur de foyer et assurera ainsi une diminution lente et douce de la netteté dans les plans successifs. Même dans le plan d'intérêt, elle fera l'image large et simple.

OBJECTIFS

POUR

ÉTUDES DE FIGURES

1re PARTIE

COMBINAISONS D'ÉLÉMENTS CONVERGENTS

I. — SYSTÈMES ANACHROMATIQUES

1° **Lentille simple plan-convexe.** — De tous les types de lentilles en crown existant dans le commerce et fabriquées industriellement, la lentille plan-convexe est certes le plus simple et le plus économique. Mais une raison meilleure encore l'a fait étudier tout d'abord :

Position face convexe en avant. — La théorie démontre que la lentille plan convexe, quand on l'utilise la face convexe tournée vers l'objet, donne, comme la lentille *croisée* et presque aussi bien qu'elle, une image dont la partie centrale est très bonne, même si le diamètre de la lentille est grand. En d'autres termes, l'aberration de sphéricité est presque minima. Avec une correction exacte pratiquée comme nous l'indiquons page 76, elle peut être utilisée couramment aux ouvertures de f : 8 et même on peut augmenter l'ouverture jusqu'à f : 6 et f : 5,5.

Le champ de netteté y est, à vrai dire, assez restreint; mais, à moins de deux mètres de distance, la tête et le haut des épaules y sont facilement contenus.

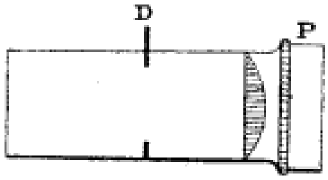


Fig. 10.

Si l'on possède une monture quelconque, et mieux une monture à crémaillère, on placera la lentille dans le barillet avant *(fig. 10)* et la crémaillère permettra, après la mise au point, de diminuer le foyer de la quantité nécessaire, en rapprochant la lentille de l'appareil.

Si l'on n'a pas de monture, il suffira de fixer la lentille dans une rainure circulaire à mi-bois pratiquée dans la planchette de la chambre, et d'obturer au moyen d'un dispositif en bois ou en carton, fait par exemple d'une boîte dont on a enlevé le fond *(fig. 11)*.

Dans ce cas, la correction se fait par la queue de la chambre, en diminuant, après mise au point, le tirage de la quantité nécessaire.

Ainsi placée, face convexe en avant, la lentille convient parfaitement à l'étude de la tête, et même aux portraits mi-corps sur fond neutre, avec peu ou point d'accessoires.

Les longueurs focales utilisables, eu égard au tirage du soufflet des chambres de campagne, sont à peu près le double du grand côté de la plaque :

48 centimètres	pour	18×24
36	—	13×18


Fig. 11.

et on aura avantage à employer ces maxima.

Position face plane en avant. — En retournant la lentille, c'est-à-dire en la disposant la face plane en avant vers l'objet et en plaçant en avant d'elle un diaphragme assez réduit *(fig. 12)*, on obtient une image dont le centre est moins bon que tout à l'heure, mais où le champ homogène s'est élargi.

Ici le diaphragme sert non seulement à diminuer la frange chromatique, mais aussi à donner une correction sphérique meilleure ; on le place d'ordinaire en avant de la lentille, à une distance égale au 1/5 environ de la longueur focale de la lentille.

On peut considérer, dans ce cas, l'ouverture f : 10 comme un maximum. A une ouverture comprise entre f : 12 et f : 18, la lentille donne ainsi une assez agréable définition des figures et peut servir pour une étude de tête avec mains.

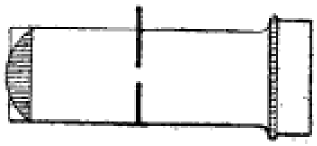


Fig. 12.

Une longueur focale de 50 à 60 centimètres couvre 24 × 30, une longueur focale de 40 à 50 centimètres couvre 18 × 24, non toutefois sans un certain astigmatisme, qu'on atténuera en diminuant le diaphragme jusqu'à f : 18 ou f : 20.

En résumé, cette deuxième disposition de la lentille plan-convexe est assez peu avantageuse dans les études de figures ; pour la tête elle est inférieure, à tous égards, à la première et, pour le portrait avec accessoires et milieu, elle est inférieure au ménisque et plus encore à la combinaison symétrique dont nous parlons plus loin.

Mais cette disposition, lentille plan-convexe face plane en avant, peut être de quelque utilité dans l'étude du paysage, comme nous le verrons ultérieurement.

2° **Ménisque mince ou coquille.** — Le ménisque mince (lentille concave-convexe) face concave vers l'objet, diaphragme en avant *(fig. 13)* donne une agréable définition des figures. Le trait est très piqué, très buriné même, avec le diaphragme ouvert à f : 10 et la simplification des surfaces est très sensible. Il vaut mieux réserver son emploi aux figures petites ou de dimensions moyennes ; le dessin étant trop précis et par suite un peu sec dans les figures un peu grandes. Il rend bien les accessoires et les alentours.

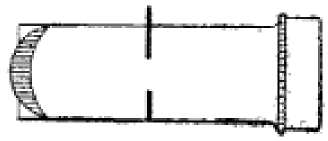


Fig. 13.

Le diaphragme se place à une distance égale au 1/5 environ de la longueur focale de la lentille ; cette distance peut varier sans inconvénient et, dans la pratique, on se contente de placer le ménisque dans le barillet arrière de la monture qu'on possède.

Un tel ménisque se définit par sa longueur focale et son rayon concave. Après essais il nous a paru que la disposition la meilleure consistait à prendre le rayon concave égal à la longueur focale.

Un ménisque en crown ayant ainsi : rayon concave = 40 centimètres, longueur focale = 40 centimètres couvre convenablement 18×24, avec diaphragme f : 10 à f : 12 ; et l'image est naturellement très brillante.

3° **Combinaison symétrique de deux coquilles.** — Mais nous allons trouver un instrument bien supérieur, tant au point de vue du rendu qu'au point de vue de l'homogénéité de l'image, bien plus complet aussi et bien plus souple, dans la combinaison symétrique de deux ménisques minces.

Dès 1866, les avantages théoriques et pratiques de l'objectif symétrique (achromatique) avaient été démontrés par Dallmeyer avec son *rectilinéaire rapide* et par Steinheil avec son *aplanat*. Les instruments de ce type, encore universellement employés avant l'invasion des *anastigmats*, couvraient avec une rapidité moyenne à l'ouverture de f : 10 un angle de 40 degrés environ et convenaient à tous les travaux de plein air. Mais on reconnut vite qu'en les modifiant on pouvait obtenir des instruments spéciaux mieux adaptés à certains cas particuliers. Et c'est ainsi qu'en rapprochant les lentilles, en forçant les courbures et diminuant le diaphragme jusqu'à f : 20 et moins, on eut des *grands angulaires* dont le champ était très augmenté aux dépens de la rapidité. Inversement, en écartant les lentilles et diminuant les courbures on put augmenter les diamètres des lentilles et du diaphragme, ce dernier atteignant jusqu'à f : 4 dans les *rectilinéaires à portrait* de Dallmeyer et dans les *euryscopes à portrait* de Voigtländer. La rapidité était considérable, mais le champ, très réduit, ne couvrait pas plus de 15 degrés véritablement nets à toute ouverture,

En même temps que son aplanat Steinheil avait lancé en 1866 un objectif composé de deux ménisques en *crown*, un *anachromatique* par conséquent. C'était un grand angulaire, à fortes courbures et à lentilles rapprochées qui couvrait un angle de plus de 90 degrés mais nécessitait un très petit diaphragme $\left(\frac{1}{40}\right)$. Comme tous les *anachromats*, cet objectif exigeait une petite correction après la mise au point. Aussi fut-il abandonné par le public dès qu'on offrit à celui-ci des rectilinéaires grand angle achromatiques, qui n'avaient pas besoin de correction et qui, à égalité de plaque couverte, exigeaient une pose moins prolongée.

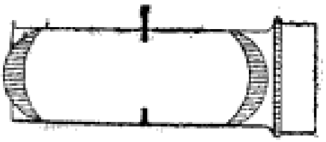


Fig. 14.

Le *rectilinéaire symétrique anachromatique* que nous recommandons aux artistes occupe dans la série anachromatique la même place que les euryscopes à portraits dans la série des rectilinéaires (*fig. 14*).

Son ouverture est relativement considérable f : 5. Ses lentilles sont d'un grand diamètre et très écartées $\left(\frac{1}{3}\text{F environ}\right)$. Les courbures sont faibles. Le rayon intérieur est environ le double de l'écartement. Le rayon extérieur est peu supérieur à celui-ci.

Des considérations théoriques nous avaient conduits à essayer ces dimensions. Elles nous ont fourni des résultats satisfaisants mais nous avons voulu les contrôler et nous avons essayé successivement des ménisques de foyer constant et de rayons concaves croissants dans des montures extensibles qui permettaient de faire varier l'écartement des lentilles (1). Ces essais nous ont entièrement confirmé nos premières prévisions et nous avons définitivement adopté pour nos rectilinéaires anachromatiques les constantes qu'elles ont consacrées.

DÉSIGNATION DES DIVERS TYPES D'OBJECTIFS	FORMATS DE PLAQUES COUVERTS A F : 5	DIAMÈTRES DES LENTILLES	RAYON CONCAVE	FOYER D'UN MÉNISQUE	FOYER RÉSULTANT	ÉCARTS ENTRE LENTILLES
Lignes Pouces						
1, type dit 27 ou 2 1/4	13 × 18	61^{mm}	202^{mm}	61^{cm}	33^{cm}	11
2, » 3 pouces	18 × 24	81^{mm}	$249^{mm},5$	75^{cm}	$40^{cm},8$	13
3, » 4 »	24 × 30	108^{mm}	353^{mm}	1^{m}	55^{cm}	175
4, » 5 »	30 × 40	135^{mm}	»	»	69^{cm}	»

(1) Ces essais et toutes nos études sur les objectifs anachromatiques nous ont été grandement facilités par M. E. Morin, ingénieur, sous-directeur de la Grande Fabrique d'optique de Ligny (Meuse). Calculateur distingué et technicien émérite, inventeur lui-même d'*anastigmats* excellents, il a mis à notre disposition avec une complai-

Nous avons choisi ces diamètres parce qu'ils sont utilisés dans les objectifs à portrait courants, du type Petzval; de sorte que tout possesseur d'une monture d'un des types énumérés à la première colonne peut y faire ajuster les ménisques correspondants.

L'écart entre lentilles pourra être sans inconvénient supérieur de 1 à 2 centimètres à l'écart type indiqué, mais non inférieur.

L'image fournie par ces objectifs est homogène; la courbure focale, assez faible, ne laisse pas de trace visible, comme nous l'avons dit page 18, et la profondeur de champ, ainsi qu'il était à prévoir, est remarquable.

Les ouvertures à adopter varient de f : 5,5 à f : 9; il est inutile de diaphragmer davantage. L'ouverture f : 5,5 fournit une enveloppe très accentuée, d'autant plus accentuée que la pose a été prolongée. C'est peut-être l'ouverture comprise entre f : 6 et f : 6,5 qui donne la synthèse la plus agréable; on l'emploiera pour les têtes grandes et moyennes; pour les petites têtes on pourra utiliser f : 7, f : 75, ou f : 8. Voir, à titre d'exemple, les hors texte, n° 2 et n° 3.

En résumé, ce dernier type remplace avec avantage les lentilles simples; cependant la lentille plan-convexe, face courbe, vers le modèle ne sera pas à dédaigner. A cause de sa simplicité et de son bas prix, elle fournira un bon outil pour les études de tête, surtout si on l'utilise avec de très longs foyers, les plus longs que puisse admettre le tirage de la chambre utilisée,

sance inépuisable les ressources de l'important établissement qu'il dirige et c'est lui qui a construit toutes ou presque toutes les lentilles sur lesquelles ont porté nos études. Certaines de ces lentilles avaient 15 centimètres de diamètre.

REMARQUES. — *Pour toutes les combinaisons que nous venons d'énumérer la correction de l'achromatisme consiste à diminuer le tirage, après la mise au point faite, d'une quantité déterminée, suivant la méthode indiquée, pages 76 et suivantes. Cette correction est d'une extrême simplicité.*

Nous donnons également plus loin d'autres moyens d'exécuter ladite correction de façon automatique.

II. — SYSTÈMES DEMI-ANACHROMATIQUES

En raison de la relation qui lie la largeur de la frange d'estompage et le diamètre du diaphagme, nous avons vu que le flou spécial, la synthèse, des objectifs anachromatiques peut être réduite autant qu'on le désire; il suffit de diminuer le diaphagme.

Cette diminution du diaphagme a, il est vrai, pour conséquence une diminution de la luminosité. Ceci est de peu d'inconvénient pour l'amateur, mais les « professionnels » ont besoin d'aller vite, et les portraits d'enfants et de dames nerveuses, comme aussi « le travail par tous les temps », ne s'accommodent pas des petits diaphragmes. A l'atelier, il faut de grandes ouvertures.

Or nous pouvons, sans renoncer à la grande ouverture, modérer le flou chromatique autant que nous le voulons, assez pour ne pas effaroucher les habitudes d'une clientèle attardée qui s'accommode d'une esthétique spéciale. Il suffit d'user de combinaisons dans lesquelles l'aberration chromatique aura été *partiellement* corrigée au lieu de ne l'être aucunement comme dans les objectifs dont nous venons de parler.

Nous appellerons *demi-anachromatiques* ces combinaisons partiellement corrigées.

En voici une, des plus élémentaires, que l'on peut trouver dans les objectifs existants.

Prenons un objectif ancien à paysage, formé d'une seule combinaison qui comprend d'ordinaire un *flint* plan concave collé à un *crown* biconvexe; cette lentille, pour un foyer de 50^{cm} par exemple, a 8^{cm} environ de diamètre et peut donc travailler à l'ouverture 1 : 6,3. Autrefois on ne se servait de cet objectif simple que fortement diaphragmé; c'est qu'en effet, bien que dit achromatique, il est affecté d'un fort résidu d'aberration chromatique, que le diaphragme avait pour but de corriger. Supprimons le diaphragme, mais faisons après mise au point une correction exacte : nous obtiendrons une image adoucie et enveloppée, *mais plus précise que celle donnée par un anachromat de même foyer et de même ouverture*.

Dans un tel objectif, en effet, l'aberration chromatique longitudinale (1) n'est plus que le tiers ou le quart de ce qu'elle est dans un anachromatique; l'effet de la frange, du dégradé chromatique se trouve donc diminué dans les mêmes proportions.

Nous donnons page 92 la méthode pour calculer l'aberration chromatique longitudinale d'un objectif et pour en déduire la correction à effectuer.

On peut, dans les mêmes conditions, utiliser un objectif double qu'on fabriquera en combinant une lentille achromatique avec une lentille simple en crown.

L'avant se composera par exemple de la frontale d'un objectif à portrait du type Petzval, qu'on laissera en place

(1) On appelle ainsi la quantité dont il faut avancer la glace après la mise au point pour qu'elle se trouve au foyer des rayons chimiques.

dans sa monture. Cette frontale est convenablement achromatique et aplanétique.

On dévissera le barillet arrière; on enlèvera les lentilles qui s'y trouvent et on les remplacera par un ménisque simple en crown.

Ce ménisque pourra avoir pour rayon concave le double environ de l'écart entre appuis et un foyer tel que le foyer résultant soit triple environ de l'écart.

Un type essayé avait :

Frontale Petzval 3 pouces, longueur focale $= 53^{cm},5$.

Lentille arrière, ménisque en crown : $Rcc = 249$, foyer $= 84^{cm}$.

Écart des lentilles suivant l'axe : $13^{cm},8$.

Foyer résultant : 36,5.

Ouverture utile : $\frac{1}{5,5}$.

L'aberration chromatique longitudinale était de $2^{mm},5$ pour la mise au point sur l'infini, soit environ le tiers de l'aberration d'un objectif anachromatique en crown de même longueur focale (1).

Dans la combinaison *demi-anachromatique* que nous venons de décrire, la frange chromatique étant réduite au tiers, son action est faible; par suite le flou est peu sensible; il est cependant suffisant pour produire un effet de douceur et rendre la retouche à peu près inutile.

En résumé, par l'introduction dans un système d'un résidu d'aberration chromatique dosé exactement, et

(1) L'aberration d'un objectif anachromatique en crown de même longueur focale serait en effet égale à

$$\varepsilon F = 0,02 \times 36,5 = 7^{mm},3.$$

Voir page 95.

sous réserve d'une correction exacte après mise au point, nous pouvons adoucir à notre gré la sécheresse de l'image et employer les combinaisons les plus ouvertes, sans craindre un flou excessif.

Pour la correction de tels systèmes, voir pages 76 et suivantes.

2e PARTIE

COMBINAISONS COMPRENANT UN ÉLÉMENT CONVERGENT ET UN ÉLÉMENT DIVERGENT

Téléobjectif anachromatique. — Comme nous l'avons dit plus haut, un des mérites principaux des objectifs anachromatiques doit être de mettre à la disposition des artistes, moyennant un prix acceptable, voire minime, les grandes longueurs focales indispensables pour restituer sincèrement les perspectives rationnelles auxquelles l'œil est habitué.

Or il est facile de voir que le tirage relativement faible des chambres courantes s'oppose à l'allongement des longueurs focales.

En effet, si l'on emploie un objectif de longueur focale f, le tirage nécessaire pour avoir une image à l'échelle $\frac{1}{n}$ est *(voir la note page 32)*

$$T = f + \frac{1}{n} f,$$

pour une tête demi-nature, $n = 2$

$$T = f + \frac{1}{2} f$$

d'où $$j = \frac{2}{3} T.$$

Notre objectif ne pourra avoir une longueur focale supérieure aux deux tiers du tirage maximum.

Dans une chambre de campagne 18×24 dont le tirage atteint à peine 60 centimètres, la plus grande longueur focale utilisable sera de 40 centimètres. Nous sommes donc bien au-dessous des longs foyers dont nous avons besoin pour les études de grand format.

Heureusement que nous pouvons utiliser une combinaison nommée *téléobjectif*, dont les points nodaux sont projetés en avant des lentilles, presque aussi loin qu'on veut, ce qui fournit la solution cherchée, en permettant de concilier les longs foyers avec des tirages modérés.

On a peu écrit sur le téléobjectif et les principaux traités d'optique sont muets en ce qui le concerne ou ne fournissent à son sujet que des indications très sommaires.

Aussi nous avons pensé intéresser quelques-uns de nos lecteurs en étudiant assez complètement cet instrument page 165 et suivantes. Après avoir établi les formules fondamentales qui règlent son emploi et expliqué leur usage par des exemples, nous avons déterminé les principes qui peuvent servir à fixer la composition du téléobjectif et montré comment variaient avec elle ses principales propriétés : luminosité, étendue et profondeur du champ, distorsion.

Ici nous nous bornerons à donner quelques indications qui permettront de se rendre compte des avantages inhérents au téléobjectif et montreront comment il permet de tourner l'obstacle résultant du tirage limité du soufflet.

Description sommaire du téléobjectif. — Un téléobjectif se compose de deux éléments :

1° A l'avant de la monture, vers l'objet, un élément convergent, objectif ordinaire, lentille simple ou doublet, qu'on nomme *frontale* ou mieux *élément positif.*

2° A l'arrière de la monture une lentille, simple ou composée, *divergente* que l'on nomme *amplificatrice* ou mieux *élément négatif.*

La monture est disposée de telle sorte qu'elle permette de faire varier l'écart entre les deux éléments.

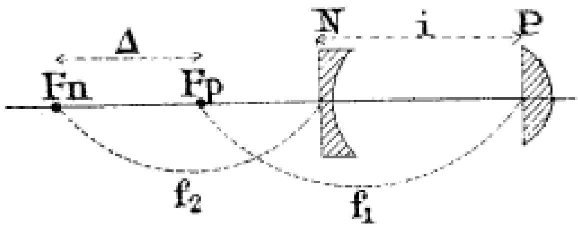


Fig. 15.

Pour que l'image soit réelle *(fig. 15)*, il faut que le foyer postérieur F*p* de l'élément positif P soit entre l'élément négatif N et le foyer antérieur F*n* de cet élément négatif. L'intervalle variable qui sépare F*n* de F*p* s'appelle « intervalle optique » et se désigne par Δ.

Quand on rapproche les deux éléments de telle sorte que F*p* atteigne F*n*, alors $\Delta = 0$ et la *longueur focale résultante du système* est infinie. Quand on écarte les deux éléments, F*p* se rapproche de la lentille négative, la valeur de Δ tend à égaler la longueur focale f_2 de cette négative, et la longueur focale résultante du système tend à devenir égale à la longueur focale f_1 de l'élément positif.

Ainsi donc l'écart entre les éléments positif et négatif variant de f_1 à $(f_1 - f_2)$, Δ varie de f_2 à O, et le foyer résultant varie de f_1 à l'∞.

La longueur focale f d'un téléobjectif dont la positive a pour longueur focale f_1, et la négative f_2, a pour expression :

$$(1) \qquad f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}.$$

Le rapport des longueurs focales $\frac{f_1}{f_2}$ se nomme *coefficient d'amplification* et se désigne par γ.

$$(2) \qquad \gamma = \frac{f_1}{f_2}.$$

Comment le téléobjectif exige un tirage moindre. — Ceci posé revenons à la question du tirage.

Pour qu'un téléobjectif donne une image réduite à $\frac{1}{n}$ de la grandeur de l'objet, il faut un tirage β (compté de la glace dépolie à l'élément négatif) qui s'exprime en fonction des longueurs focales f_1, f_2 des deux éléments et de la longueur focale résultante f, par l'équation :

$$(3) \qquad \beta = \frac{1}{n}f + \frac{1}{\gamma}f - f_2.$$

Or un objectif ordinaire de longueur focale f, pour donner une image à l'échelle $\frac{1}{n}$, exige un tirage T :

$$(4) \qquad T = \frac{1}{n}f + f$$

$$(5) \quad \text{d'où} \quad T - \beta = f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f_2.$$

Ce qui veut dire que : *Pour un téléobjectif de coefficient d'amplification γ le tirage de la chambre sera de*

$$(6) \qquad f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f_2,$$

moindre que pour un objectif photographique ordinaire de même distance focale f

D'ordinaire les opticiens donnent à γ des valeurs comprises entre 2 et 4. Pour des raisons que nous dirons tout à l'heure, il sied que dans les téléobjectifs pour figures γ n'ait pas une valeur trop forte. Nous prendrons $\gamma = 2$: l'expression (6) devient

$$(7) \qquad f\left(1 - \frac{1}{2}\right) + f_2 = \frac{1}{2}f + f_2.$$

Prenons maintenant un exemple concret :

Choisissons comme frontale un symétrique anachromatique du type n° 3 (tableau, page 48) ayant 55 centimètres de longueur focale f_1, et accouplons-lui une négative ayant une longueur focale f_2 moitié moindre

$$f_2 = \frac{f_1}{2} = 27^{\text{cm}}.$$

Et maintenant comparons cet instrument à un objectif ordinaire ayant 1 mètre de longueur focale.

Le tirage du téléobjectif sera toujours (formule 7) *moindre de :* $\frac{1}{2}f + f_2 = \frac{1}{2}1^{\text{m}} + 27^{\text{cm}} = 77$ *centimètres* que celui de l'objectif de 1 mètre de foyer.

Si donc pour faire une tête à l'échelle $\frac{1}{2}$ (demi-nature) avec un objectif ordinaire, il nous faudrait un tirage (formule 4)

$$T = \frac{1}{2} \times 1^{\text{m}} + 1^{\text{m}} = 1^{\text{m}}.50$$

avec le télé il nous faudra seulement un tirage

$$B = 1^{\text{m}}.50 - 77^{\text{cm}} = 73^{\text{cm}}.$$

On voit combien le tirage est réduit, on pourrait du reste le réduire encore, car (formule 3) le tirage est d'autant plus faible que γ, coefficient d'amplification est grand ; il suffirait donc de diminuer le foyer de l'amplificatrice.

Petite amplificatrice, petit tirage.

Autre avantage du téléobjectif. — *L'objectif téléphotographique offre, en un seul et même instrument, un nombre indéfini de longueurs focales différentes.*

Il en résulte cet avantage pratique, dans le travail de l'atelier, que, sans bouger ni le modèle, ni l'appareil, par un simple écart des lentilles, vous amenez l'image, sur la glace dépolie, à la dimension exacte que vous désirez.

Luminosité du téléobjectif. — On verra page 181 que le téléobjectif placé à une distance α d'un sujet de grandeur O et en fournissant une image I à l'échelle $G = \frac{I}{O}$ exige la même pose qu'un objectif ordinaire placé assez loin pour fournir une petite image, ayant comme diaphragme le diaphragme d_1 de la frontale et comme foyer le produit αG de la distance α par le grossissement G. L'ouverture relative de cet objectif qu'on peut appeler *l'ouverture relative équivalente du téléobjectif a donc pour expression :* $\frac{d_1}{\alpha G}$.

Exemple :

A la distance 3 mètres, pour une échelle $\frac{1}{2}$ nature, avec une frontale constituée par un objectif 4 pouces, dont le diaphragme a un diamètre de $8^c,8$ environ, *l'ouverture relative équivalente* du téléobjectif est

$$\frac{8^c,8}{\frac{1}{2} \times 300^{cm}} = \frac{15,2}{1}.$$

La formule de *l'ouverture relative équivalente* $\frac{d_1}{\gamma G}$ montre que pour une distance et une échelle données on n'obtiendra une grande luminosité qu'en prenant une frontale à grand diaphragme.

D'autre part on verra page 201 que les aberrations de l'amplificatrice obligent à prendre le tirage aussi grand que le permet la chambre dont on dispose et que la distance et le grossissement étant donnés on a le plus grand tirage en prenant le foyer de la frontale petit et le foyer de l'amplificatrice peu différent du précédent c'est-à-dire γ petit aussi.

D'une part, la frontale doit avoir un grand diaphragme et, d'autre part, un foyer assez court. Ce sera donc un objectif à grande ouverture relative. D'ailleurs cette frontale n'utilise qu'un petit angle : un vieil objectif à portraits ou notre objectif anachromatique symétrique F : 5 répondront donc au programme.

Quant à la nécessité de prendre γ petit elle ne peut pas nous conduire à $\gamma < 1$ car ce téléobjectif perdrait tous ses avantages qui sont de faire gros avec un petit tirage et malgré la distance, et en résumé, pour produire des têtes à une échelle comprise entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{3}$ à grande ouverture le calcul aussi bien que nos expériences nous ont montré que γ doit être égal à 3 si on veut utiliser des chambres de campagne, et qu'il peut — avec avantage — descendre à 2 si on dispose d'une chambre d'atelier à grand tirage.

Types de téléobjectifs anachromatiques d'atelier. — Pour nos premiers essais nous avions vidé de ses lentilles une monture 3 pouces et dans le barillet avant placé comme frontale une lentille plan convexe en crown de 81 millimètres de diamètre et de 32 centimètres de longueur focale (*fig. 16*). Un tube de cuivre TT, de 13 centimètres de longueur environ, vissé par son extrémité ouverte à la rondelle de la monture, portait à l'autre extrémité la lentille amplificatrice plan concave en crown de 5 centimètres de diamètre et de 105 millimètres de longueur focale. Les résultats furent intéressants et les amateurs de flou extrême et d'effets à la *Carrière* ont là un procédé d'élection.

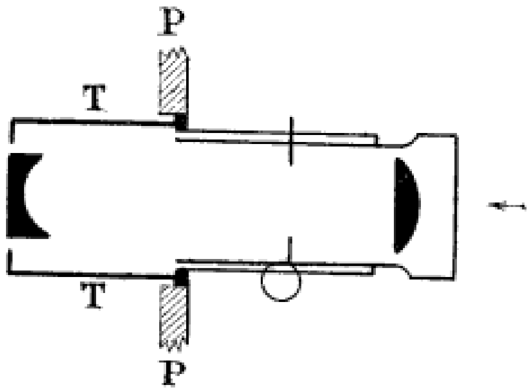


Fig. 16.

Toutefois ce téléobjectif ultra-simple ne possède, à toute ouverture qu'un champ assez restreint. Nous ne parlons pas d'un champ de netteté, mais du champ d'image homogène affranchi de *flou déformant*, c'est-à-dire de l'angle dans lequel les aberrations des faisceaux obliques (coma et astigmatisme) ne se font pas sentir d'une façon gênante.

Quand la frontale et la négative sont simples toutes deux, cet angle est très petit. Il faut donc, si l'on a un tirage modéré, se contenter de couvrir une très petite plaque et si l'on veut faire gros il faut allonger hardiment le soufflet et s'éloigner du modèle : mais alors celui-ci doit pouvoir affronter les longues poses car la luminosité diminue. En tous cas, il faut procéder à la mise en plaque avec le plus grand soin, mettre au centre de celle-ci les yeux et les narines du modèle et amener l'image à sa place par décentrement.

L. de Pulligny.

Réduction d'une épreuve 13 × 18.
Symétrique à 2 ménisques en crown F : 6,3.
Instantané à l'atelier.
Obturateur Guerry à double volet.

Pour que le champ homogène garnisse une plaque plus étendue et pour obtenir un flou plus tranquille, plus modéré, un flou de père de famille, un flou de tout repos, il ne faut pas cumuler les aberrations de la frontale avec celles de l'amplificatrice, et à la frontale simple qui est affligée de ces aberrations au maximum pour une grande ouverture, il faut substituer une frontale double très lumineuse, corrigée ou non d'achromatisme, objectif de Peltzval, anastigmat ou *anachromat symétrique*. Si en même temps on recourt aux grands tirages d'une chambre d'atelier on peut diminuer γ, et si on veut aller vite il faut adopter de grandes frontales, objectifs de 3 pouces, de 4 pouces, de 5 pouces (lentilles de $13^{cm},5$ de diamètre). Mais alors la monture de l'objectif est déjà un petit canon : quant au tube qui la relie à l'amplificatrice il prend les proportions d'un télescope.

De cette difficulté l'emploi d'une chambre à trois corps fournit une solution élégante en supprimant ce tube embarrassant.

Vous possédez, par exemple, une chambre trois corps 24×30 armée d'un symétrique anachromatique type n° 3 (tableau page 48) de 55 centimètres de foyer; le diamètre des lentilles est de 108 millimètres. Cet objectif est fixé à son ordinaire sur la planchette du corps avant *(fig. 17)*.

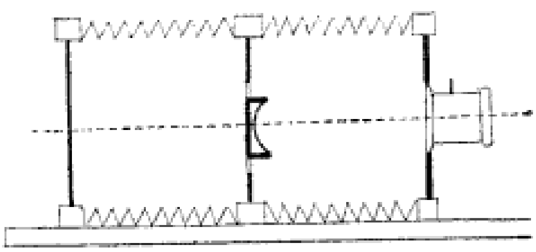


Fig. 17.

Pour le transformer en frontale, et avoir ainsi un téléobjectif de grande clarté, il suffit de placer dans le corps milieu une planchette portant à mi-bois une lentille plan concave en crown, de 27 centimètres de longueur focale et de 10 centimètres de diamètre. Cette planchette se met et se retire, à la main.

Naturellement la lentille plan concave devra être fixée sur la planchette de telle sorte que son centre soit sur l'axe principal de l'objectif-frontale.

Dans les chambres à trois corps, une manivelle permet de faire varier à volonté l'écart entre le corps avant et le corps milieu; on pourra donc, sans quitter la glace dépolie, donner à Δ, intervalle optique, les valeurs que l'on voudra.

Cette solution, en supprimant la monture, permet donc de réaliser sans peine et sans frais des téléobjectifs aussi puissants qu'on veut; on pourra prendre pour frontale un 5 pouces, un 6 pouces, formant ainsi un instrument de grande clarté et permettant de faire des portraits à grande échelle sans poser plus longtemps qu'on n'a coutume de le faire dans les ateliers.

Pour la photographie pictoriale on emploiera comme frontale des symétriques anachromatiques; mais les photographes professionnels, qui trouveraient le *flou* de cet instrument encore trop révolutionnaire, pourront prendre comme frontale l'objectif Peltzval de 3 pouces, 4 pouces ou 5 pouces qu'ils possèdent tous et ils réaliseront ainsi ce que nous avons nommé les *téléobjectifs demi-anachromatiques*.

Téléobjectifs demi-anachromatiques. — Ces instruments seront constitués par une frontale corrigée et par une lentille plan concave placée dans le corps intermédiaire de la chambre à trois corps, d'un foyer moitié de celui de la frontale et d'un diamètre égal à $\frac{1}{6}$ de ce foyer.

Exemple :

Avec un Peltzval 4 pouces, de longueur focale f_1 *comptée du diaphragme* égale à 45 centimètres on emploira une lentille plan-concave de foyer $f_2 = \frac{F}{2} = 22$ centimètres et demi, et de diamètre $d = \frac{f_1}{6} = 7$ centimètres et demi.

Le téléobjectif demi-anachromatique donne un flou à peine sensible mais qui cependant corrige radicalement la sécheresse des objectif à portraits, insupportable pour des têtes à grande échelle. De plus il efface assez les accidents de la peau pour rendre la retouche inutile ou au moins très facile.

Au lieu de prendre comme frontale un Peltzval complet, on peut prendre ce que nous avons appelé un objectif demi-anachromatique constitué par la lentille avant d'un Peltzval associé à un ménisque simple.

Le téléobjectif ainsi constitué fournira un flou intermédiaire entre celui de l'instrument précédent et celui d'un télé complètement anachromatique avec frontale double.

Quant à l'image de ces derniers elle est très agréable. Il semble même qu'elle possède plus d'enveloppe et plus de simplicité que celle fournie par un système convergent de même ouverture relative et de foyer égal. On pourra faire aussi, avec ces instruments, à très grande distance : 8, 10 ou 15 mètres, des portraits en pied, de format 18×24 par exemple, dans lesquels la perspective sera excellente, et certains raccourcis deviendront possibles.

Le téléobjectif d'atelier est un instrument amusant et intéressant à manier.

Et si l'on observe que la lentille amplificatrice qui doit être combinée avec les divers types de frontales : achromatiques, anachromatiques ou demi-anachromatiques, peut être elle-même corrigée ou non de l'aberration chromatique, on voit quelle série variée de téléobjectifs pour figures on peut construire et combien il est facile de doser à son gré la nature et l'importance du flou synthétique.

Toutes les combinaisons incomplètement corrigées exigeront naturellement, après la mise au point, une correction pour amener au contact de la place sensible le foyer de l'image violette.

Cette correction qui consiste à faire varier d'une quantité déterminée l'écart entre les éléments, positif et négatif, est fort simple à effectuer comme on le verra pages 79 et suivantes.

L'OBJECTIF A PAYSAGE

L'OBJECTIF A PAYSAGE DOIT ÊTRE UN TÉLÉOBJECTIF A COURT FOYER
L'ADJUSTABLE LANDSCAPE LENS

Jusqu'ici les solutions données au problème de l'objectif rationnel propre au paysage pur ont été très incomplètes. Certes, l'objectif simple n'est pas un mauvais outil, mais c'est, comme nous le verrons, un outil insuffisant. Les téléobjectifs corrigés, actuellement en usage, peuvent rendre quelques services ; mais l'emploi de ces combinaisons ne saurait être général ; il vise des cas très particuliers ; nous le montrerons plus loin. Les divers types d'objectifs anachromatiques (dont il vient d'être question), très aptes à rendre les figures, les scènes de genre, les études d'ateliers, s'appliquent moins bien aux paysages ; *le rendu des lointains exige, en effet, une surface focale assez plane.* La lentille simple plan-convexe, face plane tournée vers l'extérieur, avec diaphragme en avant, donne, si on la diaphragme très fortement, une assez bonne définition des plans et un dessin ferme et gras sans sécheresse. Mais la solution ainsi obtenue est également loin de la perfection.

6.

Posons donc nettement les termes du problème ; ce qui est facile, car les conditions que doit remplir un objectif propre au paysage sont assez étroites :

Un objectif, — si l'on écarte, provisoirement, la question du *rendu* qui relève de l'esthétique, — est défini par sa *longueur focale* et par son *ouverture relative.*

La *longueur focale* d'un objectif est conditionnée par les nécessités de la *perspective linéaire*. Son *ouverture relative* est conditionnée par les nécessités de la *perspective aérienne*. en d'autres termes, par les convenances de la profondeur de champ, celle-ci étant fonction de l'ouverture.

Or, dans le paysage plus que dans tout autre genre, ces nécessités se montrent impérieuses. D'une part, le choix du point de vue (perspective linéaire) y est très limité ; d'autre part, les plans étant multipliés, et très distants les uns des autres en profondeur, la nécessité de distribuer judicieusement la netteté entre ces plans (perspective aérienne) s'impose beaucoup plus fortement que dans le cas d'une étude d'atelier ou d'un portrait.

Ceci dit, pour plus de clarté, écrivons d'abord les conclusions que nous nous proposons de justifier ensuite :

1° *D'une part, un objectif propre au paysage devra offrir des foyers multiples, variant de façon continue à la volonté de l'opérateur ;*

2° *D'autre part, la bonne distribution de la netteté entre les plans successifs et la convenance d'assurer aux lointains un dessin suffisamment ferme, conduisent à diminuer l'ouverture relative utilisée à mesure que le foyer s'allonge. Par suite, dans un tel objectif à foyer variable, le diamètre du plus grand diaphragme pratiquement utilisable a une valeur constante.*

3° *Nous en conclurons que le téléobjectif est ici l'ob-*

jectif idéal : il satisfait pleinement à la condition des foyers multiples ; il fournit les longs foyers généralement nécessaires à une bonne perspective, avec un tirage restreint de la chambre ; enfin, si son ouverture relative est assez faible, elle est néanmoins supérieure à celle qui est normalement imposée par les exigences de la perspective aérienne.

1° Sur le premier point il est sans doute inutile d'insister ; la cause est entendue. Ce n'est pas assez dire que, dans le paysage, le choix du point de vue est limité ; il est proprement imposé. Lorsqu'après des tâtonnements divers, après des reconnaissances poussées à droite, à gauche, en avant, en arrière, vous vous êtes arrêté en un lieu tel que les éléments du paysage choisi se présentent, se combinent de la façon la plus harmonieuse possible, la place de votre œil est la place du point de vue nécessaire, *unique*. C'est en ce point précis qu'il faut à votre œil substituer votre objectif.

Mais l'harmonie de la composition ne décide pas seulement du point de vue. Elle règle aussi les limites du cadre avec une grande rigueur. Il faut au-dessus du motif principal tant de ciel et en dessous tant de terrain : autant et pas davantage. A gauche le cadre s'arrêtera pour exclure tel arbre trop rapproché ; à droite il devra, de toute nécessité, comprendre telle maisonnette qui en balance une autre dans l'équilibre général.

Tout ceci ne détermine pas une échelle, et le tableau, ainsi défini, pourrait s'inscrire au choix dans un 9×12 ou dans un 24×30. Mais si nous avons pris la peine de promener une chambre 24×30 ou 18×24, ce n'est pas pour rapporter des miniatures, et notre ambition sera évidemment de pouvoir, quel que soit le point de vue, garnir au moins un des côtés de notre plaque avec le tableau que nous avons choisi.

Pour cela il faut autant de foyers que de distances du sujet, d'où le succès des trousses à paysage. Un objectif à foyer variable, offrant une série continue de longueurs focales, fournira une solution encore plus complète et moins encombrante, par conséquent préférable.

Entre quelles limites est-il pratiquement utile de pouvoir faire varier la longueur focale, pour un format déterminé? c'est une autre question. Nous en parlerons tout à l'heure. Pour le moment, et sans nous attarder davantage, contentons-nous d'avoir établi — aisément — notre premier point.

2° Pour établir le second, à défaut d'une démonstration théorique qui nous entraînerait bien loin, nous nous contenterons d'invoquer l'expérience. Tous ceux qui ont manié des trousses et, par suite, ont fait varier, pour un format constant, la longueur focale du système optique ont pu constater qu'ils n'étaient en rien gênés par les variations de l'ouverture relative des diverses combinaisons. Dans la monture, toujours de même diamètre, où ils plaçaient leurs combinaisons successives, le diamètre du plus grand diaphragme demeurait constant; la plus grande ouverture relative diminuait donc à mesure que s'allongeait le foyer, cependant elle demeurait toujours plus que suffisante et, en général, elle devait être réduite.

L'expérience prouve, en effet, que si on désigne par f la longueur focale principale d'un objectif, exprimée en centimètres, la plus grande ouverture pratiquement utilisable *dans le paysage* a pour expression $\frac{2}{f}$. Ainsi, si l'on a un objectif de 20 centimètres de foyer, on pourra souvent utiliser l'ouverture maxima $\frac{2}{20}$ ou 1 : 10 ; mais si l'objectif a 40 centimètres de foyer, on est amené à le diaphragmer à 1 : 20 et au-dessous.

Et ce qui amène à cela c'est la nécessité, le point étant forcément mis sur un plan rapproché, d'assurer au lointain un dessin correct, non pas net mais suffisamment ferme.

Le diamètre absolu du plus grand diaphragme utilisable est donc une constante, voisine de 2 centimètres, et, par suite, aux lentilles de tous les objectifs à paysages, quel que soit leur foyer, il suffira de donner un diamètre voisin de 3 centimètres.

Et la chose est également vraie pour le téléobjectif.

3° Ainsi tombe la seule objection qu'on pourrait faire à l'adoption du téléobjectif comme outil propre au paysage, objection portant sur sa luminosité réduite et décroissante avec le tirage ; et il ne nous reste plus qu'à étudier le choix des éléments d'une combinaison téléphotographique devant armer une chambre de campagne de format déterminé : 18×24 par exemple.

Une chambre de ce format a un tirage maximum de 55 centimètres environ, D'autre part, il est impossible de faire travailler un élément négatif simple à un angle trop grand ; le tirage minimum admissible pour couvrir 18×24 est de 30 à 40 centimètres. (Dans les catalogues il est en général de 40 centimètres.)

Donc, en faisant varier notre tirage de 30 à 55 centimètres, nous devrons obtenir les foyers résultants utiles dans la pratique.

Or l'expérience montre qu'en ce qui concerne le paysage et pour le format 18×24, dans la quasi totalité des cas, on n'aura à utiliser que les foyers inférieurs à 90 centimètres, et que les foyers compris entre 40 et 65 centimètres seront les plus souvent employés.

Avec ces foyers, le point de vue est suffisamment reculé pour que les lointains entrent en scène et jouent dans le tableau le rôle important qui leur incombe et que les objectifs à foyers courts suppriment si malencontreusement.

Quand on augmente trop le foyer, le point de vue est reculé d'autant et alors le rôle joué par les lointains devient excessif et encombrant. Les premiers plans perdent alors trop de leur importance légitime.

Pouvons-nous avoir une combinaison qui nous donne cela?

Dans le téléobjectif la distance de l'image à l'élément négatif, en d'autres termes, le tirage β nécessaire pour avoir une image à l'échelle $\frac{1}{n}$ est donné par la formule

$$\text{(1)} \qquad \beta = \frac{1}{n}f + \frac{1}{\gamma}f - f_2.$$

Dans le paysage les objets sont très éloignés, n est très grand, le premier terme peut être considéré comme nul. Si alors nous tirons f de cette expression nous avons

$$f = (f_2 + \beta)\gamma = (f_2 + \beta)\frac{f_1}{f_2} = f_1 + \frac{f_1}{f_2}\beta.$$

Cette expression :

$$\text{(2)} \qquad f = f_1 + \frac{f_1}{f_2}\beta$$

va nous servir à résoudre le problème.

En moyenne, les téléobjectifs dont les combinaisons sont recommandées dans les catalogues pour 18 × 24, ont : $f_1 = 20$, $\frac{f_1}{f_2} = 3$, le minimum du tirage β étant de 40 centimètres; on a alors pour ce tirage minimum :

$$f = 20 + 3 \times 40 = 1^{m},40.$$

Le foyer minimum de ces combinaisons est de $1^{m},40$. ce sont des foyers beaucoup trop grands pour le paysage, bons pour photographier le Cervin ou le clocher de la cathédrale de Chartres et qui fournissent des lointains d'une hauteur exagérée. Si l'on veut avoir des foyers moindres partant plus rationnels, comme ceux que nous avons indiqués plus haut, l'expression (2) nous montre qu'il faut que $\frac{f_1}{f_2}$ soit beaucoup plus petit.

Faisons $\frac{f_1}{f_2} = 1$, c'est-à-dire donnons à la négative le même foyer qu'à la positive, et prenons ce foyer égal à 10 centimètres.

Pour le tirage minimum de 30 centimètres, nous aurons (formule 2) :

$$f = 10 + 30^{c} = 40^{cm},$$

et pour le tirage maximum 55 centimètres de notre chambre :

$$f = 10 + 55 = 65.$$

Un téléobjectif dans lequel $f_1 = f_2 = 10^{cm}$, adapté à une chambre ordinaire 18×24, nous donnera tous les foyers entre 40 et 65 centimètres, c'est-à-dire les foyers d'usage le plus courant pour ce format.

Il les donnera au delà de 65 centimètres si la chambre est à triple tirage.

Un objectif conforme à ces données a été construit sous le nom d' « Adjustable Lanscape Lens », de Pulligny (1). Il est de la plus grande simplicité, puisqu'il comprend : comme positive une lentille plan convexe en crown, de 3 centimètres de diamètre, de 10 centimètres de foyer ; comme négative une lentille plan concave en crown, de même diamètre et de même foyer.

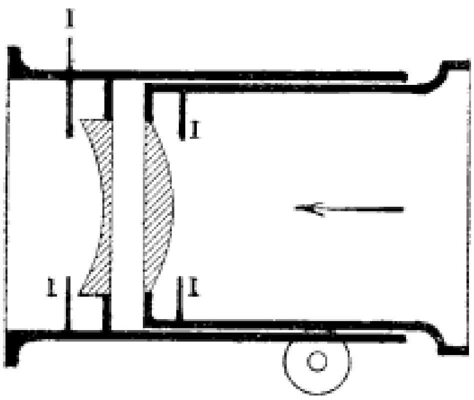


Fig. 18.

Il suffit de faire varier, dans de faibles limites, l'écart entre ces deux éléments pour avoir les foyers résultants de 40 centimètres à 65 centimètres et au delà.

La monture, à crémaillère, est munie de deux iris permettant de diaphragmer séparément la négative et la positive *(fig. 18)*.

Dans un tel instrument, où les courbures de la lentille négative sont identiques à celles de la positive, et où les deux lentilles sont très rapprochées, la théorie montre que l'aplanétisme, l'anastigmatisme et la planitude de champ pour un certain angle de champ et un certain diaphragme, sont convenablement assurés. (Voir calcul p. 220 et suivantes.)

Suivant la variation des diaphragmes, on obtiendra des synthèses plus ou moins complètes, des flous plus ou moins accentués.

L ouverture de 2 centimètres pour la frontale sera généralement employée. (Voir p. 86.)

Dès le tirage de 30 centimètres, le 18×24 est assez convenablement couvert ; à 40 centimètres, il l'est bien.

(1) On a compris que ce nom anglais était une concession opportune à l'Entente cordiale (juin 1905).

Remarque. — La longueur focale f de cet objectif est égale (p. 55, formule 1) à :

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta} = \frac{f_1^2}{\Delta},$$

car $f_1 = f_2$; d'autre part Δ est ici égal à la distance des points nodaux qui sont à l'intérieur des lentilles, et ceux-ci sont à une très petite distance des faces planes.

En rapprochant les deux faces planes jusqu'au contact on peut donc obtenir un foyer aussi grand que l'on veut (1).

Quant au foyer minimum, il faut considérer que les aberrations se font sentir d'autant plus que l'écart des faces augmente. Pour ce motif il convient que l'écart maximum Δ_0 n'excède pas le quart du foyer f_1 commun aux deux lentilles : $\Delta_0 = \frac{f_1}{4}$.

Le foyer résultant minimum fourni par l' « adjustable » considéré est donc :

$$f_0 = \frac{f_1^2}{\frac{f_1}{4}} = 4f_1 = 40^{cm}.$$

Quant à la plus grande ouverture relative, correspondant à ce foyer minimum, il faut considérer que la frontale ne saurait travailler à une ouverture supérieure à $\frac{f_1}{4}$; même généralement on la réduira à $\frac{f_1}{5}$. Le plus grand diamètre utilisable est donc de 25 millimètres, et la plus grande ouverture relative est : $\frac{2^{cm},5}{40} = \frac{1}{16}$ et, dans la pratique courante, $\frac{1}{20}$.

(1) En réalité, comme les points nodaux ne coïncident pas exactement avec les faces, le foyer maximum ne peut dépasser 5 mètres environ.

L'adjustable, pour les foyers compris entre 40 et 60 centimètres travaille donc à des ouvertures variant de $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{30}$, Comme nous l'avons démontré plus haut, ces ouvertures sont rationnelles pour le paysage et elles permettent d'ailleurs l'instantané lent.

Nous venons de décrire le modèle d'adjustable pour 18×24. Si l'on veut d'autres types s'appliquant à d'autres formats, on pourra avoir avantage à prendre le foyer commun aux deux lentilles plus petit ou plus grand.

Si, pour le format 13×18, nous prenons ce foyer $f_1 = 7^{cm},5$, le foyer résultant minimum s'abaissera en effet à $4 f_1 = 4 \times 7,5 = 30^{cm}$. Il est vrai que dans ce cas le diamètre du plus grand diaphragme sera inférieur à 2 centimètres.

Mais pour le format 24×30, on gagnera en luminosité si l'on prend $f_1 = 13$; le plus grand diamètre utilisable sera alors plus grand que 2 centimètres.

Le tableau ci-dessous donne ces diverses combinaisons :

CHAMBRE DE CAMPAGNE du FORMAT	OBJECTIF " ADJUSTABLE "				
	LENTILLES COMPOSANTES		DIAPHRAGME MAXIMA $d = f_1 : 5$	FOYER MINIMUM $F_0 = 4 f_2$	
	Rayon de la face courbe	Longueur focale $f_1 = f_2$		Longueur	Ouverture relative $\frac{d}{F_0}$
13×18	$3^{cm},75$	$7^{cm},5$	$1^{c},5$	30^{c}	$\frac{1}{20}$
18×24	5^{cm}	10^{cm}	2^{c}	40^{c}	*id.*
24×30	$6^{cm},5$	13^{cm}	$2^{c},6$	52^{c}	*id.*

Autres systèmes téléphotographiques. — Revenons à notre chambre de campagne 18×24, Si nous voulons pour les tirages qu'elle nous permet, tirages compris entre 30 et 55 centimètres, avoir des foyers supérieurs à 65 centimètres, il nous faut une combinaison dans laquelle γ sera > 1. Si $\gamma = \frac{4}{3}$, la frontale ayant un foyer $f_1 = 20$ centimètros, nous obtiendrons les foyers résultants f :

Pour le tirage de 35 centimètres :

$$f = 20 + \frac{4}{3}35 = 67^{\text{cm}}.$$

Pour le tirage de 55 centimètres :

$$f = 20 + \frac{4}{3}55 = 93^{\text{cm}}.$$

De telles longueurs focales peuvent assez fréquemment trouver leur emploi dans le paysage.

Mais les diverses combinaisons de lentilles simples que nous avons essayées ne nous ont pas donné complète satisfaction; au point de vue de la correction des aberrations, nous perdons ici les avantages résultant de l'identité de la frontale et de l'amplificatrice. Il y a donc encore des études à faire dans cette voie.

Pour le paysage, les combinaisons demi-anachromatiques ne paraissent pas non plus à recommander. Si l'on prend comme frontale un anastigmat, comme amplificatrice une lentille simple, plan concave en crown, l'image n'est pas homogène dans les plans parallèles au tableau et nous avons vu que c'est là un défaut grave dans le genre que nous considérons.

CORRECTIONS DES OBJECTIFS

INSTRUCTIONS PRATIQUES

A. — CORRECTIONS

1° Objectifs à éléments convergents. — Pour tous les objectifs anachromatiques à systèmes *convergents : lentille plan convexe, ménisque simple, symétrique anachromatique* à deux ménisques, *objectif demi-anachromatique* composé d'un élément corrigé et d'un élément non corrigé, la correction s'effectue de la même manière *par un raccourcissement du tirage après mise au point.*

Les deux données à connaître sont :

1° La longueur focale de l'objectif, — longueur indiquée par l'opticien, ou mesurée suivant les méthodes connues ;

2° La valeur de l'aberration chromatique longitudinale. Elle représente la valeur $\Delta p = \varepsilon F$ dont il faut diminuer la longueur focale F après mise au point sur le foyer des rayons jaunes *parallèles à l'axe* pour amener la glace au foyer des rayons violets. (Voir calcul 4, pages 92 et suivantes).

Pour les systèmes anachromatiques composés de lentilles en crown on pourra prendre :

$$\varepsilon = 0{,}0176 = \frac{1}{57}.$$

Pour les systèmes demi-anachromatiques, il faudra calculer ε d'après une des méthodes indiquées (calcul 8 pages 108 et suivantes).

F et ε étant connus, la correction peut être calculée dans chaque cas particulier soit en fonction du grossissement $\frac{I}{O} = \frac{\text{image}}{\text{objet}}$, soit en fonction du tirage de la chambre, soit en fonction de la distance du modèle au diaphragme de l'objectif. (Voir pages 90 et suivantes.)

La correction avec entrée par les distances du sujet est de beaucoup la plus pratique. C'est la seule dont nous allons parler ici.

Correction d'après la distance du sujet. — La quantité Δp dont il faut diminuer le tirage après mise au point sur un objet placé à la distance p de l'objectif d'un foyer f est donnée par l'équation :

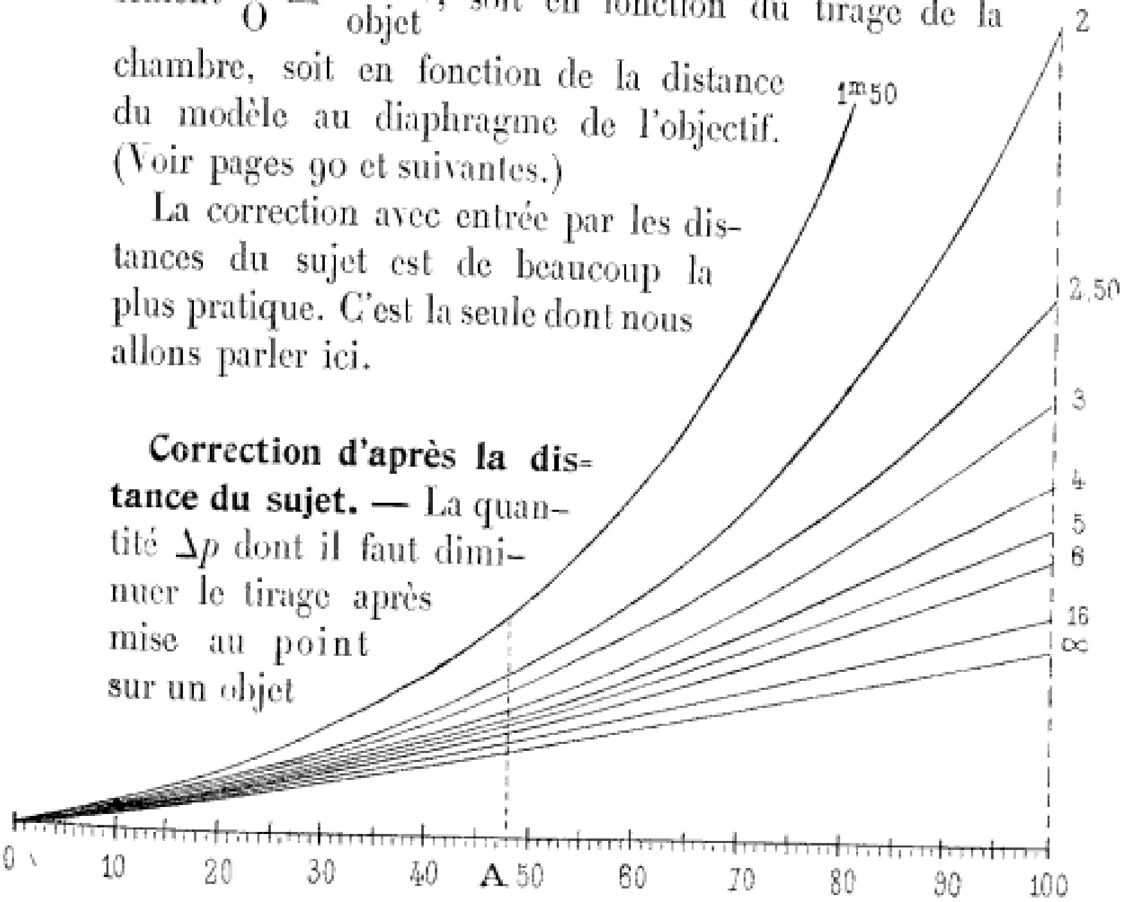


Fig. 19.

$$\Delta p = \varepsilon f\left(\frac{p'}{p' - f}\right)^2.$$

On peut avec cette formule faire un tableau ayant p' (distance du modèle) comme entrée.

Mais le graphique ci-joint *(fig. 19)* dispense de tout calcul et fournit immédiatement l'échelle de correction pour tout objectif en crown de longueur focale déterminée.

L'usage de ce graphique est le suivant : la ligne horizontale divisée en millimètres correspond aux distances focales exprimées en centimètres, et chacune des courbes à une distance donnée du modèle à l'objectif. La distance verticale de la courbe à la ligne horizontale donne la correction Δp, en grandeur exacte.

EXEMPLE :

Soit un objectif de $0^m,48$ de foyer. Supposons que le modèle soit à 6 mètres de l'appareil : on élèvera, à la division 48, une perpendiculaire à la ligne divisée, jusqu'à la rencontre de la courbe 6 : la longueur de cette perpendiculaire donnera la valeur de Δp.

Si donc l'échelle de correction n'est pas gravée d'avance, sur la monture, ou si l'on change les lentilles, on opérera de la façon suivante :

Prendre un petit rectangle en papier blanc *(fig. 20)*, dont on met la tranche O au contact de la ligne horizontale à la division millimétrique correspondant au foyer (Exemple en A, au 48^{me} millimètre si le foyer est de 48 centimètres) et l'on marque à la plume les intersections avec les lignes ∞, 6, 5, 4, 3, 2,5, 2, 1,5.

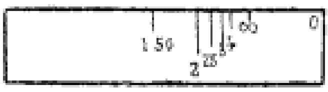


Fig. 20.

Cela fait, si l'on possède une monture à crémaillère, on amène le diaphragme D à bloc *(fig. 21)* vers le parasoleil et on colle le rectangle de papier sur le cylindre extérieur, le long de l'échancrure, de façon que la tranche O soit au droit de la tranche avant du diaphragme.

Après quoi on opérera de la façon suivante. Chaque fois qu'on a à mettre au point, on amène d'abord le diaphragme à bloc en D. Après la mise au point, on mesure la distance du modèle à l'objectif. Cette distance étant, je suppose, de 2 mètres, on tourne le bouton de la crémaillère jusqu'à ce que la tranche du diaphragme soit en face du repère marqué 2. L'objectif est alors prêt à fonctionner.

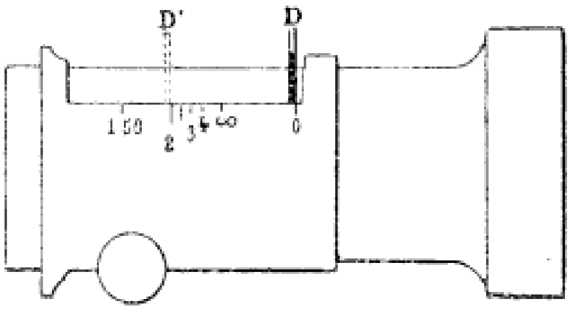


Fig. 21.

Si l'objectif n'a pas de monture à crémaillère, on fait la correction par la queue de la chambre; au moyen de l'échelle marquée sur le petit papier *(fig. 20)* en se rappelant qu'il faut *diminuer* le foyer, c'est-à-dire rapprocher la glace dépolie de l'objectif.

Remarque. — Les objectifs anachromatiques étant livrés avec l'échelle de correction gravée d'avance sur la monture, les amateurs n'auront, en fait, aucun calcul à effectuer et ne trouveront aucune difficulté dans l'emploi de ces systèmes.

Nous indiquons, d'ailleurs, dans la deuxième partie pages 115 et suivantes, divers autres procédés pour effectuer la correction chromatique.

2° Correction des téléobjectifs. — La correction d'un téléobjectif anachromatique s'obtient, en faisant varier, après la mise au point, l'écart optique Δ ou, ce qui est la même chose, l'écart entre l'élément convergent et l'élément divergent.

La quantité dont il faut diminuer Δ a pour expression : (Voir calculs, pages 212 et suivantes.)

$$(1) \qquad \varepsilon_1 f_1 - \varepsilon_2 f_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\Delta$$

ε_1 et ε_2 représentant respectivement les coefficients d'aberration de la frontale et de l'amplificatrice. Cette expression est générale.

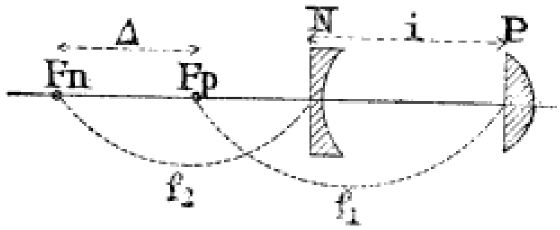


Fig. 22.

Correction des télé-objectifs anachromatiques pour figures. — Si $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ comme dans les systèmes dont nous avons parlé (pages 59 et suivantes), c'est-à-dire si les deux éléments sont constitués par des lentilles en crown, l'expression ci-dessus devient :

$$(2) \qquad \varepsilon_1(f_1 - f_2) + 2\varepsilon_1\Delta$$

dans laquelle nous connaissons les constantes f_1 et f_2 et la constante $\varepsilon_1 = \frac{1}{57}$. Δ est la seule variable.

On mesure Δ très facilement.

Si nous appelons i l'intervalle entre les deux éléments, on voit que : *(fig. 22)*.

$$\Delta + f_1 = i + f_2,$$

d'où

$$\Delta = i + f_2 - f_1.$$

L'expression (2) devient alors

$$2\varepsilon_1 i - \varepsilon_1(f_1 - f_2).$$

Le deuxième terme est une constante de l'objectif calculée une fois pour toutes :

$$\varepsilon_1(f_1 - f_2) = K.$$

Quant au premier terme, si l'on considère qu'avant toute mise au point on amènera le diaphragme de la frontale à bloc en avant de l'échancrure *(fig. 23)* l'intervalle i (1) est égal à

$$i = a + i' + b = \text{constante} + i' = K' + i'$$

i' étant l'intervalle entre les deux corps avant de la chambre.

La correction devient donc :

$$2\varepsilon i' + 2\varepsilon K' - K$$

ou

$$\frac{4}{100} i' + \text{constante}.$$

Il suffit donc à chaque opération de mesurer i', *intervalle entre les deux corps, de multiplier cet intervalle par* $\frac{4}{100}$ *et d'ajouter une constante.*

L'opération peut être simplifiée encore si on remarque que le terme Δ varie très peu dans les conditions où l'on opère pour le portrait. On peut ainsi remplacer le terme $2\varepsilon\Delta$ par sa valeur moyenne et alors la correction est constante (2).

(1) Si la frontale est un objectif double on mesurera i en partant du diaphragme considéré comme centre optique, si la frontale est une simple lentille plan convexe on comptera i en partant de la face plane.

(2) Exemple :

Pour un télé ayant : $f_1 = 54^{cm}$, $f_2 = 27^{cm}$, on trouve qu'en plaçant le modèle à 3 ou 4 mètres et en prenant les échelles de

Pour la faciliter, on graduera la monture à crémaillère de la frontale en millimètres, l'origine de la graduation étant au droit de la tranche avant du diaphragme amené à bloc.

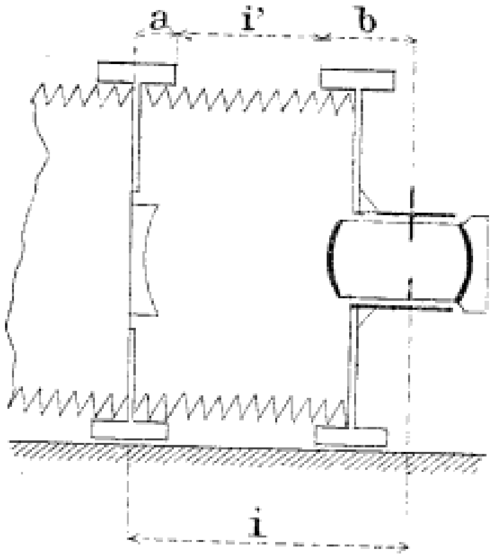


Fig. 23.

Après mise au point, on *rapprochera* la frontale de l'amplificatrice de la quantité voulue, en tournant le bouton de la crémaillère jusqu'à ce que la tranche avant du diaphragme soit en face de la division millimétrique calculée.

Correction d'un télé demi-anachromatique. — Si la frontale est corrigée $\varepsilon_1 = 0$ et alors la correction (1) devient

$$- \varepsilon_2 f_2 + \varepsilon_2 \Delta.$$

Δ étant toujours inférieur à f_2, cette expression donne une valeur *négative, c'est-à-dire qu'au lieu de rapprocher la frontale il faudra l'éloigner de la négative,* et augmenter ainsi l'écart.

On pourra ici prendre pour Δ une valeur moyenne et alors la correction $\varepsilon_2(f_2 - \Delta) = \frac{4}{100}(f_2 - \Delta)$ sera constante.

réduction allant de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{4}$, la correction moyenne est de 14 millimètres.

On pourra donc se contenter dans la pratique de rapprocher la frontale de 14 millimètres.

Correction de l' « Adjustable. — Dans l' « Adjustable », l'écart entre lentilles est si faible que la correction théorique se traduirait par dixièmes de millimètre. Si on ne la fait pas, le résultat est de rapprocher légèrement le point, ce qui pour le paysage offre plus d'avantages que d'inconvénients.

L'emploi pratique de l'adjustable n'exige donc pas de correction.

Si on désire la faire, au lieu de rapprocher la frontale de l'amplificatrice, ce qui exigerait une précision micrométrique, on se contentera de diminuer, après mise au point, le tirage de la chambre d'une quantité égale au $\frac{4}{100}$ de ce tirage.

B. — CONSEILS PRATIQUES

Mise au point. — Quand un objectif anachromatique est utilisé à grande ouverture, l'image jaune vue sur la glace dépolie n'apparaît pas très nette. Il en peut résulter une hésitation sur la place exacte à donner à la glace dépolie.

Dans ce cas, il suffit de diaphragmer, à $f : 8$ par exemple ; la netteté de l'image est alors telle que la mise au point peut se faire très exactement. Après quoi, avant d'opérer, on rétablit le diaphragme dont on veut se servir.

Choix du diaphragme. — La largeur de la frange chromatique étant proportionnelle au diamètre du diaphragme, la synthèse chromatique sera d'autant plus accentuée que le diaphragme employé sera grand.

En faisant, dans les objectifs à portrait, varier l'ouverture depuis l'ouverture maximum, voisine de f : 5. jusqu'au diaphragme f : 9 ou f : 10 on aura toute la gamme des effets.

On diaphragmera d'ordinaire à f : 5, f : 6 ou f : 7 pour une tête féminine; pour les portraits d'enfants, ou de personnes ayant les traits mous, on emploiera f : 6, f : 7 ou f : 8. Pour les têtes d'hommes l'ouverture pourra être resserrée jusqu'à f : 9 afin d'avoir plus d'accent.

Si l'on photographie l'objet à une échelle réduite, on emploiera un diaphragme plus petit que pour représenter le même objet à grande échelle.

Cas particulier. — Dans le cas spécial d'une figure violemment éclairée d'un côté et placée sur fond sombre, éclairage à oppositions violentes, il faudra resserrer le diaphragme à f : 8 ou f : 10 et poser court pour éviter l'effet de halo que produirait sur le contour éclairé une frange chromatique trop large et très active.

En effet ici, l'estompé qui relie le contour de la figure au fond sombre s'imprimera très fortement et sera très apparent, parce que dans ce genre d'éclairage on calcule le temps de pose pour les parties de l'objet placées dans l'ombre. Par suite les parties éclairées sont surexposées et les rayons peu actiniques de la frange ont le temps d'impressionner la plaque. Cette impression se faisant sur une partie transparente du cliché apparaîtra aussi d'autant plus nettement. En diminuant le diaphragme jusqu'à f : 8 on évitera cet inconvénient.

Emploi du décentrement. — Dans les portraits et les études de figure, on aura toujours intérêt à faire passer par le centre de la figure l'axe de l'objectif, surtout si celui-ci est constitué par une lentille simple. On assurera ainsi la coïncidence du centre de netteté maxima avec le centre d'intérêt esthétique.

Pour réaliser cette disposition, il convient de placer d'abord la figure au centre de la glace dépolie ; après quoi sans déranger la position de la chambre on amène la figure sur la glace dépolie à la place qu'on désire au moyen du décentrement de la planchette.

Durée d'exposition. — Plus longuement on laisse agir la frange chromatique plus l'effet de synthèse est accusé. Il y a donc là, dans le choix judicieux de la durée d'exposition, un moyen d'influer sur le rendu de l'objet.

Une exposition prolongée tendra à diminuer les oppositions, à donner plus d'enveloppe, à adoucir le dessin ; une exposition courte rendra le dessin plus ferme et les oppositions plus accentuées.

Correction. — Dans la correction des objectifs à systèmes convergents, il conviendra de ne pas raccourcir le foyer plus qu'il n'est nécessaire, mieux vaudrait rester en deçà de la correction exacte. En effet, si l'on dépasse la correction exacte, on transporte le point au delà du plan d'intérêt, par suite on retrouvera, sur l'image, au delà du personnage, des objets plus nets que le personnage lui-même.

Le même effet se produira si, dans la correction des téléobjectifs *anachromatiques*, on rapproche trop la frontale de l'amplification. Ici encore mieux vaudra rester en deçà de la correction.

Au contraire, dans la correction des téléobjectifs *demi-anachromatiques*, qui s'effectue *en éloignant* la frontale de l'amplificatrice, il sera préférable d'augmenter un peu le déplacement de la frontale et de ne pas faire une correction trop faible toujours pour la même raison.

" Adjustable ". Mise au point. Diaphragmes. — Avec les objectifs à paysage on mettra au point comme d'ordinaire, sur le plan d'intérêt.

Le diaphragme avant servira ici, non seulement à assurer la profondeur de champ convenable, mais aussi à modifier l'aspect du rendu.

Généralement le diamètre du diaphragme de la frontale sera choisi voisin de $f_1 : 5$.

Le diaphragme arrière sert principalement à empêcher l'illumination du soufflet et assure par là le brillant de l'image. On réduit donc ce diaphragme jusqu'au moment où l'on voit apparaître une ombre circulaire dans les angles de la glace dépolie. A ce moment, on redonne un peu d'ouverture.

Dans la pratique on pourra se contenter de donner au diaphragme arrière une ouverture un peu moindre que celle du diaphragme avant.

Ainsi, dans l'adjustable modèle 18×24, les combinaisons les plus habituelle sont :

$$\text{Diaphragme} \ldots \begin{cases} \text{Frontale} = 2^{\text{cm}}; \\ \text{Négative} = 1^{\text{cm}},5. \end{cases}$$

ou si l'on veut un flou plus accentué :

$$\text{Diaphragme} \ldots \begin{cases} \text{Frontale} = 2^{\text{cm}},5; \\ \text{Négative} = 2^{\text{cm}}. \end{cases}$$

DEUXIÈME PARTIE

THÉORIE DES OBJECTIFS ANACHROMATIQUES

LA CORRECTION CHROMATIQUE

1. Aberration chromatique longitudinale. Rayons visuels et rayons chimiques. — On a vu au chapitre 3, page 24, qu'une lentille simple qui reçoit d'un point lumineux P′ un cône de lumière blanche, renvoie vers la glace dépolie une série de cônes correspondant aux diverses couleurs simples, parmi lesquels un cône jaune avec son sommet en J et un cône violet avec son somment en V *(fig. 24)*. Pour représenter les choses

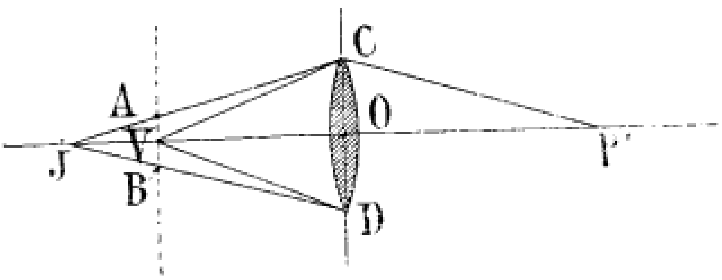


Fig. 24.

simplement on peut dire que l'image des rayons visuels qui impressionnent le plus la rétine est en J tandis que l'image des rayons chimiques, capables d'impressionner la plaque, est en V.

8.

La distance JV est *l'aberration chromatique longitudinale.*

Après avoir mis au point sur l'image J, il faut donc avancer la glace dépolie de la quantité JV avant de la remplacer par la plaque sensible. Si on ne fait pas cette correction indispensable on obtient une mauvaise image, à peu près celle qu'on aurait en mettant au point avec un objectif achromatique à grande ouverture puis en reculant la glace avant d'exposer. Le flou est excessif et mal réparti.

Mais même quand la correction JV a été faite il s'en faut que l'image du point P′ sur la glace placée en V soit réduite à un point. Les rayons violets qui font leur foyer en V tracent sur la plaque un très petit cercle fortement impressionné. Mais tous les rayons qui font leur foyer en avant ou en arrière de V rencontrent aussi la plaque et l'impressionnent d'autant moins que leur foyer est plus loin de V. Il en résulte sur l'image une *auréole* autour d'un point et une sorte d'estompage autour d'une ligne. C'est ce que nous avons appelé la *frange chromatique.* Nous pouvons considérer qu'elle a pour limite le cercle de diamètre AB suivant lequel le cône des rayons J coupe la plaque placée en B. Le rayon de ce cercle est ce qu'on nomme en optique *l'aberration chromatique* latérale.

2. Aberration chromatique latérale. Largeur de la frange chromatique. — Il est facile de voir que pour une correction exacte JV et pour des objets éloignés, la largeur de la *frange chromatique* $r = \frac{AB}{2}$ est égale à environ la centième partie du diaphragme $CD = d$ qui admet les rayons lumineux.

En effet le calcul montre, comme on le verra au § 5 que la valeur de la correction JV est en valeur absolue

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G)$$

ε étant le coefficient de correction chromatique égal à $\frac{1}{50}$ environ; p étant le tirage OJ de la chambre correspondant à la distance $OP' = p'$ du sujet P' et G étant le grossissement $G = \frac{I}{O} = \frac{p}{p'}$.

D'autre part on voit sur la figure (1) que :

$$\frac{AB}{JV} = \frac{CD}{OJ},$$

c'est-à-dire $$\frac{2r}{\varepsilon p(1 + G)} = \frac{d}{p}$$

d'où $$r = \frac{\varepsilon}{2} \cdot d(1 + G);$$

dès que G est inférieur à $\frac{1}{20}$ on peut le négliger par rapport à l'unité et pour $\varepsilon = \frac{1}{50}$ on a :

$$r = \frac{d}{100}.$$

3. Flou absolu et flou relatif. — Pour deux objectifs de foyers différents f et f' dont les *ouvertures relatives* seraient égales, on aurait :

$$\frac{d}{f} = \frac{d'}{f'},$$

et le *flou* serait ainsi plus grand pour l'objectif du plus grand foyer. Mais ce que l'œil perçoit en réalité ce n'est pas ce *flou absolu*. C'est un *flou relatif* dont l'impression est déterminée par le *diamètre apparent* de l'autre, c'est-à-dire par le rapport $\frac{r}{D}$, D étant la distance à laquelle on regarde l'image.

Or l'expérience montre que pour obtenir une image d'une perspective agréable il faut placer l'appareil à une certaine distance, distance au moins égale à la plus grande dimension du sujet et on admet généralement que *cette image doit être regardée à une distance au moins égale à la longueur focale de l'objectif qui l'a fournie.* Dans ce cas le flou relatif $\frac{r}{D}$ a pour expression $\frac{r}{f}$, et l'équation $r = \frac{d}{100}$ donne $\frac{r}{f} = \frac{d}{100 f}$, expression qui ne dépend plus que de l'ouverture relative $\frac{d}{f}$. On peut donc dire que le *flou relatif est égal au centième de l'ouverture relative.*

Avec un objectif de 250 millimètres de longueur focale diaphragmé à $\frac{1}{10}$, la largeur absolue de la frange sera de $\frac{250^{\text{mm}}}{100 \times 10}$, soit $\frac{1}{4}$ de millimètre.

4. Calcul de l'aberration chromatique longitudinale. Correction d'une lentille simple pour les objets éloignés. — Nous avons vu que l'aberration chromatique longitudinale est la distance JV de la figure 24. C'est la correction qu'il faut faire subir à une lentille mince, et nous verrons au § 5 que la valeur de cette correction est égale en grandeur et en signe à :

$$\Delta p = - \varepsilon p(1 + G).$$

Cette correction, pour des rayons sensiblement parallèles à l'axe, en provenance, par conséquent, de points situés au delà de la distance hyperfocale se réduit à :

$$\Delta f = -\varepsilon f$$

avec

$$G = 0,$$

et le *coefficient de correction chromatique* ε a pour valeur $\varepsilon = 0{,}0176 = \frac{1}{57}\ldots\ldots$, quand OJ, c'est-à-dire f, est la longueur focale des radiations (jaunes) d'une raie D' voisine de la raie D, avec une longueur d'onde $\lambda_{D'} = 0^{\mu}{,}550$ (550 millionièmes de millimètre), et quand $OV = f - \Delta f$ est la longueur focale des radiations violettes de la raie G, avec une longueur d'onde $\lambda_G = 0^{\mu}{,}430$ (430 millionièmes de millimètre).

En pratique et pour des calculs de tête on peut prendre :

$$\Delta f = 0{,}018F = \frac{f}{55} = \frac{2f}{100}\left(1 - \frac{1}{10}\right),$$

ou même :

$$\Delta f = 0{,}02f.$$

On peut démontrer l'exactitude de la relation :

$$\frac{-\Delta f}{f} = \varepsilon = 0{,}0176,$$

par les considérations suivantes :

Pour les rayons provenant d'une raie quelconque α du spectre, n_α étant l'indice de réfraction pour ces rayons, la longueur focale principale F_α d'une lentille mince est donnée par la formule :

$$\frac{1}{F_\alpha} = (n_\alpha - 1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right).$$

D'où pour deux raies α et β :

$$\frac{F_\beta}{F_\alpha} = \frac{n_\alpha - 1}{n_\beta - 1}.$$

D'où encore :

$$\frac{F_\alpha - F_\beta}{F_\alpha} = \frac{n_\beta - n_\alpha}{n_\beta - 1}.$$

Si nous prenons pour raie α la raie D

$$N_{D'} = 1,5302.$$

et pour la raie β, la raie G avec :

$$N_G = 1,5397.$$

nous avons :

$$\frac{F_{D'} - F_G}{F_{D'}} = \frac{n_G - n_{D'}}{n_G - 1} = \frac{0,0095}{0,5397} = 0.0176.$$

mais $\frac{F_{D'} - F_G}{F_{D'}}$, c'est précisément $\frac{-\Delta f}{f}$.

Donc : $$\frac{-\Delta f}{f} = \varepsilon = 0.0176.$$

C. Q. F. D.

On peut remarquer que si on pose $N_D = n$ et $N_G - N_D = \Delta n$ et $\varpi = \frac{\Delta n}{n - 1}$,

on a :

$$\frac{-\Delta f}{f} = \varepsilon = \frac{\Delta n}{n + \Delta n - 1} = \frac{\Delta n}{n - 1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta n}{n - 1}} = \varpi \cdot \frac{1}{1 + \varpi},$$

et en développant le quotient de $\frac{\varpi}{1 + \varpi}$

$$\frac{-\Delta f}{f} = \varepsilon = \varpi - \frac{\varpi^2}{1 + \varpi}$$

où $\varpi = \frac{\Delta n}{n - 1}$, c'est-à-dire que ϖ représente ce qu'on nomme en optique le *pouvoir dispersif* du verre considéré entre les raies G et D. Ce pouvoir ϖ étant un nombre très petit, égal à $\frac{1}{50}$ environ, on peut négliger ϖ^2 par rapport à ϖ lui-même, et écrire :

$$\frac{-\Delta f}{f} = \varepsilon = \varpi.$$

Une valeur approchée du coefficient de correction ε est $\frac{18}{1000}$. Pour des petits foyers et des grossissements modestes on pourra même se contenter de $\varepsilon = \frac{2}{100}$. Mais avec de grands foyers et de forts grossissements, cette différence de $\frac{1}{10}$ sur la valeur de la correction pourrait atteindre quelques millimètres et serait appréciable pour de larges ouvertures relatives.

On comprend d'ailleurs que le choix des longueurs d'ondes adoptées pour notre calcul comporte un peu d'arbitraire. M. Colson considère les valeurs de 550 et 430 comme répondant respectivement aux maxima des effets rétiniens et chimiques et, de fait, la valeur du coefficient de correction qui résulte de leur introduction dans le calcul ($\varepsilon = 0{,}0176$) concorde assez exactement avec celle (0,018) que nous avons déterminée par expérience *pour une lentille dont nous nous servions*. Nous la tiendrons pour bonne dans la suite de cet article, sans nous illusionner sur l'importance de son exactitude.

Mais nous devons reconnaître que la plupart des auteurs achromatisent la raie G ($\lambda = 0^{\mu},430$) par la raie D elle-même ($\lambda = 0^{\mu},589$). Pour les indices de notre crown il en résulterait une valeur de $\varepsilon = 0{,}02168$.

M. A. Martin, dans son calcul de l'objectif grand angulaire pour vues, achromatise même la raie D ($\lambda = 0^{\mu},589$) par la raie h de l'indium ($\lambda = 0^{\mu},410$).

Pour les indices de notre crown il en résulterait une valeur de $\varepsilon = 0{,}02673$.

Enfin, notre savant ami M. Wallon, dans son excellent manuel *Les Petits Problèmes de Photographie*, indique la valeur de 0,02 (1).

5. Correction d'une lentille simple pour les objets rapprochés. — Si l'on essaie de photographier des objets rapprochés sans changer la correction, on s'aperçoit que l'image devient moins bonne et d'autant moins bonne que le sujet est plus voisin. On retombe dans le *flou de mise au point*, un ennemi sournois qu'il ne faut pas confondre avec le *flou chromatique*, le seul qui respecte les lignes en les estompant.

Pour admettre de grandes ouvertures relatives, comprises entre $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{4{,}5}$, il faut appliquer à chaque mise au point une correction exacte qui peut être pratiquement représentée par la formule très simple :

$$(1) \qquad -\Delta p = \varepsilon p(1 + G),$$

dans laquelle $-\Delta p$ représente la valeur absolue de correction, c'est-à-dire la quantité dont la glace dépolie doit être rapprochée de l'objectif après la mise au point (ou l'objectif de la glace) ;

(1) Il indique aussi pour la correction relative aux objets rapprochés deux formules, $0{,}02\,\frac{p^2}{f}$ et $0{,}02\,f\left(\frac{p'}{p'-f}\right)^2$, qui se ramènent identiquement à la formule $\varepsilon p(1 + G)$ que nous trouverons plus loin. En effet, $p = \frac{p'f}{p'-f}$ et $p = f(1 + G)$, donc $f\left(\frac{p'}{p'-f}\right)^2 = \frac{p^2}{f} = p \times \frac{p}{f} = p(1 + G)$.

C. Puyo.

Agrandissement à deux diamètres
d'une tête obtenue avec le symétrique à 2 ménisques
en crown, diaphragmé à F : 5.

ε peut recevoir la valeur $\frac{1}{57}$ ou $\frac{1}{55}$ ou $\frac{1}{50}$, c'est-à-dire $\left.\frac{2}{100}\right)$, selon la précision qu'on désire ;

p représente le tirage de la chambre, c'est-à-dire la distance de la glace dépolie (face avant) au point nodal d'émergence ; pratiquement, c'est la distance de la glace à la lentille dans un objectif simple et de la glace au diaphragme dans un objectif double ;

G représente le grossissement, c'est-à-dire le rapport de deux dimensions correspondantes de l'image et de l'objet, la dimension considérée étant celle d'une ligne parallèle à la glace ;

pour déterminer ce grossissement on peut mesurer sur la glace la dimension I d'une ligne de l'image, la dimension O de cette ligne de l'objet, puis faire le quotient $\frac{I}{O}$;

ou bien l'on peut mesurer la distance p de la glace et la distance p' de l'objet aux points nodaux (1) (en pratique on compte les distances du plan médian de la lentille ou du diaphragme selon que l'objectif est simple ou double), puis faire le quotient $\frac{p}{p'}$ car on a :

$$\frac{I}{O} = \frac{p}{p'} = G.$$

Telle est la correction exacte qui est nécessaire si l'artiste veut admettre de grands diaphragmes, s'il veut rester maître du degré de flou dont il estompera son œuvre et s'il veut lui conserver son caractère précieux de

(1) Supposés confondus.

flou chromatique sans mélange avec le *flou de mise au point*.

Pour démontrer l'exactitude de l'équation :

$$-\Delta p = \varepsilon p(1 + G),$$

on peut recourir aux considérations suivantes :

Considérons une lentille mince, de foyer f pour les rayons jaunes et de foyer $f_1 = f(1 - \varepsilon)$ pour les rayons violets.

Prenons un point lumineux situé à la distance p' de la lentille. Il donnera son image jaune à une distance p telle que :

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

d'où

$$(1) \qquad p = \frac{p'f}{p' - f},$$

et son image violette à une distance $p + \Delta p$ telle que :

$$\frac{1}{p + \Delta p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f(1 - \varepsilon)}$$

d'où

$$(2) \qquad p + \Delta p = \frac{p'f(1 - \varepsilon)}{p' - f(1 - \varepsilon)},$$

multipliant (2), haut et bas, par $p' - f$ et retranchant :

$$-\Delta p = \frac{p'f}{p' - f}\left\{1 - \frac{(p' - f)(1 - \varepsilon)}{p' - f(1 - \varepsilon)}\right\}$$

d'où :

$$-\Delta p = p\left\{1 - \frac{p' - \varepsilon p' - f(1 - \varepsilon)}{p' - f(1 - \varepsilon)}\right\} = p\frac{\varepsilon p'}{p' - f(1 - \varepsilon)},$$

mais on sait que :

$$p' - f = \frac{f}{G} \quad \text{d'où} \quad p' = f\left(1 + \frac{1}{G}\right),$$

donc :

$$(3) \quad -\Delta p = \varepsilon p \frac{f\left(1 + \frac{1}{G}\right)}{f\left(1 + \frac{1}{G} - 1 + \varepsilon\right)} = \varepsilon p \frac{1 + G}{1 + \varepsilon G},$$

εG étant très petit $\left(\varepsilon G = \frac{1}{100} \text{ pour } G = \frac{1}{2}\right)$, on peut prendre pratiquement (1) :

$$-\Delta p = \varepsilon p(1 + G).$$

La correction (en valeur absolue) :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G)$$

ne s'emploie pas généralement sous la forme précédente qui comprend deux éléments variables, le tirage p et le grossissement G.

On transforme la formule de façon à n'avoir qu'un élément à mesurer. Ce sera, selon les cas, le grossissement, le tirage de la chambre ou la distance du sujet.

a) Correction en fonction du grossissement. — Dans la relation :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G)$$

on peut remarquer que l'on a :

$$p = f(1 + G),$$

d'où on tire : $\Delta p = \varepsilon f(1 + G)^2$,

où l'on n'a plus à mesurer, dans chaque cas, que le grossissement G.

(1) La formule exacte $-\Delta p = \varepsilon p \frac{1 + G}{1 + \varepsilon G}$ peut être utile pour l'agrandissement et la micrographie.

Cette relation peut s'écrire :

$$\Delta p = \varepsilon f(1 + 2G + G^2),$$

et toutes les fois que G est $< \frac{1}{5}$, on peut négliger $G^2 < \frac{1}{25}$ et prendre :

$$\Delta p = \varepsilon f(1 + 2G).$$

b) Correction en fonction du tirage de la chambre. — Dans la relation :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G)$$

on peut remarquer que l'on a :

$$p = f(1 + G),$$

d'où en divisant membre à membre :

$$\Delta p = \frac{\varepsilon p^2}{f}.$$

Ici le seul élément à mesurer sera le tirage p de la chambre, le foyer f étant connu une fois pour toutes.

c) Correction en fonction de la distance du sujet. — Dans la relation :

$$\Delta p = \varepsilon f(1 + G)^2$$

on peut remarquer que l'on a :

$$p' - f = \frac{f}{G},$$

d'où

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

et

$$\Delta p = \varepsilon f\left(\frac{p'}{p' - f}\right)^2.$$

Ici le seul élément à mesurer sera la distance p' du sujet au point nodal d'incidence de l'objectif, qu'on pourra, en pratique, considérer comme confondu avec le diaphragme.

On peut obtenir élégamment la formule approchée :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G)$$

en remarquant que lorsqu'on passe des rayons jaunes aux rayons violets les variations des quantités liées par la relation :

$$(1) \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

sont assez petites pour que leurs puissances au-dessus de la première soient négligeables et que dès lors on peut traiter ces variations par les procédés du calcul différentiel. Si on suppose que la distance p' d'un point lumineux à la lentille reste constante ($dp' = O$) pendant que la longueur focale f prend une variation $df = - \varepsilon f$, la variation dp du tirage est fournie par l'équation différentielle :

$$\frac{-dp}{p^2} = \frac{-df}{f^2}$$

d'où
$$dp = p \times \frac{df}{f} \times \frac{p}{f},$$

mais
$$p = f(1 + G)$$

et
$$\frac{df}{f} = -\varepsilon$$

on a donc
$$dp = -\varepsilon p(1 + G).$$

6. Correction pour des crowns d'indices divers. — On peut établir de même la formule :

$$\frac{df}{f} = -\varepsilon = \frac{n_G - n_D}{n_G - 1}$$

et montrer comment varie le coefficient ε quand on passe d'un *crown* à un autre.

En effet le foyer d'une lentille mince est donné en fonction de ses rayons par la relation :

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R'}\right);$$

en passant des rayons jaunes aux rayons violets (1), n prend une variation moindre que $\frac{n}{150}$ et par conséquent nous pouvons chercher la variation correspondante de f en prenant les logarithmes des deux membres et la différentielle de l'équation précédente, c'est-à-dire en écrivant :

$$\frac{-df}{f} = \frac{dn}{n-1}.$$

Or $\qquad \dfrac{-df}{f}$ c'est ε; dn c'est $n_{G'} - n_D$

et $\qquad n - 1$ c'est $n_D - 1 = n_{G'}\left(1 - \dfrac{dn}{n_{G'}}\right) - 1$

donc en négligeant le rapport $\dfrac{dn}{n_{G'}}$ par rapport à l'unité :

$$\varepsilon = \frac{n_{G'} - n_D}{n_{G'} - 1},$$

ce qui est la formule trouvée précédemment.

Pour étudier comment varie ε avec l'indice moyen n_D du crown, il faut écrire :

$$\varepsilon = \frac{n_{G'} - n_D}{n_{G'} - n_D + n_D - 1} = \frac{1}{1 + \dfrac{n_D - 1}{n_{G'} - n_D}} = \frac{1}{1 + V'}$$

(1) Nous considérerons ci-après les rayons jaunes de la raie D ($\lambda_D = 0\mu,5893$) et les rayons violets d'une raie G′ ($\lambda_{G'} = 0\mu,434$) à laquelle se rapporte le tableau de la page 104.

en posant $$V' = \frac{n_D - 1}{n_{G'} - n_D},$$

prenons les logarithmes des deux membres et différencions, nous avons :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{-dV'}{1 + V'} = \frac{-dV'}{V'} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{V'}}.$$

V est toujours supérieur à 50 pour les *crowns* d'optique de sorte qu'on peut négliger $\frac{1}{V'}$ et admettre la relation approchée :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{dV'}{V'}.$$

On voit que si V′ reste invariable ($dV' = O$) ε ne varie pas non plus et si V′ varie peu sa *variation relative* est la même que celle de ε. Or pour les divers *crowns* courants, la valeur de l'indice V′ s'écarte très peu de 46,7 valeur de cet indice pour la *glace* de Saint-Gobain et les variations n'atteignent pas $\frac{1}{10}$ de la valeur de V′. Les variations de ε ne dépasseront donc pas en général $\frac{1}{10}$ de sa valeur et on pourra le plus souvent les négliger.

Le rapport V′ est peu différent du *rapport de dispersion* des opticiens, $V = \frac{N_D - 1}{N_C - N_F}$.

Voici la valeur de V′ pour quelques crowns ordinaires, avec :

$$\lambda_{G'} = O_{\mu}.\ 4340$$
$$\lambda_D = O_{\mu},\ 5893.$$

Désignation des verres	$N_{G'} - N_D$	$N_D - 1$	$V = \frac{N_D - 1}{N_{G'} - N_D}$
—	—	—	—
1° *Verres Mantois :*			
Crown ordinaire.	0,01129	0,51718	45,8
Baryum crown très léger. . .	0,01138	0,53788	47.3
2° *Verres Schott, d'Iéna :*			
Crown pour objectifs. . . .	0,01086	0,5254	48,4
Silicate crown ordinaire . . .	0,01115	0,5175	46,4
3° *Glace de Saint-Gobain.*	0,01130	0,5275	46,7

7. Correction chromatique des objectifs doubles. — L'équation générale d'un objectif double est :

$$(1) \qquad f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - D}$$

où f_1 et f_2 représentent les longueurs focales principales des combinaisons composantes ; où D est la distance du point nodal arrière de la première au point nodal avant de la deuxième et où on nomme *intervalle optique* la quantité :

$$(2) \qquad \Delta = f_1 + f_2 - D$$

qui, en tenant compte de son signe, représente géométriquement la distance du deuxième foyer de la deuxième lentille (celui qui n'est pas le point de concours des rayons principaux) au premier foyer de la première (celui qui est le point de concours de ces rayons).

Si nous donnons à f_1 et à f_2 des variations très petites $df_1 = -\varepsilon f_1$ et $df_2 = -\varepsilon f_2$, nous aurons la variation corrélative $df = -\lambda f$ en prenant les logarithmes des équations (1) et (2) et en les différenciant :

$$(1') \qquad \frac{df}{f} = \frac{df_1}{f_1} + \frac{df_2}{f_2} - \frac{d\Delta}{\Delta}$$

et

$$(2') \qquad d\Delta = df_1 + df_2.$$

Remplaçant $d\Delta$ dans (1′) par sa valeur tirée de (2′) et remplaçant df, df_1 et df_2 par leurs valeurs on trouve :

$$-\lambda = -\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \frac{\varepsilon_1 f_1 + \varepsilon_2 f_2}{\Delta}$$

d'où

$$(3) \qquad \lambda = \varepsilon_1\left(1 - \frac{f_1}{\Delta}\right) + \varepsilon_2\left(1 - \frac{f_2}{\Delta}\right)$$

équation qui, en remarquant que :

$$\Delta = f_1 + f_2 - D$$

peut s'écrire :

$$(4) \qquad \lambda = \frac{\varepsilon_1(f_2 - D)}{\Delta} + \frac{\varepsilon_2(f_1 - D)}{\Delta}$$

On peut observer que la relation (4) fournit *l'équation d'achromatisme* d'une combinaison de deux systèmes optiques sous sa forme la plus générale.

Pour que la lentille équivalente soit achromatique il faut en effet que sa correction λ soit nulle, soit $\lambda = 0$ d'où :

$$(5) \qquad \varepsilon_1(f_2 - D) + \varepsilon_2(f_1 - D) = 0$$

et en nous souvenant (page 92) que ε_1 et ε_2 sont respectivement égaux aux *pouvoirs dispersifs* ϖ_1 et ϖ_2 entre les couleurs considérées :

$$(6) \qquad \varpi_1(f_2 - D) + \varpi_2(f_1 - D) = O.$$

Si les lentilles sont collées et qu'on néglige leurs épaisseurs et par conséquent l'écart de leurs points nodaux ($D = O$) on a la formule d'achromatisme classique :

$$\varpi_1 f_2 + \varpi_2 f_1 = O;$$

la relation (6) permettrait aux opticiens de tenir compte des épaisseurs et par conséquent d'éviter certains tâtonnements.

Elle permet aussi d'assurer l'achromatisme des combinaisons à lentilles séparées.

Si les deux lentilles sont de même verre ($\varpi_1 = \varpi_2$) la condition d'achromatisme devient :

$$f_1 + f_2 = 2D.$$

Elle est remplie, avec deux lentilles de même signe, toutes deux plan convexes, dans l'oculaire astronomique de Huyghens, avec :

$$f_2 = 3f_1$$
$$D = 2f_1.$$

Dans la lunette de Galilée mise au point pour la vue à l'infini, en tenant compte du signe du foyer de la lentille négative ($f_2 = - f_2$), on a :

$$f_1 + f_2 = D$$

d'où $\quad f_1 - D = - f_2 \quad$ et $\quad f_2 - D = - f_1$

portant ces valeurs dans la relation (6) il vient

$$\varpi_1 f_1 + \varpi_2 f_2 = O,$$

ce qui est précisément l'inverse de la relation d'achromatisme classique.

Pour une combinaison de deux lentilles du même verre ($\varepsilon_2 = \varepsilon_1$) la formule (3) devient :

$$\lambda = \varepsilon\left(2 - \frac{f_1 + f_2}{\Delta}\right) = \varepsilon\left(2 - \frac{\Delta + D}{\Delta}\right) = \varepsilon\left(1 - \frac{D}{\Delta}\right).$$

Le coefficient de correction λ n'est rigoureusement égal à ε que lorsque D est nul, c'est-à-dire dans une combinaison de deux lentilles collées, supposées sans épaisseur. Mais pratiquement on peut considérer que cette égalité est réalisée toutes les fois que le rapport $\frac{D}{\Delta}$ est assez petit pour être négligé. Il en est ainsi notamment dans un symétrique rectilinéaire ordinaire car on a $\frac{D}{\Delta} = \frac{1}{20}$ environ. Cette erreur de $\frac{1}{20}$ sur la valeur de λ est sans grande importance, car ainsi qu'on l'a vu page 95 on a une incertitude du même ordre sur la valeur de ε.

On peut donc dire d'une façon générale que le coefficient chromatique d'un objectif double composé de deux lentilles du même verre est le même que celui des lentilles composantes.

Si on avait plus de deux groupes de lentilles à composer on calculerait d'abord la correction des deux premiers groupes puis on associerait cette première lentille résultante avec le troisième groupe et ainsi de suite.

Quelle que soit la valeur du *coefficient chromatique* λ d'un objectif double, on l'emploie exactement comme on emploierait le coefficient ε d'un objectif simple. La correction à faire subir au tirage après la mise au point sera pour des objets éloignés :

$$\Delta f = \lambda f$$

et pour des objets rapprochés :

$$\Delta p = \lambda p(1 + F).$$

8. Correction de l'objectif demi-anachromatique. — L'objectif demi-anachromatique (voir page 50) est celui dont l'avant est une lentille ou une combinaison achromatique de foyer f_1 et dont l'arrière est une lentille ou une combinaison anachromatique de foyer f_2 ou inversement. La longueur focale de cet objectif est donnée, comme dans les autres cas par la formule générale :

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - D};$$

quant à son coefficient chromatique λ il s'obtient en faisant $\varepsilon_1 = O$ dans la formule (3) de la page 102 c'est-à-dire qu'on a :

$$\lambda = \varepsilon_2\left(1 - \frac{f_2}{\Delta}\right).$$

De même que pour l'objectif double on se servira de ce coefficient λ exactement comme du coefficient ε d'une lentille simple.

Avec l'objectif demi-anachromatique nous avons terminé ce qui concerne la correction chromatique des objectifs simples et doubles composés d'éléments convergents.

Avant d'aborder l'étude des *téléobjectifs* (qui contiennent des éléments divergents), nous allons passer en revue les procédés très divers par lesquels on peut réaliser la correction chromatique, mais nous devons d'abord faire connaître un artifice qui consiste à rendre la correction inutile, en diminuant suffisamment le diaphragme.

9. Suppression de la correction par la diminution du diaphragme. — En diminuant suffisamment le diaphragme on peut s'affranchir de toute correction, puisqu'on peut, théoriquement du moins, rendre la profondeur de foyer aussi grande qu'on veut. Il faut, d'ailleurs, considérer la grandeur absolue ou la grandeur relative du diaphragme selon qu'on admettra un cercle de diffusion de $\frac{1^{\text{mm}}}{10}$ de diamètre, par exemple, ou de $\frac{f^{\text{mm}}}{250} \times \frac{1}{10}$ (1).

Le calcul montre qu'avec un diaphragme de $5^{\text{mm}},7$ de diamètre absolu ou $\frac{f^{\text{mm}}}{44}$ d'ouverture relative, on peut s'affranchir de toute correction pour les objets éloignés et se contenter d'une correction fixe, $\Delta = \frac{f}{57}$, pour les objets rapprochés, jusqu'au grossissement de $G = 0,41$.

En diminuant le diamètre jusqu'à une valeur absolue de $3^{\text{mm}},6$ ou jusqu'à une valeur relative de $\frac{f^{\text{mm}}}{69}$ on peut

(1) C'est-à-dire selon qu'on demande une certaine *netteté linéaire* égale à $\frac{1^{\text{mm}}}{10}$ ou une certaine netteté relative $\frac{f^{\text{mm}}}{250} \times \frac{1}{10}$ proportionnelle à la longueur focale et assurant la constance du *diamètre apparent de la netteté (voir p. 189)* quand on regarde l'image à une distance égale à la longueur focale de l'objectif qui l'a produite.

se passer de toute correction jusqu'au même grossissement de $G = 0,41$.

Soit V le point conjugué (*fig. 25*), pour les rayons violets, d'un point P' et $OV = p_v$ le tirage correspondant, $OJ = p_j$ le tirage correspondant au point conjugué pour les rayons jaunes, d le diamètre du diaphragme.

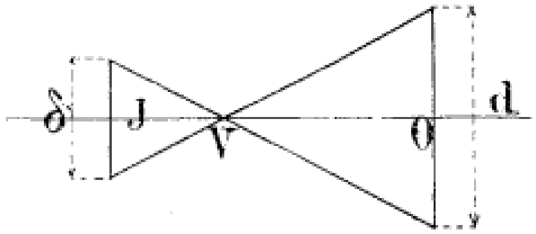


Fig. 25.

δ le diamètre du cercle de diffusion des rayons V sur un plan passant par J, et $JV = \Delta p$ la correction correspondant au tirage OJ;

On a évidemment :

$$\frac{\delta}{\Delta p} = \frac{d}{p_v} = \frac{d}{p_j - \Delta p} = \frac{d}{p_j[1 - \varepsilon(1 + G)]},$$

posons $\varepsilon(1 + G) = \alpha$

et supposons $G < \frac{1}{2}$,

on a $\frac{\delta}{\Delta p} = \frac{d}{p_j(1 - \alpha)}$

et pour $G < 0,41$

on a $\alpha < \frac{3}{100}$ soit $\alpha < \frac{1}{33}$ et $\alpha^2 < \frac{1}{1000}$.

D'autre part, on sait qu'on a :

$$\frac{1}{1 - \alpha} = 1 + \alpha + \frac{\alpha_2}{1 - \alpha},$$

donc, en négligeant α^2, on peut prendre :

$$\frac{1}{1 - \alpha} = 1 + \alpha = 1 + \frac{1}{33} \text{ environ,}$$

$\frac{d}{p_j}$ étant petit par hypothèse, puisqu'il s'agit de petits diaphragmes, on peut négliger le trentième de cette quantité et prendre :

$$\frac{\delta}{\Delta p} = \frac{d}{p_j} = \frac{d}{f(1 + G)},$$

mais $\Delta p = \varepsilon p(1 + G) = \varepsilon f(1 + G)^2,$

d'où $\delta = \varepsilon(1 + G)d.$

Si l'on s'impose la netteté absolue de $\frac{1}{10^e}$ de millimètre, et si l'on veut que δ, diamètre du cercle de diffusion des rayons violets V sur la glace placée en J, n'excède pas cette netteté, pour que toute correction soit inutile ;

Si l'on admet en outre :

$$\varepsilon = \frac{1}{57} \quad \text{et} \quad G \leqslant \frac{1}{2},$$

on doit avoir :

$$\delta < \frac{1^{mm}}{10} \quad \text{et} \quad d = \frac{\delta}{\varepsilon(1 + G)} < \frac{1}{10} \times 57 \times \frac{2}{3},$$

d'où $d < \frac{114^{mm}}{30}$ $d < 3^{mm},6.$

Si, au lieu de la netteté absolue $\frac{1^{mm}}{10}$, on considère la netteté relative ;

$$\frac{1}{10} \times \frac{f^{mm}}{250} \quad \text{avec} \quad \frac{d}{f} = \frac{1}{n},$$

on doit avoir $\frac{3}{2}\frac{d}{57} < \frac{1}{10} \times \frac{f}{250}$

$$\frac{d}{f} < \frac{3^{mm},6}{250},$$

et avec
$$\frac{d}{f} = \frac{1}{n}$$
$$n > \frac{250}{3,6} \quad n > 69.$$

Si l'on fait $G = 0$, le point V devient le foyer principal et l'inégalité $\varepsilon < \frac{1^{mm}}{10}$ devient :

$$\frac{d}{57} < \frac{1^{mm}}{10} \quad \text{soit} \quad d < 5^{mm},7,$$

Pour la netteté relative de :

$$\frac{1}{10} \times \frac{f}{250} \quad \text{avec} \quad \frac{d}{f} = \frac{1}{n},$$

on a
$$\frac{d}{57} < \frac{1}{10} \times \frac{f}{250},$$

d'où
$$\frac{d}{f} < \frac{5,7}{250}$$
$$n > \frac{250}{5,7} \quad n > 44,$$

donc il suffit d'un diaphragme de diamètre absolu $< 5^{mm},7$ et d'une ouverture relative $< \frac{1}{44}$ pour pouvoir négliger la correction d'achromatisme en photographiant des objets éloignés.

Pour ces diaphragmes, la profondeur du foyer est εf par hypothèse. Si on met au point sur des objets rapprochés et si l'on fait, en outre, subir au tirage une correction constante, aussi égale à εf, tous les points J qui n'exigeront pas une correction Δp supérieure à $2\varepsilon f$, donneront des images violettes suffisamment nettes. La valeur G de l'échelle correspondant à ces points sera fournie par les relations :

$$\Delta p < 2\varepsilon f$$

et $$\Delta p = \varepsilon p(1 + G) = \varepsilon f(1 + G)^2,$$

d'où $$(1 + G)^2 < 2$$

et $$G^2 + 2G - 1 \leqslant 0.$$

Cette équation n'a qu'une racine positive :

$$G = 0{,}41\ldots$$

et les valeurs de G comprises entre zéro et 0,41 satisfont à la condition fixée :

$$G^2 + 2G < 1.$$

Donc, avec une correction constante $= \varepsilon f$, on aura nets tous les points situés entre l'infini et le plan pour lequel l'échelle atteint 0,41.

En admettant ces diaphragmes extraordinairement réduits, on tombe dans un inconvénient grave en ce qui concerne le *flou chromatique :* on le supprime !... Et s'il reste du flou sur le cliché, ce ne peut être que par un résidu d'erreur sur la mise au point pour les rayons parallèles à l'axe, et par les aberrations sphériques et astigmatiques pour les faisceaux obliques.

L'expérience le constate. En corrigeant bien la mise au point d'un objectif *anachromatique* très diaphragmé, aucun flou n'apparaît dans le champ aplanétique et anastigmatique, et il semble qu'on ait employé un *achromatique* ordinaire.

Ce résultat devait être prévu, puisque nous avons montré au § 2, page 90, que, pour une correction exacte et pour des objets éloignés, le degré de *flou chromatique* est proportionnel à la grandeur absolue du diaphragme et que la largeur de la frange est égale à $\frac{1}{100}$ du diamètre environ.

On conçoit donc qu'en réduisant suffisamment le diaphragme on réduise la correction au point de la rendre inutile.

PROCÉDÉS DE CORRECTION

Puisque notre but est d'utiliser le *flou chromatique*, nous ne nous servirons que des grands diaphragmes qui le respectent et nous recourrons à la correction exacte $\Delta p = \varepsilon p(1 + G)$. Mais comment la déterminer pratiquement? On peut le faire de bien des manières, et nous allons les examiner.

Jusqu'ici, nous nous sommes bornés, et la plupart de nos amis avec nous, à inscrire sur la monture à crémaillère de nos objectifs une graduation qui permet de réduire le tirage de la quantité nécessaire après avoir mis au point, avant d'exposer.

Mais on peut pratiquer la correction chromatique par plusieurs autres méthodes, dont quelques-unes n'exigent ni calcul ni mesure d'aucune sorte, ce qui est un avantage sur la nôtre, où il faut mesurer grossièrement la distance du sujet dans chaque cas. Il est vrai que cette mesure n'est ni longue ni fatigante, et l'avantage est léger. Néanmoins, ces méthodes et quelques autres méritent d'être signalées, et nous croyons utile de les passer en revue. Toutefois, nous ne prétendons aucunement qu'elles soient toutes pratiques ni toutes bonnes : ceux qui voudront essayer en jugeront et nous espérons qu'ils feront connaître leurs expériences au public. Tout ce que nous avons voulu, c'est leur indiquer les voies vers lesquelles ils peuvent pousser leurs recherches et aussi leur signaler quelques écueils qu'ils devront éviter.

Nous serons obligés pour cela de faire quelques calculs très simples, mais d'une certaine étendue. Il ne faut pas s'en étonner ni conclure que la correction des objectifs anachromatiques est une opération effroyablement compliquée, dépassant les facultés des simples mortels et praticable seulement pour des membres de l'Académie des Sciences.

Toutes ou presque toutes les méthodes de correction chromatique entre lesquelles l'amateur peut choisir s'emploient sans calcul, et celui-ci n'intervient que pour en justifier les principes ou pour déterminer le matériel nécessaire : bonnettes, diaphragme marginal, graduation, etc. Ceux des amateurs qui ne s'intéressent qu'au résultat et l'acceptent de confiance n'ont qu'à sauter nos calculs et à s'adresser aux maisons d'optique qui vendent les *anachromats*. Celles-ci leur fourniront ce qu'il leur faut, mais, pour qu'elles puissent le faire, il faut bien que nous leur expliquions les procédés à employer et que nous en démontrions le bien fondé.

Après cette apologie, nous commençons la revue des méthodes de correction chromatique par un procédé qui ne vaut pas grand'chose, mais qu'il faut rappeler, ne fût-ce que pour l'enterrer.

10. Correction par un verre violet. — On peut employer un écran bleu violet, placé devant l'objectif pour mettre au point et retiré pour exposer, bien entendu.

Par ce procédé, on obtient difficilement un raccourcissement suffisant du foyer. Nous l'avons essayé sur un objectif double de foyer F = 46 centimètres, à l'ouverture de F : 6, avec des écrans bleu-violet préparés pour la photographie des couleurs. Avec un seul écran disposé soit à la place du diaphragme, soit sur le verre dépoli, l'image est bien visible à l'ouverture F : 6, mais l'on n'obtient guère que les deux tiers de la correction. C'est-à-dire que le foyer violet des objets éloignés est plus court que celui des rayons jaunes de 6 millimètres au lieu de $8^{mm},5$ qui seraient nécessaires dans le cas considéré (1). En plaçant deux écrans violets l'un sur l'autre, la correction s'allonge un peu, mais l'image devient tellement sombre qu'on la voit à peine et que la mise au point est très difficile. En résumé, si l'écran est assez clair pour qu'on voie bien l'image, la correction est insuffisante ; s'il est assez foncé pour ne laisser passer que les radiations voisines de la raie G du spectre, on n'y voit pas assez pour mettre au point. Le procédé du verre violet doit donc être écarté.

11. Correction par diaphragme marginal. — On sait que dans un objectif à grande ouverture (*fig. 26*), le foyer des rayons centraux F_1 est plus long que celui des rayons marginaux F_2.

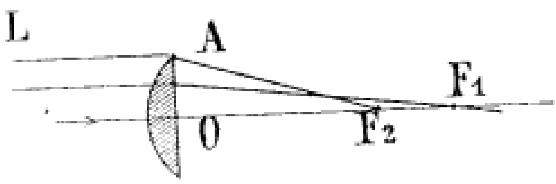


Fig. 26.

Si donc nous employons successivement un diaphragme ordinaire de petit diamètre et un *diaphragme marginal*

(1) La valeur du coefficient ε, déterminé expérimentalement pour le *crown* de l'objectif considéré, est de $\frac{18,5}{1000} = \frac{1}{54}$.

comme celui qui est représenté par la figure 27, nous aurons dans le deuxième cas un foyer plus petit que

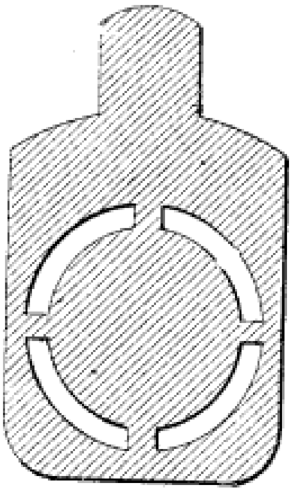


Fig. 27.

dans le premier. Pour un foyer F, quel devrait être le rayon moyen OA de notre ouverture annulaire pour que la différence F_1F_2 soit égale à 2F, soit environ $\frac{F}{50}$?

Dans le cas d'une lentille simple et mince, on sait calculer la longueur $F_1F_2 = a$ qui se nomme l'*aberration sphérique principale* et on a :

$$a = FMy^2,$$

F étant le foyer des rayons centraux, et y la distance entre le rayon marginal considéré LA et l'axe OF_1 de l'objectif.

Quant à M, c'est une fonction de l'indice et des rayons des faces, qui pour une lentille plan convexe tournant sa convexité de rayon R vers la lumière et pour un crown d'indice moyen $n = \frac{3}{2}$ se réduit à $\frac{7}{6} \times \frac{1}{F^2}$, de sorte que

$$a = \frac{7}{6} \times \frac{y^2}{F},$$

donc pour que $a = \frac{F}{50}$, il faut que $\frac{F}{50} = \frac{7}{6} \cdot \frac{y^2}{F}$,

d'où $$y = F\sqrt{\frac{6}{7 \times 50}} = \frac{F}{\sqrt{58,25}} = \frac{F}{7,63}.$$

Pour employer cette méthode avec une lentille plan convexe, il faudrait donc que le diamètre de la lentille soit un peu plus grand que $\frac{2F}{7,63} = \frac{F}{3,81}$. Ce sont des dimensions encombrantes, un peu coûteuses pour les grands foyers et qui n'auraient pas d'utilité en dehors de la mise au point, car les lentilles simples à long foyer n'utilisent pas pratiquement d'ouvertures supérieures à $\frac{F}{9}$. Ces lentilles n'ont donc pas besoin d'un diamètre supérieur à $\frac{F}{8}$, et, dans ce cas, les diaphragmes marginaux ne sont pas pratiques.

Pour un objectif double formé de deux ménisques, le calcul de l'aberration sphérique serait laborieux. Nous nous sommes bornés à constater par expérience et tâtonnement que pour un objectif F : 6 de 46 centimètres de longueur focale, un diaphragme marginal à anneau de 5 millimètres de largeur et de 61 millimètres de rayon moyen assure une correction exacte de $8^{mm},5$. L'ouverture relative de $\frac{61^{mm}}{460^{mm}} = \frac{1}{7,5}$ n'a rien d'excessif, et pour tous les objectifs de cette ouverture et au-dessus le procédé du diaphragme marginal est admissible.

Il serait même recommandable si la détermination de l'ouverture annulaire par tâtonnement n'était un peu laborieuse; si l'emploi de ce système n'était difficilement conciliable avec celui des diaphragmes-iris; s'il n'était pas inapplicable aux lentilles simples d'ouverture modérée et enfin si plusieurs des procédés dont on parlera ci-après n'étaient pas préférables.

12. Correction par écartement des lentilles.

Objectif à tiroir. — Si on prend la formule d'un objectif double symétrique :

$$F = \frac{f^2}{2f - e},$$

elle peut s'écrire $F = \frac{f}{2} \frac{1}{1 - \frac{e}{2f}}$

et en négligeant les termes en $\left(\frac{e}{2f}\right)^2$

$$F = \frac{f}{2}\left(1 + \frac{e}{2f}\right) = \frac{f}{2} + \frac{e}{4};$$

[le terme en $\frac{e}{2f}$, est peu différent de $\frac{1}{20}$ car $e = \frac{F}{5}$ $= \frac{f}{10}$..... environ. Donc $\left(\frac{e}{2f}\right)^2$ est égal à $\frac{1}{400}$ et peut être négligé].

En prenant la différentielle de cette équation pour $f =$ constante on voit que :

$$dF = \frac{de}{4},$$

c'est-à-dire qu'en diminuant l'écartement des lentilles de 12 millimètres, par exemple on a un nouvel objectif dont le foyer est diminué de 3 millimètres. Et si on prend $de = 4\varepsilon F = \frac{8}{100}F$ environ, on a précisément $dF = \varepsilon F$, c'est-à-dire que la longueur focale des rayons jaunes dans le nouvel objectif, f'_J, est la même que celle des rayons violets, f_V, dans le premier.

Mais il faut remarquer que ces longueurs focales sont comptées des points nodaux d'émergence N_2 et N'_2 de chaque objectif et que la distance de ces points nodaux à la lentille arrière est pour le premier objectif :

$$N_2 = e\frac{f}{2f - e} = \frac{e}{2}\,\frac{1}{1 - \frac{e}{2f}}$$

et en négligeant le carré et les puissances supérieures de $\frac{e}{2f}$

$$N_2 = \frac{e}{2}\left(1 + \frac{e}{2f}\right) = \frac{e}{2} \times 1{,}05\ldots \text{ environ,}$$
$$N_2 = 0{,}525e;$$

si donc e diminue de de par un rapprochement entre la lentille antérieure et la postérieure, le point N_2 se rapproche lui-même de cette lentille postérieure d'une quantité égale à $dN_2 = 0{,}525de$; et comme la longueur focale comptée du point nodal est la même dans les deux objectifs, la distance de la glace dépolie à la lentille arrière est plus grande dans le deuxième que dans le premier et précisément de la quantité $0{,}525de$.

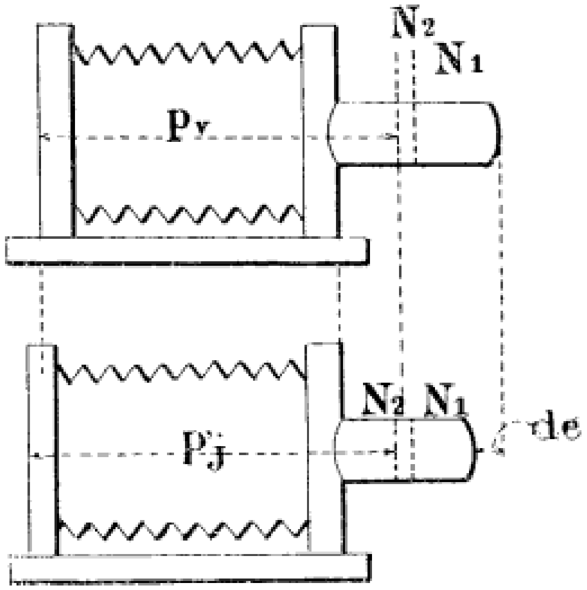


Fig. 28.

Ce que nous venons de dire de la longueur focale principale est vrai du tirage correspondant à une mise au point à distance finie. Si f_V et f'_J sont les longueurs focales principales, p_V et p'_J les tirages on a $p_V = f_V(1 + G)$ et $p'_J = f'_J(1 + G')$, Or on peut admettre que $G' = G$ car $f_V = f'_J$ et quant à la faible variation de la distance du point nodal N_1 au sujet elle est négligeable par rapport à cette distance. Donc si les foyers f_V et f'_J sont égaux, les tirages $p_V = f_V(1 + G)$ et $p'_J = f'_J(1 + G)$ sont égaux aussi et comme ils sont pareillement comptés des points nodaux N_2 et N'_2, la glace dépolie est plus loin de la lentille arrière et par conséquent de l'avant de la chambre dans le deuxième objectif que dans le premier et la différence des distances est égale au déplacement du point nodal, $0{,}525de$, c'est-à-dire que cette différence est égale à une quantité fixe, indépendante du grossissement G.

Donc pour effectuer la correction chromatique de l'objectif dont le foyer est F et dont la correction principale est $dF = \frac{2}{100}$ F, on opérera comme il suit :

Si les deux lentilles doivent être à un certain écartement e pour exposer, on commencera par les rapprocher de la quantité $de = 4dF$ pour mettre au point et on fera la mise au point avec les lentilles écartées de $e - 4dF$.

Avant d'exposer on aura deux mouvements à faire :

1° On rendra aux lentilles leur écartement normal en les éloignant de la quantité dont on les avait rapprochées : $de = 4dF$.

2° Comme dans ce mouvement le point nodal s'est avancé de $0{,}525de$, s'écartant d'autant de la lentille arrière et par conséquent de la glace dépolie, on avancera la glace dépolie de $0{,}525de$ ou on rentrera tout l'objectif d'autant dans le coulant de la monture.

Ces deux mouvements se feront très facilement et on remarquera qu'il s'agit de corrections constantes, indépendantes du grossissement et de la distance du sujet. *Pour employer ce système on n'aura donc ni calculs à faire ni mesures à prendre.*

13. Correction sans déplacement du point nodal. — Ce qu'il s'agit de faire, en somme, c'est de diminuer, avant la mise au point, la longueur focale F de l'objectif de la quantité $dF = \varepsilon F$ par un rapprochement des lentilles $de = 4\varepsilon F$ puis avant l'exposition de revenir à l'écart normal des lentilles *sans que dans ce mouvement le point nodal arrière de la combinaison change de position par rapport à la glace dépolie.*

Ceci peut s'obtenir en augmentant l'écart des verres par deux déplacements distincts à partir d'un point dont la distance à la chambre ne change pas. Si alors on écarte la lentille postérieure de ce point fixe, dans la direction de la chambre, de la quantité $0{,}525de$ et qu'on écarte la lentille antérieure du même point, dans le sens opposé, de la quantité $0{,}475de$ avec $de = 4\varepsilon F$ le problème est résolu car d'une part les lentilles sont bien écartées l'une de l'autre de $0{,}525de + 0{,}475de = de$ et d'autre part le nouveau point nodal s'est écarté de la lentille postérieure de $0{,}525de$ mais comme la lentille a reculé d'autant, la distance du point nodal à la chambre n'a pas varié.

Ce mouvement indépendant de chaque lentille par rapport à un point fixe peut s'obtenir à l'aide d'un seul mouvement de rotation commandant deux boutons qui coulissent dans des rainures hélicoïdales de pas différent; ou commandant deux pignons de diamètre différent engrenant chacun avec une crémaillère.

L'expérience justifie les considérations qui précèdent et nous avons constaté au focimètre que la correction obtenue par ce procédé était rigoureusement exacte.

Pour les objectifs de grande longueur focale, à lentilles très écartées, la formule approchée :

$$F = \frac{f}{2} + \frac{e}{4}$$

peut conduire à des résultats insuffisants et il vaut mieux employer une formule plus générale qui convient aussi au cas de deux lentilles composantes de foyers inégaux.

La formule générale du foyer F d'un objectif en fonction des foyers f et f' des lentilles composantes est

$$F = \frac{ff'}{f + f' - e}.$$

D'où on tire :

$$(1) \qquad e = f + f' - \frac{ff'}{F},$$

et en faisant $e = e + de$ et $F = F + dF$ on a :

$$(2) \qquad e + de = f + f' - \frac{ff'}{F + dF},$$

d'où on tire, en retranchant (1) de (2) :

$$de = \frac{ff'}{F} \cdot \frac{dF}{F + dF},$$

et pour $dF = - \varepsilon F$ on a :

$$de = -\frac{ff'}{F}\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = -(f + f' - e)\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}.$$

Voilà la valeur exacte, ne négligeant rien, qui donne le rapprochement des deux lentilles correspondant à la correction εF.

D'autre part, la distance du point nodal arrière de la combinaison au point nodal arrière de la lentille postérieure dont le foyer est f' est :

$$h' = -e\frac{f'}{f+f'-e}.$$

et (1) en posant $f+f'-e=\Delta$:

$$h' = -e\frac{f'}{\Delta}. \tag{3}$$

Alors si e devient $e+de$, h' devient $h'+dh'$ et Δ devient $f+f'-e-de$, c'est-à-dire $\Delta - de$; d'où :

$$h'+dh' = -\frac{(e+de)f'}{\Delta - de}, \tag{4}$$

d'où en retranchant :

$$dh' = \frac{-(e+de)f'\Delta + ef'(\Delta - de)}{\Delta(\Delta - de)},$$

$$dh' = \frac{-def'(\Delta + e)}{\Delta(\Delta - de)},$$

et en divisant par Δ les deux termes :

$$dh' = \frac{-de}{\Delta}f'\frac{1+\frac{e}{\Delta}}{1-\frac{de}{\Delta}}.$$

(1) Rappelons que cette quantité Δ, que nous avons déjà introduite pour la commodité du calcul, se retrouvera sous le nom d'*intervalle optique* dans la théorie du téléobjectif. Dans toutes les combinaisons de deux lentilles, c'est la distance du deuxième foyer de la deuxième lentille (celui qui n'est pas le point de concours des rayons principaux), au premier foyer de la première lentille (celui qui est le point de concours de ces rayons).

Or, $$de = -(f+f'-e)\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = -\Delta\,\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon},$$

d'où $$-\frac{de}{\Delta} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon},$$

en remplaçant $\frac{-de}{\Delta}$ par cette valeur :

$$dh' = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\,f'\,\frac{1+\frac{e}{\Delta}}{1+\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} = \varepsilon f'\left(1+\frac{e}{\Delta}\right).$$

Donc la valeur *exacte* de la quantité dont il faut rapprocher les lentilles pour mettre au point est, en valeur absolue :

$$de = (f+f'-e)\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon},$$

et la valeur *exacte* du mouvement du point nodal (dont il faut tenir compte d'une des manières indiquées) est :

$$dh' = \varepsilon f'\left(1+\frac{e}{f+f'-e}\right) = \varepsilon\,\frac{f'(f+f')}{f+f'-e}.$$

Pour un objectif symétrique formé de deux lentilles composantes de foyer f, écartées de e, ces quantités deviennent :

$$de = (2f-e)\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \quad \text{et} \quad dh' = \varepsilon\,\frac{2f^2}{2f-e},$$

et comme :

$$F = \frac{f^2}{2f-e}, \qquad dh' = 2\varepsilon F.$$

D'autre part, on peut prendre pour valeur rapprochée de de :

$$de = 2\varepsilon f.$$

Dans *la Revue de Photographie* du 15 juin 1903, on trouve une autre méthode de correction par écartement des lentilles.

L'équation d'un objectif double étant à $\left(\frac{e}{2f}\right)^2$ près :

$$F = \frac{f}{2} + \frac{e}{4},$$

le tirage p correspondant à un objet placé à distance finie a pour valeur :

$$p = F(1 + G) = \left(\frac{f}{2} + \frac{e}{4}\right)(1 + G),$$

et d'autre part $p = t + \frac{e}{2}$..... environ, t étant la distance de la glace dépolie à la lentille arrière, d'où :

$$(1) \qquad t = \frac{f}{2}(1 + G) - \frac{e}{4}(1 - G).$$

Pour qu'un mouvement de des lentilles, en modifiant le foyer de df ne modifie pas l'écartement t de la glace dépolie, il faut qu'en différenciant l'équation (1) on ait :

$$dt = 0,$$

d'où
$$\frac{df}{2}(1 + G) = \frac{de}{4}(1 - G),$$

et comme $F = \frac{f}{2}$... environ, on a :

$$\frac{df}{2} = dF,$$

d'où
$$de = 4dF \times \frac{1 + G}{1 - G},$$

cette correction n'est constante que tant que G est assez petit pour pouvoir être négligé. Dans ce cas on *écarte* les deux lentilles de $4dF = \frac{8}{100}$ F avant de mettre au point et on les rapproche pour exposer, la glace dépolie ne bougeant pas.

A distance plus rapprochée, et pour des valeurs appréciables de G, les résultats obtenus avec cet objectif laissent à désirer au point de vue de la correction.

Les personnes qui en possèdent un pourront s'en servir de la façon suivante :

Elles rentreront les lentilles à bloc pour mettre au point. Après la mise au point elles écarteront les lentilles à bloc et avanceront la glace dépolie (vers l'objectif) d'une quantité constante égale à la moitié du surécartement donné aux lentilles, surécartement qui est égal à $\frac{8}{100}$ F environ. Elles auront ainsi une correction exacte (1).

14. Correction par mise au point arrière. — Pour réaliser la correction, ce qu'il nous faut en somme, c'est donner au tirage p de la chambre, une variation $dp = -\varepsilon p(1 + G)$. Quelle serait la variation corrélative dp' qu'il faudrait donner à la distance du sujet pour qu'en mettant au point sur la distance $p' + dp'$ on ait un tirage $p + dp$? Nous la tirerons de la relation :

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

(1) Si l'image obtenue sur plaque 18×24 ne les satisfait pas encore, elles pourront envoyer leur objectif au Photo-Club où, pour une somme minime, on leur fera mettre d'autres verres de courbures moindres, mieux adaptées au nouvel écartement des lentilles.

f ne variant pas, en différenciant (1), nous aurons :

$$(2) \qquad -\frac{dp}{p^2} - \frac{dp'}{p'^2} = 0$$

avec $\qquad dp = -\varepsilon p(1 + G)$

et $\qquad p = f(1 + G),$

divisant ces deux équations l'une par l'autre, on a :

$$\frac{-dp}{p^2} = \frac{\varepsilon}{f}$$

et alors de (2) on tire :

$$\frac{dp'}{p'^2} = \frac{\varepsilon}{f} \quad \text{d'où} \quad dp' = \left(\frac{p'}{f}\right)^2 \varepsilon f.$$

Donc :

Règle. — *On met au point sur un objet situé suffisamment en arrière du sujet photographié. Le recul de la mise au point sera égal à* εf, correction constante *de l'objectif, multipliée par le carré du rapport* $\frac{\mathrm{p}'}{\mathrm{f}}$ *de la distance du sujet* p′ *à la longueur focale* f.

Exemple :

Soit $\quad f = 46^{cm}, \quad \varepsilon = \frac{1}{54}, \quad p' = 300^{cm},$

la *correction constante* $\varepsilon f = \frac{46}{54} = 0^{cm},85,$

$$\frac{p'}{f} = \frac{300}{46} = 6,5 \ \left(\frac{p'}{f}\right)^2 = \overline{6,5}^2 = 42\ldots$$

$$dp' = \varepsilon f \times \left(\frac{p'}{f}\right)^2 = 0^c,85 \times 42 = 35^c,7,$$

il faudrait donc mettre au point sur un objet placé à $35^c,57$ en arrière du sujet.

Cela ne présente pas de difficulté à l'atelier, où le rapport $\frac{p'}{f}$ sera rarement grand, et le procédé est admissible. Mais pour des groupes ou du paysage, le rapport $\left(\frac{p'}{f}\right)$ peut atteindre 20 ou davantage, et le recul devient assez grand pour être gênant, aussi nous modifierons le procédé de la façon suivante :

Nous remarquerons que la correction peut s'écrire :

$$dp = -\varepsilon p(1 + G) = -\varepsilon f(1 + G)^2$$
$$= -\varepsilon f(1 + 2G + G^2),$$

d'où $$dp = -\varepsilon f - \varepsilon f \times 2G\left(1 + \frac{G}{2}\right).$$

La correction comprend donc deux parties :

1° La correction constante εf ;

2° Une correction beaucoup plus petite, différente dans chaque cas et dépendant du grossissement.

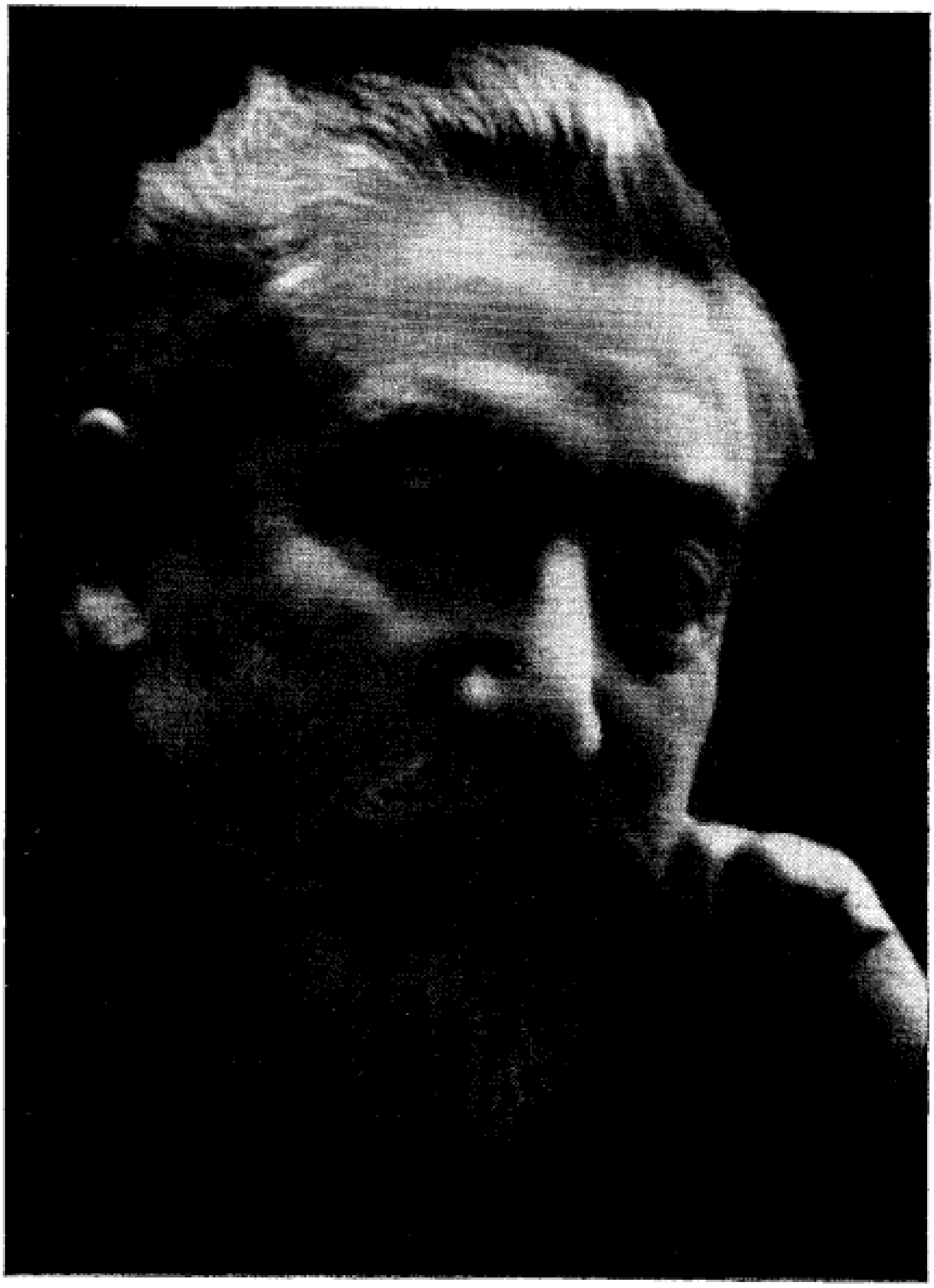
C'est cette correction beaucoup plus petite que nous allons déterminer par la mise au point, comme tout à l'heure, mais avec un *recul* beaucoup moindre. Après avoir avancé la glace dépolie de cette quantité, nous la rapprocherons encore de la correction constante εf qui doit avoir été calculée une fois pour toutes et inscrite sur la monture de chaque objectif.

Or nous avons vu tout à l'heure, page 129, équation (2), que :

$$dp' = -\left(\frac{p'}{p}\right)^2 dp$$

et la correction que nous voulons réaliser est :

$$dp = -2\varepsilon fG\left(1 + \frac{G}{2}\right) = -2\varepsilon\left(1 + \frac{G}{2}\right)\frac{fp}{p'},$$



L. DE PULLIGNY.

Réduction d'une épreuve format 13×18.
Télé. anachromat. à lentilles simples en crown.
Frontale plan convexe 32 centimètres.
Amplificatrice plan concave $10^c,5$.
Ouverture de la frontale F : 4,5.

car $$G = \frac{p}{p'},$$

d'où $$dp\left(\frac{p'}{p}\right)^2 = -2\varepsilon\left(1 + \frac{G}{2}\right)\frac{fp'}{p} = -dp';$$

Or, en multipliant par fp' les termes de la relation :

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

elle devient : $$\frac{fp'}{p} = p' - f.$$

Donc $$dp' = +2\varepsilon(p' - f)\left(1 + \frac{G}{2}\right),$$

sauf quand G sera très voisin de l'unité, on pourra le négliger dans cette formule qui se réduira à :

$$dp' = 2\varepsilon(p' - f).$$

D'où la règle suivante :

RÈGLE. — *On met au point sur un objet situé en arrière du sujet photographié. Le* recul *de la mise au point s'obtient en multipliant par le double de la correction* (2ε) *la distance du sujet au foyer antérieur de l'objectif* (p'—f). *Avant d'exposer on rapprochera encore la glace dépolie de la correction constante* εf.

EXEMPLE :

Soit $$f = 46^c,\ \varepsilon = \frac{1}{54},\ p' = 300,\ p' - f = 254,$$

$$2\varepsilon = \frac{1}{27},\quad (p' - f)2\varepsilon = \frac{254}{27} = 9^c,4.$$

On mettra au point sur un objet situé à 9 centimètres en arrière du modèle, puis, avant d'exposer, on rapprochera la glace de la correction constante $\varepsilon f = \frac{46}{54} = 0^{cm},85$.

Le plus souvent on pourra se contenter d'un recul égal à $2\varepsilon p'$ et en prenant $\varepsilon = \frac{2}{100}$, *ce recul sera égal à* $\frac{4}{100}$ *de la distance du sujet à l'objectif.*

15. Correction par réduction du tirage après la mise au point. — Nous arrivons maintenant à la méthode de correction qui consiste à réduire le tirage de la quantité nécessaire après la mise au point, d'après une graduation.

On réalise ainsi une correction exacte dans tous les cas, à toute ouverture, en grandeur nature s'il le faut, et on la réalise sans erreur possible en inscrivant l'échelle de correction, d'avance, sur la queue de la chambre ou sur la monture de l'objectif si elle comporte une crémaillère.

Pour déterminer la correction à faire dans chaque cas, on peut mesurer soit le tirage de la chambre, soit le *grossissement* (rapport d'une dimension de l'image à une dimension de l'objet), soit la distance du sujet à l'objectif.

On trouvera ci-après un exemple du calcul nécessaire pour établir la graduation dans chacun de ces trois cas, en supposant un objectif de 250 millimètres de longueur focale et une correction $\varepsilon = \frac{1}{57}$.

Correction avec entrée par le tirage de la chambre.

Formules : par hypothèse :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G),\ p = f(1 + G), \qquad f = 250^{mm},$$

$$1 + G = \frac{p}{f}, \qquad \Delta p = \frac{\varepsilon}{f} p^2, \qquad \varepsilon = \frac{1}{57},$$

$$p = \sqrt{\frac{f}{\varepsilon}} \times \sqrt{\Delta p}, \qquad \text{d'où } \sqrt{\frac{f}{\varepsilon}} = \sqrt{250 \times 57} = 119.$$

Finalement :

$$p = 119 \sqrt{\Delta p}.$$

On prend pour valeur minima de Δp celle qui correspond à $p = f$ (longueur focale principale). Alors :

$$\Delta p = \varepsilon f = \frac{250}{57} = 4^{mm},4.$$

On fait ensuite croître Δp par 1^{mm}, ce qui est bien suffisant dans la pratique.

Voici le calcul montrant les valeurs de la correction Δp (première colonne) qui correspond aux valeurs des divers tirages p et aux valeurs $\Phi = p - f$ de l'excès du tirage sur la longueur focale principale :

Exemple de calcul

Δp	$\sqrt{\Delta p}$	$p = 119\sqrt{\Delta p}$	$\Phi = p - f$
$4^{mm},4$	2,10	250^{mm}	0^{mm}
5 ,0	2,24	265	15
6 ,0	2,44	290	40
7 ,0	2,64	314	64
8 ,0	2,82	336	86
9 ,0	3,00	357	107
10 ,0	3,16	375	125

Correction avec entrée par le grossissement.

Formules :

par hypothèse :

$$f = 250^{\text{mm}}.$$

$$\Delta p = \varepsilon f(1 + G)^2, \qquad 1 + G = \frac{\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\varepsilon f}}, \qquad \varepsilon = \frac{1}{57} \qquad \varepsilon f = 4^{\text{mm}},4.$$

$$\sqrt{\varepsilon f} = 2,1 \qquad \frac{1}{\sqrt{\varepsilon f}} = 0,475.$$

Finalement : $$1 + G = 0,475\sqrt{\Delta p}.$$

Exemple de calcul :

Δp	$\sqrt{\Delta p}$	$1 + G = 0,475\sqrt{\Delta p}$	G	Valeur approchée de G
—	—	—	—	—
$4^{\text{mm}},4$	2,10	1,00	0,00	0
5	2,14	1,06	0,06	1/17
6	2,44	1,16	0,16	1/6
7	2,64	1,26	0,26	1/4
8	2,82	1,35	0,35	1/3
9	3,00	1,43	0,43	1/2
10	3,16	1,51	0,51	1/2

Correction avec entrée par les distances du sujet.

Formules :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G) = \frac{\varepsilon p^2}{f} \quad \text{et } p = \frac{p'f}{p' - f}, \quad \text{avec } \sqrt{\varepsilon f} = 2,1\,;$$

$$\frac{p}{f} = \frac{p'}{p' - f}, \quad \frac{p^2}{f^2} = \left(\frac{p'}{p' - f}\right)^2, \quad \varepsilon\frac{p^2}{f} = \varepsilon f\left(\frac{p'}{p' - f}\right)^2 = \Delta p,$$

d'où $$\frac{p'}{p' - f} = \frac{\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\varepsilon f}}.$$

Finalement : $$p' = \frac{f\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\Delta p} - \sqrt{\varepsilon f}}.$$

Exemple de calcul :

Δp	$\sqrt{\Delta p}$	$f\sqrt{\Delta p}$	$\sqrt{\Delta p} - \sqrt{\varepsilon f}$	$p' = \dfrac{f\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\Delta p} - \sqrt{\varepsilon f}}$
—	—	—	—	—
$4^{mm},4$	2,10	525^{mm}	0,00	∞
5	2,24	560	0,14	$4^{m},00$
6	2,44	610	0,34	1 ,80
7	2,64	660	0,54	1 ,22
8	2,82	705	0,72	0 ,98
9	3,00	750	0,90	0 ,83
10	3,16	790	1,06	0 ,78

Si l'on se sert toujours du même objectif, on peut inscrire la correction sur la queue de la chambre, et c'est évidemment en fonction des tirages qu'on la calculera.

Si l'on veut employer plusieurs objectifs avec la même chambre, c'est sur les montures qu'il faut inscrire les corrections. On peut encore entrer par les tirages, mais c'est peu commode si la queue de la chambre ne porte pas une graduation en millimètres. Dans ce cas, on risque moins de chances d'erreur en mesurant les distances du sujet à l'objectif; on inscrit alors la correction en fonction de ces distances.

On peut aussi la prendre en fonction du grossissement ou corriger à l'aide de celui-ci sans rien inscrire du tout.

On prie alors le modèle de tenir un double décimètre appuyé sur sa figure et à peu près parallèle à la glace dépolie, puis, avec un autre double décimètre, on mesure la longueur que l'image des 20 centimètres occupe sur la glace dépolie. Si cette image est de *n* centimètres, le double du grossissement est de *n* dixièmes.

Mettons que l'image ait 4 centimètres, on a $2G = 0,4$; on se sert alors de la formule exacte :

$$\Delta p = \varepsilon p(1 + G) = \varepsilon f(1 + G)^2 = \varepsilon f(1 + 2G + G^2),$$

dans laquelle on néglige G^2, ce qui la réduit à :

$$\Delta p_1 = \varepsilon f + \varepsilon f 2G.$$

On voit que la correction se réduit à deux parties : une partie fixe $\varepsilon f = 0,0176 f$ que l'on pourra inscrire sur chaque objectif, et une fraction de cette partie fixe égale à la fraction $2G$ que l'on aura déterminée directement.

Dans le cas ci-dessus où $2G = 0,4$, si on suppose $f = 250^{mm}$, d'où $\varepsilon f = 4^{mm},4 = 4^{mm}\ 1/2$ en chiffres ronds, la fraction de correction sera de $0,4 \times 4,4 = 1^{mm},76$ et le total sera de $\Delta p_1 = 6^{mm},2$. Si l'on calcule de tête, on arrondira tous ces chiffres et le résultat sera encore satisfaisant.

LA CORRECTION PAR BONNETTES

16. **Correction par bonnettes.** — Pour réaliser la correction chromatique une idée s'offre immédiatement : c'est de coiffer l'objectif pendant la pose d'une bonnette qui allonge le foyer des rayons chimiques dans le rapport de $1 - \varepsilon$ à l'unité.

Le foyer des rayons jaunes étant f, celui des rayons chimiques est $f(1 - \varepsilon)$ sans bonnette et il se trouve égal à $\frac{f(1-\varepsilon)}{(1 - \varepsilon)}$ quand on emploie celle-ci, c'est-à-dire qu'il est précisément égal au foyer f de la mise au point.

Dans le même ordre d'idées M. Lœhr, de Vienne a proposé d'employer deux *verres de bésicle* pouvant se substituer facilement dans la monture de l'objectif, et dont les longueurs focales soient dans le rapport de $\frac{1}{1-\varepsilon}$: l'une, la plus courte, pour mettre au point, l'autre pour exposer.

17. **Bonnettes ou lentilles à substitution.** — Ces deux procédés peuvent donner d'excellents résultats

mais ils ne sont pas d'application aussi facile qu'il semble à première vue et ils se heurtent à des difficultés du même ordre.

En tous cas, pour nous qui employons des lentilles de grand diamètre ou des objectifs doubles, il est certainement plus commode de coiffer la lentille ou l'objectif d'une bonnette que de les retirer de leur monture pour leur substituer une autre lentille, et nous nous en tiendrons au premier procédé, mais nous l'inverserons pour que les aberrations de la bonnette ne jettent aucun trouble pendant la pose dans le savant dosage de celles que l'objectif conserve, c'est-à-dire que nous coifferons l'objectif d'une bonnette pour la mise au point et raccourcirons ainsi son foyer dans le rapport de $\frac{1}{1 - \varepsilon}$.

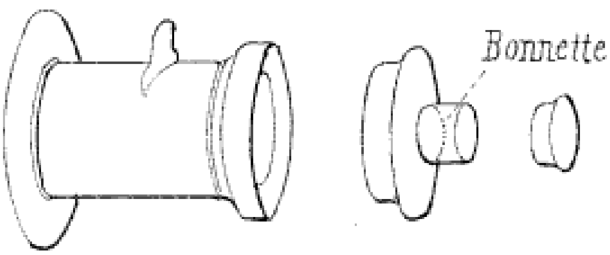


Fig. 29.

Sans bonnette le foyer des rayons jaunes est f et celui des rayons chimiques est $f(1 - \varepsilon)$. En coiffant l'objectif de la bonnette pendant la mise au point, le foyer des rayons jaunes devient $f(1 - \varepsilon)$ et la mise au point est précisément celle qui convient aux rayons chimiques quand la bonnette est enlevée. Le diamètre d'un lorgnon ordinaire (3 à 4 centimètres) suffira pour cette bonnette qui se logera dans le couvercle de l'objectif avec un petit bouchon spécial pour elle (*fig. 29*).

Quant aux difficultés d'exécution du procédé, les voici :

a) Lentilles substituées. — Supposons avec M. Lœhr que nous ayons deux lentilles plan-convexes du même foyer $f = \frac{R}{n - 1}$; R étant le rayon de la face courbe et n l'indice pour la raie D. Supposons aussi que nous veuillons donner à l'une des lentilles un foyer $\frac{f}{1 - \varepsilon}$ en creusant dans sa face plane une sphère de rayon R'.

R' sera déterminé par l'équation qui donne le foyer d'une lentille mince, $\frac{f}{1 - \varepsilon}$, en fonction des rayons des faces, R et R' :

$$\frac{n - 1}{R} - \frac{n - 1}{R'} = \frac{1 - \varepsilon}{f} = \frac{1}{f} - \frac{\varepsilon}{f}$$

et comme $f = \frac{R}{n - 1}$, d'où $\frac{1}{f} = \frac{n - 1}{R}$,

on a :

$$\frac{\varepsilon}{f} = \frac{n - 1}{R'}, \text{ d'où } R' = (n - 1)\frac{f}{\varepsilon}.$$

Pour $n = \frac{3}{2}$, $\varepsilon = 0{,}0185 = \frac{1}{54}$ et $f = 0^{m},50$;

on a :

$$R' = 13^{m},50.$$

Pour une lentille de diamètre C = 3 centimètres (ce qui suffirait pour la mise au point) la flèche h de cette calotte serait :

$$h = \frac{C^2}{8R'} = \frac{9^c}{10.800} = 0^{cm},00083 = 0^{mm},008,$$

soit *8 millièmes de millimètre,* moins que *un centième de millimètre!*

Mais il y a pire encore : si on commet une erreur sur cette épaisseur minime de matière à enlever, quelle sera son influence sur la correction de l'objectif?

Pour le savoir nous traiterons, ici et dans tout ce qui suivra, les petites variations de nos variables comme des différentielles (ainsi que nous l'avons déjà fait). Considérons les équations :

$$(1) \qquad R' = (n - 1)\frac{f}{\varepsilon}$$

et

$$(2) \qquad C^2 = 8\, R'h$$

nous ferons varier R′ et ε dans la première, R′ et h dans la seconde. Nous prendrons les logarithmes des deux membres et nous différencierons. Nous aurons :

$$(1) \qquad \frac{dR'}{R'} = \frac{-\, d\varepsilon}{\varepsilon}$$

et

$$(2) \qquad 0 = \frac{dR'}{R'} + \frac{dh}{h},$$

d'où

$$\frac{dh}{h} = \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}.$$

L'erreur *relative* sur la correction ε sera donc la même que celle qui sera commise sur la minime flèche h, c'est-à-dire que si on commet sur h une erreur de $\frac{h}{10}$, moindre par conséquent que *un millième de millimètre*, le coefficient ε et la correction de l'objectif lui-même subiront une variation de $\frac{1}{10}$ qui peut être appréciable et gênante dans les longs foyers. Il n'est donc pas pratique de réaliser une lentille de foyer $\frac{f}{1 - \varepsilon}$ en modifiant légèrement les courbures d'une face plane ou très peu courbe dans une lentille de foyer f.

Pouvons-nous arriver au résultat cherché en modifiant la face la plus courbe?

Considérons l'équation du foyer d'une lentille de rayons R_1 et R_2 :

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right),$$

et supposons que R_1 et f varient seuls: prenons les logarithmes et différencions nous aurons :

$$\frac{-df}{f} = \frac{\frac{-dR_1}{R_1^2}}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \text{ d'où } \frac{df}{f} = \frac{dR_1}{R_1} \times \frac{R_2}{R_2 - R_1}$$

et

$$\frac{dR_1}{R_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_2}\,\frac{df}{f},$$

pour une lentille équiconvexe :

$$R_2 = -R_1$$

d'où

$$\frac{dR_1}{R_1} = \frac{2df}{f}.$$

Pour une lentille plan convexe, avec $n = \frac{3}{2}$:

$$R_1 = \frac{f}{2} \text{ et } R_2 = \infty$$

d'où $\quad \frac{R_2 - R_1}{R_2} = 1 \qquad \frac{dR_1}{R_1} = \frac{df}{f} = \frac{1}{50}\cdots\cdots$

d'où $$dR_1 = \frac{f}{2 \times 50} = \frac{f}{100}$$

et pour $f = 50^{cm}$ $$dR_1 = \frac{50}{100} = 0^c,5.$$

C'est une petite différence mais qui est réalisable : cependant il faudra une grande précision dans le travail car la plus petite erreur sur le rayon se fera sentir sur la correction ε. En effet, on a $\frac{dR_1}{R_1} = \frac{df}{f} = \varepsilon$, donc si dR_1 prend une variation α, ε prendra une variation $d\varepsilon = \frac{\alpha}{R_1}$

d'où $$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\alpha}{R_1\,\varepsilon}.$$

Or il est nécessaire de réaliser la correction ε à $\frac{1}{20}$ près car cette variation de $\frac{1}{20}$ produit sur le foyer de l'objectif anachromatique F une variation de :

$$\frac{1}{20} \times \varepsilon F = \frac{1}{20} \times \frac{1}{50} F = \frac{F}{1000}$$

qui est appréciable dans les grands foyers.

Si donc $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ doit être $< \frac{1}{20}$, on a aussi :

$$\frac{\alpha}{R_1\varepsilon} < \frac{1}{20}; \quad \alpha < \frac{R_1\varepsilon}{20}, \quad \alpha < \frac{R_1}{20 \times 50}; \quad \alpha < \frac{R_1}{1000}.$$

Si notre lentille est une plan convexe de foyer $f = 50^c$, avec $n = \frac{3}{2}$,

$$R_1 = \frac{f}{2} = 25^c \text{ et } \frac{R_1}{1000} = 0^c,025.$$

Le rayon R_1 devra donc être obtenu à moins de un quart de millimètre. Ce n'est pas irréalisable, mais c'est à peu près la limite pratique de la précision du travail courant de l'optique et cette exigence est encore une raison de préférer l'emploi d'une bonnette aux lentilles substituées.

b) Bonnettes. — Essayons maintenant de donner à notre lentille de foyer f un foyer $f - \varepsilon$ en la coiffant d'une bésicle ordinaire du commerce, biconvexe ou plan convexe.

Pour qu'une bonnette mince, de foyer φ, placée devant un objectif de foyer F à la distance e du point nodal d'incidence, donne un foyer résultant $F(1 - \varepsilon)$, il faut que $F(1 - \varepsilon) = \dfrac{+ \varphi F}{F - e + \varphi}$;

d'où $$\varphi = (F - e)\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right).$$

Telle est la formule générale de la bonnette de foyer φ.

Pour un objectif symétrique anachromatique dans lequel $F = 46^{cm},1$ $e = 13^{cm}$ et $\varepsilon = \dfrac{1}{54}$ on a $\varphi = 33,1 \times 53 = 1754^{cm}$.

Or, pour une bésicle biconvexe on a $R = \varphi$ et pour une plan convexe, $R = \dfrac{\varphi}{2}$, soit ici, $R = 1.754^{cm}$ ou $R = 877^{cm}$, c'est-à-dire qu'on tombe, comme tout à l'heure, dans d'énormes rayons pour lesquels la flèche est minime sur un petit diamètre et pour lesquels la moindre erreur sur cette flèche produit des variations notables de la correction ε.

En effet, prenons :
l'équation de la flèche

$$(1) \qquad C^2 = 8Rh,$$

l'équation d'une lentille plan convexe

$$(2) \qquad \varphi = 2R$$

et l'équation de la bonnette

$$(3) \qquad \varphi = (F - e)\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)$$

prenons les logarithmes et différencions, nous avons :

$$(1)' \qquad 0 = \frac{dR}{R} + \frac{dh}{h}$$

$$(2)' \qquad \frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{dR}{R}$$

$$(3)' \qquad \frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{-d\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{1 - \varepsilon} = \frac{-d\varepsilon}{\varepsilon}(1 + \varepsilon)$$

or $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ et ε sont tous deux des rapports très petits car $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ ne dépasse pas $\frac{1}{20}$ et ε ne dépasse pas $\frac{1}{50}$. On peut donc négliger le produit $\varepsilon \times \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ par rapport à $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ et écrire $\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{-d\varepsilon}{\varepsilon}$;

d'où
$$\frac{dh}{h} = \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}.$$

Comme tout à l'heure, une erreur de un millième de millimètre sur l'épaisseur de matière enlevée par l'outil fait varier la correction de plus de $\frac{1}{10}$. La bonnette ainsi constituée n'est donc pas d'un usage pratique.

Mais si nous ne pouvons pas employer comme bonnette une seule bésicle ordinaire, biconvexe ou plan convexe, nous allons voir au contraire qu'un ménisque divergent de courbures appropriées nous permet de réaliser nos longs foyers avec une précision facile à atteindre, et nous verrons aussi qu'on peut même employer à cet effet une combinaison de bésicles du commerce d'un numéro convenable, l'une convergente, l'autre divergente.

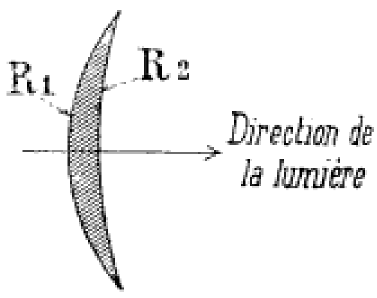


Fig. 30.

18. Bonnette divergente à un seul verre (ménisque). — Le foyer d'un ménisque φ, de rayons $+ R_1$ et $+ R_2$ et d'épaisseur e est :

$$\varphi = \frac{n}{n-1} \frac{R_1 R_2}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n}$$

avec la convention de signes la plus habituelle, c'est-à-dire en considérant comme positives les longueurs qui sont comptées à partir de leur origine dans le sens où se propage la lumière et les rayons des surfaces qui tournent leur convexité *contre* ce sens, comme sur la figure,

et si nous posons $R_1 = R_2 - \alpha$ (ménisque convergent) et $R_2 = R$,

on a $$\varphi = \frac{n}{n-1} \frac{R^2 - \alpha R}{(n-1)e + n\alpha}$$

et avec

$$n = \frac{3}{2}$$

$$\varphi = 6\,\frac{R^2 - \alpha R}{e + 3\alpha} \quad \text{d'où} \quad \alpha = \frac{6R^2 - e\varphi}{3\varphi + 6R},$$

on voit qu'en prenant pour e et pour α, différence des rayons, des valeurs très petites on peut rendre φ aussi grand qu'on veut. Inversement, pour avoir une bonnette d'un foyer φ donné, on choisira une valeur de R convenable [on verra plus loin qu'il y a intérêt à la prendre grande (1)]. On prendra aussi une valeur de l'épaisseur e commode pour le travail et on déduira de l'équation ci-dessus la valeur α, différence des rayons.

Exemple :

Cherchons à réaliser la bonnette $\varphi = 1.754^c$ de la page 143 avec l'épaisseur $e = 0^c.2$, le plus grand

(1) On montrera, en effet, qu'une erreur relative $\frac{dR}{R}$ sur un rayon entraine une erreur relative égale, $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$, sur la correction produite par la bonnette. L'erreur absolue dR qui caractérise la précision du travail est indépendante de R. Ce sera, par exemple, un quart de millimètre, et plus R sera grand, plus cette erreur absolue dR causera une faible erreur relative $\frac{dR}{R}$. Mais on doit faire observer, en outre, que la formule des lentilles minces :

$$\varphi = \frac{n}{n - 1}\,\frac{R^2 + \alpha R}{(n - 1)e - n\alpha}$$

ne s'applique exactement à des ménisques, même minces à leur sommet, que lorsque le rapport du sinus-verse h au rayon R est assez petit pour être négligeable, c'est-à-dire quand les rayons de courbure des lentilles sont grands par rapport à leur diamètre.

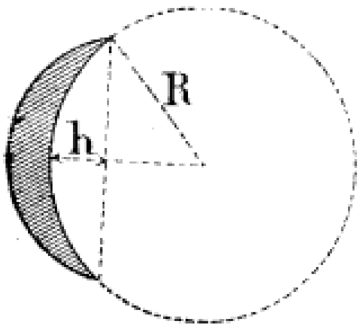


Fig. 31.

rayon $R_2 = 50^c$, et l'indice $n = \frac{3}{2}$, nous appliquerons la formule de la page 146

$$\alpha = \frac{6R^2 - \varepsilon\rho}{3\rho + 6R}$$

et nous trouverons :

$$\alpha = \frac{14.650}{5.462} = 2^c{,}68,$$

d'où

$$R_2 = 50,$$
$$R_1 = 47{,}32.$$

Pour une exécution soignée, on essaierait la bonnette sur l'objectif avant que *e* ait atteint sa valeur calculée et on diminuerait l'épaisseur jusqu'à ce que l'objectif, mis au point sur une mire placée à la distance p' avec un tirage p de la chambre et coiffé ensuite de sa bonnette, se trouve au point, sans changer le tirage, sur une mire placée à la distance :

$$p' - \varepsilon p'\left(1 + \frac{1}{G}\right);$$

G étant le grossissement $\left(\frac{I}{O}\right)$ égal au rapport d'une dimension de l'image à celle de l'objet et ε étant le coefficient de correction chromatique $\left(\frac{1}{54} \text{ dans le cas considéré}\right)$.

Pour montrer que la seconde mise au point se fait bien à la distance :

$$p' - \varepsilon p'\left(1 + \frac{1}{G}\right),$$

il faut considérer que la première est réglée par l'équation :

$$(1) \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

et que pour la seconde p' devient $p' + dp'$ pendant que f devient $f + df$ avec $df = -\varepsilon f$ d'où $\dfrac{df}{f} = -\varepsilon$ et en différenciant (1) avec $dp = 0$

$$\frac{-dp'}{p'^2} = \frac{-df}{f^2} \quad \text{d'où} \quad \frac{dp'}{p'} = \frac{p'}{f}\,\frac{df}{f}$$

et comme $p' - f = \dfrac{f}{G}$ d'ou $\dfrac{p'}{f} = 1 + \dfrac{1}{G}$

$$dp' = -\varepsilon p'\left(1 + \frac{1}{G}\right).$$

19. Erreurs à craindre dans le travail. — Nous devons nous demander, maintenant, si le travail courant de l'optique nous fournira l'épaisseur et les rayons calculés, e, R et R — α, assez exactement pour que la correction ε soit réalisée avec la précision de $\dfrac{1}{20}$ qui nous est nécessaire?

Pour le même motif, avec quelle précision devons-nous connaître l'indice du verre employé?

En d'autres termes, quelle erreur relative sur la correction résulte d'une certaine erreur relative sur l'épaisseur, sur les rayons ou sur l'indice? Examinons ces divers points successivement.

a) Erreur sur l'épaisseur. — Considérons l'équation de la page 146

$$(1) \qquad \varphi = 6\,\frac{R^2 - \alpha R}{e + 3\alpha}$$

prenons les logarithmes des deux membres et différencions par rapport à e et à φ, nous obtenons :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{-de}{e + 3\alpha}$$

et comme nous avons vu page 144 que l'on peut prendre :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{-d\varphi}{\varphi}, \text{ on a } \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{de}{e + 3\alpha}.$$

Dans l'exemple considéré $3\alpha + e = 8^c,24$; d'un autre côté les épaisseurs sont obtenues pratiquement à $\frac{1^{mm}}{4}$ près $= 0^c,025$. Il en résulte donc une erreur relative $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{0,025}{8,24} = \frac{1}{329,6}$.

b) Erreur sur les rayons des faces. — Reprenons l'équation de la page 145.

$$\varphi = \frac{n}{n - 1} \frac{R_1 R_2}{e(n - 1) + (R_2 - R_1)n}$$

posons $M = e(n - 1) + (R_2 - R_1)n$, prenons les logarithmes et différencions par rapport à φ, R_1 et R_2

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{dR_1}{R_1} + \frac{dR_2}{R_2} - \frac{ndR_2}{M} + \frac{ndR_1}{M},$$

d'ou $\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{dR_1}{R_1}\left(1 + \frac{n}{M} R_1\right) + \frac{dR_2}{R_2}\left(1 - \frac{n}{M} R_2\right)$;

prenons notre exemple :

$$R_1 = 47^{cm},32$$
$$R_2 = 50^c$$
$$e = 0^c,2$$
$$n = \frac{3}{2},$$

alors $\frac{n}{M} = \dfrac{\frac{3}{2}}{\frac{e}{2} + \frac{3}{2}(R_2 - R_1)} = \frac{3}{e + 3(R_2 - R_1)}$,

13.

mais
$$3(R_2 - R_1) = + 8^{cm}$$
$$e = 0^c,2$$
$$e + 3(R_2 - R_1) = 8^c,2$$

et alors
$$\frac{n}{M} R_1 = \frac{141,96}{8,2} = 17,3,$$
$$\frac{n}{M} R_2 = \frac{150}{8,2} = 18,3,$$

d'où
$$\frac{d\varphi}{\varphi} = 18,3 \frac{dR_1}{R_1} - 17,3 \frac{dR_2}{R_2};$$

si les erreurs dR_1 et dR_2 sont de même signe, elles se retranchent et peuvent se compenser. Si elles sont de signes contraires, elles s'ajoutent et si nous les supposons toutes deux égales à un quart de millimètre, ce qui correspond à la précision courante du travail des verres, nous aurons par exemple :

$$dR_2 = -\frac{1^{mm}}{4} = -\frac{1^{cm}}{40}$$
$$dR_1 = +\frac{1^{mm}}{4} = +\frac{1^{cm}}{40},$$

d'où
$$\frac{d\varphi}{\varphi} = + \frac{18,3}{40 \times 47,32} + \frac{17,3}{40 \times 50} = 0^{cm},018\ldots..$$

et comme $\frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$, on voit qu'une erreur de $\frac{1}{4}$ de millimètre sur chacun des rayons produira une erreur moindre que $\frac{2}{100}$ sur la correction.

c) Erreur sur l'indice. — Reprenons la formule de la page 145

$$\varphi = \frac{n}{n-1} \frac{R_1 R_2}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n}.$$

Prenons les logarithmes et différencions par rapport à φ et à n en nous rappelant que $\frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$;

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{dn}{n} - \frac{dn}{n-1} - dn\frac{e + R_2 - R_1}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n} = -\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$$

$$-\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{dn}{n-1} - \frac{dn}{n}\,\frac{e}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n}$$

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{dn}{n}\left[\frac{n}{n-1} + \frac{e}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n}\right];$$

or la bonnette $\varphi = \frac{n}{n-1}\,\frac{R_1R_2}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n}$ étant un ménisque, ses deux rayons sont de même signe, donc le numérateur de φ est $> O$. Pour que la bonnette soit convergente ($\varphi > O$) il faut que le dénominateur de φ soit $> O$. De plus, le ménisque étant mince, la valeur absolue de la différence $R_2 - R_1$ est toujours, en pratique, $> e$ et *a fortiori* $n(R_2 - R_1)$ est $> e(n - 1)$. La somme de ces quantités devant être $> O$ et $e(n - 1)$ étant toujours $> O$, il résulte que $R_2 - R_1$ doit être aussi $\geqslant O$, c'est-à-dire que le ménisque est à bords minces. Donc le minimum de l'expression :

$$e(n-1) + (R_2 - R_1)n$$

a lieu pour $R_2 - R_1 = O$ et la valeur de ce minimum est $(n - 1)e$; donc le terme $\frac{e}{e(n-1) + (R_2 - R_1)n}$ est aussi toujours positif et son maximum est $\frac{e}{e(n-1)}$.

Donc enfin on a $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} < \frac{dn}{n}\left(\frac{n}{(n-1)} + \frac{e}{e(n-1)}\right)$.

Pour $n = \frac{3}{2}$ et $e = 0^c,2$, la parenthèse prend la valeur 5, donc :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} < \frac{5dn}{n}.$$

Or les indices sont connus avec trois décimales exactes, au moins, donc pour $n = 1,500$ $\frac{dn}{n} = \frac{1}{1500}$

et $$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} < \frac{5}{1500} \quad \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} < \frac{1}{300}.$$

En résumé, l'erreur relative que nous avons à craindre sur la correction ε est :

par erreur sur l'indice, plus petite que $\frac{1}{300}$,

par erreur sur les rayons des faces, plus petite que $\frac{2}{100}$,

par erreur sur l'épaisseur, plus petite que $\frac{1}{300}$

et l'erreur relative totale (1) est plus petite que :

$$\frac{1}{300} + \frac{2}{100} + \frac{1}{300} = \frac{8}{300}$$

(1) Les expressions trouvées pour les erreurs partielles équivalent aux relations

$$\frac{1}{\varphi}\frac{d\varphi}{dn}\cdot dn = \frac{1}{300}$$

$$\frac{1}{\varphi}\left(\frac{d\varphi}{dR_1}dR_1 + \frac{d\varphi}{dR_2}dR_2\right) = \frac{2}{100}$$

$$\frac{1}{\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{de}\cdot de = \frac{1}{300}$$

d'où $$\frac{1}{\varphi}\left[\frac{d\varphi}{de}\cdot de + \frac{d\varphi}{dR_1}dR_1 + \frac{d\varphi}{dR_2}dR_2 + \frac{d\varphi}{dn}\cdot dn\right] = \frac{1}{300} + \frac{2}{100} + \frac{1}{300}$$

ou $$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{8}{300}.$$

c'est-à-dire qu'elle est plus petite que la moitié environ de celle que nous permet la précision dont nous avons besoin, c'est-à-dire $\frac{1}{20} = \frac{15}{300}$.

L'établissement d'une bonnette en forme de ménisque divergent est donc possible pratiquement. Elle sera facilement réalisée par l'opticien qui fabriquera des objectifs anachromatiques et qui voudra les livrer munis de bonnettes. Il pourra arriver également qu'on lui demande des bonnettes d'un foyer déterminé destinées à coiffer des objectifs qu'on ne lui enverra pas. S'il désire vérifier le foyer de la bonnette pendant le travail, il lui suffira de l'associer à toucher un verre de bésicle de foyer moyen et connu, f', pour que l'ensemble prenne un foyer égal à: :

$$\frac{\varphi f'}{f' + \varphi} = \frac{f'}{1 + \frac{f'}{\varphi}}.$$

Le rapport $\frac{f'}{\varphi}$ étant très petit, ceci est sensiblement égal à $f'\left(1 - \frac{f'}{\varphi}\right)$ et alors il suffit de répéter le raisonnement de la page 135. Si on met f' au point sur une mire placée à la distance p' avec un tirage de chambre $= p$ et que sans changer p on coiffe f' de la bonnette φ qui lui donne le foyer $f'(1 - \varepsilon')$ $\left(\text{avec } \varepsilon' = \frac{f'}{\varphi}\right)$, l'ensemble se trouvera au point sur la mire placée à la distance $p' - \varepsilon' p\left(1 + \frac{1}{G}\right)$.

20. Bonnette à deux verres. — La bonnette dont nous allons parler est encore plus facile à établir que la précédente puisqu'elle est composée de deux bésicles ordinaires du commerce, l'une divergente, l'autre convergente, dont il suffit de déterminer le numéro par le calcul qui suit :

Soit φ le foyer de la bonnette, qui sera composée de deux verres très rapprochés, de foyer f_1 et f_2. Nous considérons l'écartement e comme nul et nous aurons :

$$\varphi = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}$$

et si nous posons $f_1 + f_2 = x$
il en résulte $f_1 f_2 = \varphi x$,
$f_1 f_2$ sont donc les racines de l'équation :

$$f^2 - fx + \varphi x = 0$$

d'où

$$(1) \qquad f_1 = \frac{x}{2} + \sqrt{\frac{x^2}{4} - \varphi x},$$

$$(2) \qquad f_2 = \frac{x}{2} - \sqrt{\frac{x^2}{4} - \varphi x}.$$

Pour que ces racines soient réelles il faut que $\frac{x^2}{4} - \varphi x > 0$. Or φ étant > 0 ceci exige, ou bien que x soit < 0 ou, si x est > 0 que $\frac{x}{4} - \varphi > 0$. Dans le deuxième cas ($x > 0$) on a aussi $\varphi x > 0$. Le produit des racines est donc positif et leur somme aussi. Elles sont donc positives toutes deux et leur somme étant plus grande que 4φ l'une d'elles est $> 2\varphi$, c'est-à-dire qu'elle est irréalisable en pratique, comme ayant un trop long foyer (voir page 140).

Nous ne nous occuperons donc que du cas ou $x < O$, d'où $\varphi x < O$. Alors la somme des racines est négative et leur produit aussi. Les deux foyers f_1 et f_2 sont donc de signes contraires et le foyer négatif est le plus grand.

Les valeurs de ces foyers sont données immédiatement pour chaque valeur de φ et de x par les relations (1) et (2).

Si on y exprime φ et x en pouces (1 pouce $= 27^{mm},07$) f_1 et f_2 sont aussi exprimés en pouces et si on trouve une valeur de x pour laquelle f_1 et f_2 soient exprimés par des nombres entiers, les nombres trouvés indiquent les *numéros* des bésicles appropriées (1).

EXEMPLE :

La bonnette de 1754 centimètres qui nous est nécessaire pour l'objectif de 46 centimètres, dont nous avons déjà parlé, a en *pouces* un foyer $\varphi = \frac{1754}{2^c,707} = 648^p,1$. Si on remplace φ par cette valeur et qu'on essaye successivement $x = -1$, $x = -2$, $x = -3$ dans l'expression :

$$f = \frac{x}{2} \pm \sqrt{\frac{x^2}{4} - \varphi x},$$

on trouve pour $x = -2$

$$f_1 = + 35^p,015$$
$$f_2 = - 37^p,015$$

(1) Ce que les opticiens appelaient autrefois et appellent encore le *numéro* d'une bésicle n'est pas autre chose, en effet, que sa longueur focale exprimée en pouces. On désigne aussi maintenant les bésicles en *dioptries*. La *dioptrie* est la *puissance* d'une lentille, c'est-à-dire l'inverse de son foyer exprimé en mètres. Inversement le foyer d'une bésicle de Δ dioptries est $\frac{1}{\Delta}$ mètres. Ainsi la bésicle de 2 dioptries a pour foyer $\frac{1}{2}$ mètre $=$ 50 centimètres et son *numéro* ancien est compris entre 18 et 19 :

$$18 \times 2^{cm},707 = 0^m,487 \text{ et } 19 \times 2^{cm},707 = 0^m,514.$$

et en essayant

$$f_1 = 35^p$$
$$f_2 = -37^p$$

dans l'expression

$$\varphi = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}$$

on trouve $\varphi = 647^p,5$ au lieu de $648^p,1$.

L'erreur $\dfrac{d\varphi}{\varphi} = \dfrac{0^p,50}{648} < \dfrac{1}{1300}$.....

comme $\dfrac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \dfrac{-d\varphi}{\varphi}$ on a, en valeur absolue, $d\varepsilon < \dfrac{\varepsilon}{1300}$

d'où $d\varepsilon < \dfrac{1}{50} \times \dfrac{1}{1300}$ soit $< \dfrac{1}{65000}$

et l'erreur qui en résulterait sur la correction du foyer $F = 460^{mm}$ serait $< \dfrac{460}{65000}$, c'est-à-dire $< 0^{mm},007$ (sept millièmes de millimètre).

Il suffira donc de former la bonnette avec une bésicle convergente du *numéro* 35 et une bésicle divergente du numéro 37 placées devant l'objectif à très petite distance l'une de l'autre.

Quelles erreurs avons-nous à craindre sur une bonnette ainsi constituée? Examinons-les successivement.

a) Erreur sur les foyers des bésicles composant la bonnette. — Reprenons l'équation :

$$\varphi = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}.$$

En posant $f_2 = -f_2$ elle devient :

$$\varphi = \frac{f_1 f_2}{f_2 - f_1},$$

prenant les logarithmes et différenciant :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{df_1}{f_1} + \frac{df_2}{f_2} - \frac{(df_2 - df_1)}{f_2 - f_1}$$

d'où $$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{df_1}{f_1} \times \frac{f_2}{f_2 - f_1} - \frac{df_2}{f_2} \times \frac{f_1}{f_2 - f_1}.$$

Pour la bonnette calculée à la page 155 avec

$$f_1 = 35^p \quad f_2 = 37^p \quad f_2 - f_1 = 2^p$$

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = + 18{,}5 \times \frac{df_1}{f_1} - 17{,}5 \times \frac{df_2}{f_2}.$$

Si les erreurs sont de même signe elles se compensent en partie. Si elles sont de signes contraires elles s'ajoutent et si elles sont à peu près égales, on a environ :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = 36 \times \frac{df_1}{f_1} \quad \text{avec} \quad \frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{-d\varepsilon}{\varepsilon};$$

Or si les bésicles sont équicourbes on a $f_1 = \dfrac{R}{2(n-1)}$

d'où $\dfrac{df_1}{f_1} = \dfrac{dR}{R}$. Si les rayons sont réalisés à $\dfrac{1^{mm}}{4}$ près et

si $n = \dfrac{3}{2}$, comme on a $R = f_1 = 35^p = 1000^{mm}$.....

Il vient $$\frac{df_1}{f_1} = \frac{dR}{R} = \frac{1}{4 \times 1000}$$

et $$\frac{-d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{36}{4000} = \frac{1}{111}\ldots..$$

b) Erreur sur la distance des verres. — Nous avons supposé que la distance des deux verres était nulle, ce qui n'est pas exact, car pour éviter des phénomènes de diffraction il faut maintenir entre eux un certain espace suivant l'axe. De plus, les points nodaux entre lesquels la distance des deux verres est comptée sont à l'intérieur des lentilles, d'où deux très faibles distances à ajouter à la précédente.

Supposons que la distance entre les points nodaux doive être de 2 millimètres. Nous en tiendrons compte dans le calcul du foyer de la bonnette en faisant $e = 2$ millimètres dans la formule :

$$\varphi = \frac{f_1 f_2}{f_2 - f_1 + e}$$

ou f_1 et f_2 représentent les valeurs absolues des foyers.

Si maintenant nous prenons les logarithmes et les différentielles des deux membres par rapport à φ et à e nous trouvons :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{-de}{f_2 - f_1 + e},$$

or $f_2 - f_1 = 2$ pouces $= 54^{\text{mm}},1$ et $\dfrac{d\varphi}{\varphi} = \dfrac{-d\varepsilon}{\varepsilon}$

d'où $$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{de}{54,1 + 2} = \frac{de}{56^{\text{mm}}}$$

et si nous commettons une erreur de $\dfrac{1^{\text{mm}}}{4}$ sur e, l'erreur relative sur ε sera :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{1}{224}.$$

c) Erreur sur la distance de la bonnette au point nodal de l'objectif. — Cette erreur concerne tous les systèmes de bonnettes car, pour toutes, les calculs supposent connue la distance de la bonnette au point nodal d'incidence de l'objectif. Or, on peut commettre une erreur initiale sur la détermination de ce point et en mettant la bonnette à la place qu'elle doit occuper on commet chaque fois une petite erreur sur cet emplacement. En admettant une erreur de $\frac{1}{4}$ de millimètre dans chaque cas, c'est une erreur totale de $\frac{1}{2}$ millimètre qu'on peut avoir à craindre. Considérons l'équation générale de la bonnette φ

$$\frac{\varphi F}{\varphi + F - e} = F(1 - \varepsilon).$$

Prenons les logarithmes et différencions par rapport à ε et à e, nous avons :

$$\frac{de}{\varphi + F - e} = \frac{-d\varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

d'où $$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{de}{e}\,\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\,\frac{e}{-\varphi - F + e};$$

ε est négligeable par rapport à l'unité et $F - e$ est négligeable par rapport à φ, de sorte que cette expression peut se réduire à :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{de}{e}\,\frac{e}{\varepsilon\varphi}.$$

Dans notre exemple $e = 13^c$ $\varphi = 1754^c$ $\varepsilon = \frac{1}{54}$

d'où $$\frac{e}{\varepsilon\varphi} = \frac{13 \times 54}{1754} = 0{,}40.....$$

Or nous avons vu que de peut atteindre $\frac{1}{2}$ millimètre, et $e = 130^{mm}$, donc $\frac{de}{e} = \frac{1}{260}$ et finalement, en valeur absolue :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{1}{260} \times 0{,}40 = \frac{1}{650}.$$

En résumé, l'erreur que nous avons à craindre sur la correction ε du fait de notre bonnette à deux verres est :

a) Par erreur sur les foyers des bésicles composantes, plus petite que $\frac{1}{111}$;

b) Par erreur sur la distance des deux verres, plus petite que $\frac{1}{224}$;

c) Par erreur sur la distance de la bonnette à l'objectif plus petite que $\frac{1}{650}$;

Et l'erreur relative totale est plus petite que :

$$\frac{1}{111} + \frac{1}{224} + \frac{1}{650},$$

ce qui est plus petit que :

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{600};$$

cette dernière somme est égale à $\frac{10}{600}$, c'est-à-dire à $\frac{1}{60}$, au lieu de $\frac{1}{20}$ que nous nous sommes imposé.

21. Bonnettes équicourbes. — Au lieu d'employer des rayons très voisins pour les faces de la bonnette ménisque, on pourrait adopter deux rayons égaux $R_1 = R_2 = R$ et, en portant cette valeur dans l'équation de la page 145, on aurait :

$$\varphi = \frac{R^2}{e} \times \frac{n}{(n-1)^2};$$

pour $n = \frac{3}{2}$, $e = 2^{mm}$ et $\varphi = 1754^{cm}$, cette équation donnerait $R = 7^c,99$.

La figure 32 représente cette bonnette en vraie grandeur et elle paraît admissible. Toutefois, si nous cherchons l'erreur à craindre sur une pareille bonnette, nous trouvons, en prenant les logarithmes et différenciant :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{dn}{n} - \frac{2dn}{n-1} + \frac{2dR}{R} - \frac{de}{e}$$

pour $n = \frac{3}{2}$, cela fait :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{5dn}{n} + \frac{2dR}{R} + \frac{de}{e}$$

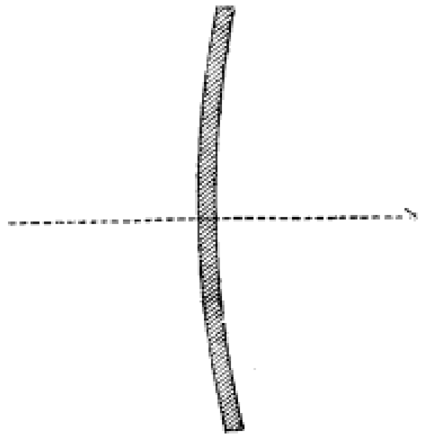


Fig. 32.

et en remarquant que $\frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ et que les signes des erreurs dn, dR et de peuvent être tels que leur valeurs absolues s'ajoutent, la valeur absolue de l'erreur $d\varepsilon$ est donnée par la relation

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{5dn}{n} + \frac{2dR}{R} + \frac{de}{e}.$$

Or, pour n connu avec trois décimales

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{1500} \quad \text{et} \quad \frac{5dn}{n} = \frac{1}{300};$$

dR peut être pris, comme précédemment, égal à $\frac{1^{mm}}{4}$ et $R = 80^{mm}$, de sorte que

$$\frac{2dR}{R} = \frac{1}{160};$$

donc $$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{1}{300} + \frac{1}{160} + \frac{de}{e}$$

et si l'on veut, comme précédemment, que $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} > \frac{1}{20}$, il faut que

$$\frac{de}{e} < \frac{1}{20} - \frac{23}{2400} < \frac{1}{24}$$

et si $de = \frac{1^{mm}}{4}$ il faut que

$$e > 6^{mm}.$$

L'épaisseur de la bonnette devrait donc être supérieure à 6^{mm} pour des verres travaillés à $\frac{1^{mm}}{4}$ près. Pour la faire plus mince il faudrait une précision un peu plus grande, facile à déduire du calcul précédent.

22. Bonnettes équifocales. — Au lieu de former la bonnette de deux bésicles de foyers très voisins (35 et 37 pouces) on pourrait la former de deux verres de même foyer comme notre « adjustable » *(page 72)*.

La formule de la page 158 pour $f_1 = -f_2 = f$ devient

$$\varphi = \frac{f^2}{e} \tag{1}$$

dans lequel f représente le foyer commun des deux verres et e l'écartement de leurs points nodaux ; et pour $e = 5^{mm}$ et $\varphi = 17540^{mm}$, $f = 296^{mm}$, soit une lentille dont la *puissance* est de 3,35 dioptries.

Le verre du commerce le plus rapproché est de 3,25 dioptries, soit 308^{mm} de foyer : en portant cette valeur de f et celle de $\varphi = 17540^{mm}$ dans l'équation (1), elle donne $e = 5^{mm},4$ pour l'écartement des verres.

Si nous cherchons maintenant l'erreur possible de cette bonnette, en prenant les logarithmes et les différentielles des deux membres de l'équation (1) nous trouvons :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{2df}{f} - \frac{de}{e}$$

et en valeur absolue $\frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{2df}{f} + \frac{de}{e}$

avec $$\frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} < \frac{1}{20},$$

comme toujours.

Or, $$df = \frac{1^{mm}}{4},\ f = 296^{mm},$$

de sorte que $$\frac{2df}{f} = \frac{1}{592},$$

d'où $$\frac{de}{e} < \frac{1}{20} - \frac{1}{592}$$

et approximativement $\frac{de}{e} < \frac{1}{20},$

ce qui est satisfait pour $e = 5^{mm},4$ et $de = \frac{1^{mm}}{4}$, comme précédemment, puisqu'alors $\frac{de}{e} = \frac{1}{21,6}$.

23. Correction par bonnettes. Résumé. — En résumé et sauf les inconvénients que la pratique pourra révéler, il semble que le procédé de correction par bonnettes doive donner de bons résultats si les bonnettes sont exactes. L'amateur qui ne voudra pas les calculer lui-même s'adressera à une bonne maison d'optique qui fera le nécessaire. Une fois les bonnettes établies, rien de plus facile que leur emploi avec le bouchon d'objectif figuré à la page 138. Pour mettre au point, on place le gros bouchon et on enlève le petit. Pour exposer c'est l'inverse. Et voilà tout : aucun calcul, aucune mesure.

Ce procédé ne le cède en simplicité à aucun de ceux qui ont été décrits ni même aux suivants, bien que l'un d'eux, celui qui consiste à raccourcir le foyer d'après une graduation gravée sur l'objectif soit excellent et qu'il ait suffi jusqu'à présent, à peu près seul, aux fidèles de l'objectif anachromatique.

Nous avons terminé ce qui concerne la correction des objectifs ordinaires, simples et doubles, et nous allons aborder maintenant l'étude de systèmes différents : les *téléobjectifs*, dans lesquels entrent des éléments divergents. On a peu publié sur ces instruments et on ne trouve dans les principaux traités d'optique photographique que des indications sommaires en ce qui les concerne. Avant d'étudier leur correction chromatique il ne sera pas sans intérêt de rechercher leurs principales propriétés et de voir comment elles varient avec leur composition, notamment en ce qui concerne la luminosité, le champ et la distorsion : cette étude préliminaire nous renseignera sur les combinaisons qu'il faut adopter d'après le genre de photographie qu'on veut exécuter.

LE TÉLÉOBJECTIF

24. Théorie géométrique. Formules fondamentales. — Un téléobjectif est un système optique formé de deux combinaisons centrées, l'une convergente, dite

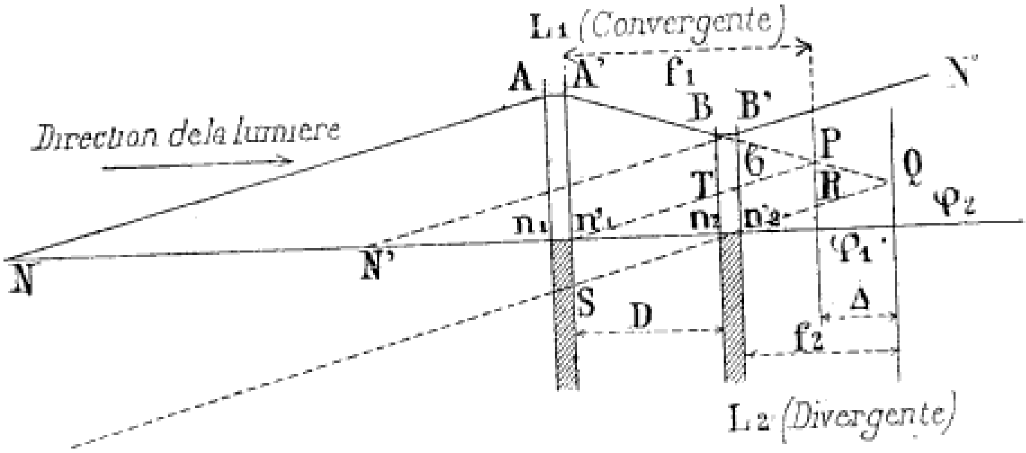


Fig. 33.

« *frontale* » et placée en avant, l'autre divergente, dite « *amplificatrice* » et placée à l'arrière. Pour que cet assemblage donne des images réelles, il faut que le foyer principal φ_1 de la première combinaison tombe entre la deuxième L_2 et le foyer principal arrière de celle-ci φ_2 *(fig. 33)*.

Cherchons la *lentille équivalente* de ce système et déterminons d'abord ses points nodaux. Pour cela, suivons le tracé d'un rayon qui sort du système parallèlement à sa direction d'entrée. On sait que ce rayon entrera par un point nodal de la combinaison N et sortira par l'autre, N'.

Représentons les deux lentilles L_1 et L_2 par leurs plans nodaux et focaux qui passent par n_1, n'_1 et φ_1 d'une part, et par n^2, n'_2 et φ_2 de l'autre. Appelons D l'écartement des deux lentilles $n'_1\ n_2$, compté entre les points nodaux, et f_1 et f_2 les valeurs absolues de leurs longueurs focales. Avec M. Rudolph (1), appelons en outre *coefficient d'amplification* du téléobjectif le rapport $\frac{f_1}{f_2} = \gamma$; nommons *intervalle optique*, et désignons par la lettre Δ la distance $\varphi_2\,\varphi_1$ entre le deuxième foyer de L_2 (celui qui n'est pas le point de concours des rayons principaux), et le premier foyer de L_1 (celui qui est le point de concours de ces rayons).

Menons maintenant deux parallèles quelconques par les points nodaux d'émergence n'_1 et n'_2 : soit n'_1P et n'_2Q. Joignons P et Q, intersections de ces parallèles par les plans focaux principaux correspondants φ'_1 et φ_2; ensuite par les points B et A' traçons les deux horizontales A'A et BB', d'un plan nodal à l'autre, puis les deux lignes AN et B'N' parallèles aux lignes n'_1P et n'_2Q. Le rayon NAA'BB'N' répond évidemment à la condition proposée, et les points N et N' sont les points nodaux.

(1) *Guide pour l'usage des objectifs téléphotographiques* par le docteur P. Rudolph, d'Iéna (1 brochure in-8° de 35 pages. Iéna, 1896, Carl Zeiss, Optische werkstaette, éditeur).

L. DE PULLIGNY.

Réduction d'une épreuve format 18 × 24.
Télé anachromat. à lentilles simples en crown.
Frontale plan convexe 32 centimètres.
Amplificatrice plan concave $10^c,5$.
Ouverture de la frontale F : 4,5.

Les triangles semblables, $N'Bn_2$, n'_1Tn_2, donnent :

$$(1) \qquad \frac{n_2N'}{n_2n'_1} = \frac{n_2B}{n_2T} = \frac{n'_2B'}{RP};$$

n'_2B' ne diffère de $n'_2\varepsilon$ que de $\varepsilon B' = B'B \times tg\alpha$, en appelant α l'angle du rayon $A'B$ avec l'axe. Or, la quantité $B'B$, distance des plans nodaux de L_2 est très petite, et $tg\alpha$ est aussi très petite par hypothèse, car les points nodaux n'existent que pour les rayons de faible incidence. On peut donc négliger $\varepsilon B'$ et remplacer n'_2B' par $n'_2\varepsilon$.

Or, les triangles semblables $n'_2\varepsilon Q$ et RPQ donnent :

$$(2) \qquad \frac{n'_2\varepsilon}{RP} = \frac{n_2B'}{RP} = \frac{n'_2\varphi_2}{\varphi_1\varphi_2} = \frac{f_2}{\Delta};$$

d'autre part, $n_2n'_1 = D$ par définition, donc, des relations (1) et (2) on tire pour la distance N_2 du deuxième point nodal N' du téléobjectif au premier point nodal n_2 de la lentille L_2 :

$$(3) \qquad N_2 = n_2N' = \frac{D \times f_2}{\Delta}.$$

De la même manière, les triangles NAn_1 et n'_1Tn_2 donnent :

$$\frac{n_1N}{n_2n'_1} = \frac{An_1}{n_2T} = \frac{A'n'_1}{n'_1S};$$

car n'_1S et n_2T ne diffèrent que d'une quantité $BB' \times tg\beta$, β étant ici l'angle du rayon AN avec l'axe et nous négligerons cette différence comme précédemment.

D'où $$\frac{A'n'_1 + n'_1S}{n'_1S} = \frac{n_1N + n_2n'_1}{n_2n'_1} = \frac{A'S}{PR}$$

dans les triangles SA′Q et RPQ on a :

$$\frac{A'S}{PR} = \frac{n_1'\varphi_2}{\varphi_1\varphi_2} = \frac{f_1 + \Delta}{\Delta},$$

donc

$$\frac{n_1N + n_2n_1'}{n_2n_1'} = \frac{f_1 + \Delta}{\Delta},$$

et

$$\frac{n_1N}{n_2n_1'} = \frac{f_1}{\Delta},$$

d'où on tire pour la distance N_1 du premier point nodal N du téléobjectif au premier point nodal n_1 de la lentille L_1 :

$$(4) \qquad N_1 = n_1N = \frac{D \times f_1}{\Delta}.$$

Pour avoir la longueur focale principale N′F′ de la lentille équivalente, suivons maintenant un rayon qui entre dans le système parallèlement à l'axe *(fig. 34)*.

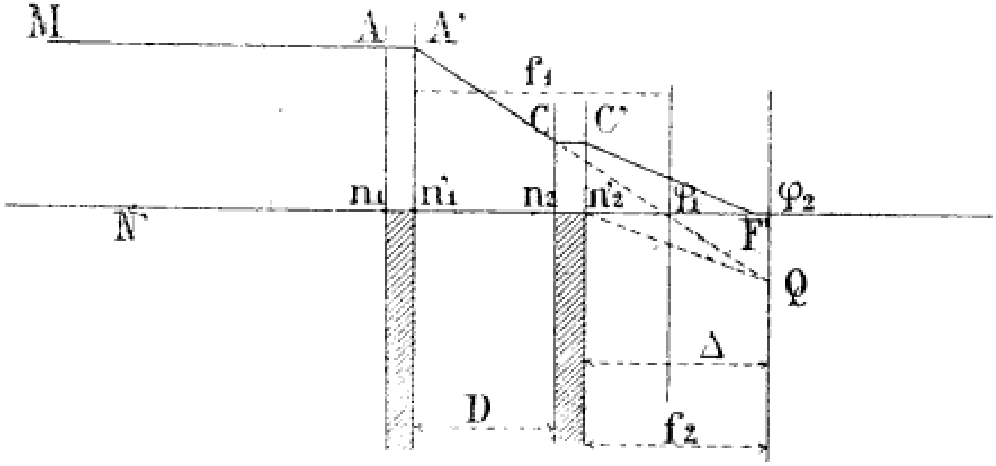


Fig. 34.

Ce rayon MA passe par φ_1, foyer de la première combinaison et va percer en Q le plan focal φ_2 de la deuxième. Si l'on mène la ligne $n_2'Q$ et la parallèle C′F′ on obtient le foyer principal F′ de la lentille équivalente, et la longueur focale $N'F' = N'n_2 + n_2n'_2 + n'_2F'$. Avec

$$N'n_2 = \frac{f_2}{\Delta} \times D.$$

Or, les triangles semblables $n'_2C'F'$ et $n'_2\varphi_2Q$, avec $n_2C = n'_2C'$ et $n'_2\varphi_2 = f_2$ donnent :

$$\frac{n'_2F'}{n'_2\varphi_2} = \frac{n'_2C'}{\varphi_2Q},$$

et les triangles semblables $n'_2C\varphi_1$ et $\varphi_1\varphi_2Q$ donnent :

$$\frac{n_2C}{\varphi_2Q} = \frac{n'_2C'}{\varphi_2Q} = \frac{n'_2\varphi_1}{\varphi_1\varphi_2}.$$

Or, $n_2\varphi_1$ c'est $f_1 - D$, et $\varphi_1\varphi_2$ c'est Δ,

donc $$\frac{n'_2F'}{f_2} = \frac{f_1 - D}{\Delta},$$

d'où $$n'_2F' = \frac{f_2(f_1 - D)}{\Delta}$$

et $$N'F' = \frac{f_2}{\Delta}\left\{D + f_1 - D\right\} + n_2n'_2 = \frac{f_1f_2}{\Delta} + n_2n'_2.$$

La longueur focale d'un téléobjectif est toujours grande, tandis que la distance des points nodaux de la lentille divergente dite « amplificatrice » est toujours petite. En pratique on la néglige et on prend pour distance focale principale du téléobjectif :

(1) $$f = \frac{f_1f_2}{\Delta}.$$

Remarquons aussi que si on multiplie f par le *coefficient d'amplification* $\gamma = \frac{f_1}{f_2}$, on a :

$$\gamma f = \frac{f_1^2}{\Delta},$$

et en divisant : $$\frac{f}{\gamma} = \frac{f_2^2}{\Delta}.$$

Or, on a vu précédemment que la distance du foyer principal F′ du téléobjectif à la lentille arrière, soit n'_2F' avait pour valeur :

$$n'_2F' = \frac{f_2(f_1 - D)}{\Delta},$$

avec $$D = f_1 + \Delta - f_2 - n_2n'_2,$$

et en négligeant $n_2n'_2$ on a :

$$n'_2F' = \frac{f_2(f_2 - \Delta)}{\Delta} = \frac{f_2^2}{\Delta} - f_2 = \frac{f}{\gamma} - f_2.$$

Il en résulte que la distance entre la lentille arrière et l'image I d'un objet O reproduit avec une amplification $G = \frac{I}{O} = \frac{1}{n}$ serait :

$$(2) \qquad \frac{1}{n}f + \frac{1}{\gamma}f - f_2 = \beta.$$

On a vu aussi, précédemment, que la distance n_1N de la frontale au point nodal avant était :

$$n_1N = \frac{f_1}{\Delta}D,$$

et, d'autre part, en négligeant l'écart des points nodaux $n_2n'_1$ on a :

$$D + f_2 = f_1 + \Delta,$$

la distance de la frontale au foyer principal avant est donc :

$$n_1N + f = \frac{f_1}{\Delta}D + \frac{f_1f_2}{\Delta} = \frac{f_1}{\Delta}\left\{D + f_2\right\}$$

$$= \frac{f_1}{\Delta}\left(f_1 + \Delta\right) = \frac{f_1^2}{\Delta} + f_1 = \gamma f + f_1,$$

et la distance de la frontale à un objet O donnant une image I d'amplification $G = \frac{I}{O} = \frac{1}{n}$ serait :

$$(3) \qquad nf + \gamma f + f_1 = \alpha.$$

Ajoutées à l'égalité :

$$(4) \qquad \gamma = \frac{f_1}{f_2}$$

les égalités (1), (2), (3) sont les équations fondamentales du téléobjectif et permettent de résoudre tous les problèmes qui se posent dans l'emploi de cet instrument.

25. Théorie algébrique. — Les relations initiales des pages 168 et 169 qui donnent la longueur focale du téléobjectif :

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta},$$

et les distances respectives des points nodaux à la frontale et à l'amplificatrice :

$$N_1 = \frac{Df_1}{\Delta} \quad \text{et} \quad N_2 = \frac{Df_2}{\Delta},$$

se déduisent immédiatement des formules générales qui déterminent la longueur focale d'une combinaison de deux systèmes optiques séparés par une lame d'air d'épaisseur D (comptée entre le deuxième plan nodal du premier système et le premier plan nodal du second).

Ces formules générales sont :

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - D},$$

$$N_1 = + D \frac{f_1}{f_1 + f_2 - D},$$

$$N_2 = \frac{- D f_2}{f_1 + f_2 - D},$$

N_1 et N_2 étant comptés respectivement à partir du premier plan nodal du premier système et à partir du deuxième plan nodal du second.

Il faut remarquer aussi que la quantité $f_2 - D + f_1$, placée en dénominateur, représente avec son signe (1) la distance Δ qui sépare le deuxième foyer du deuxième système (celui qui n'est pas le point de concours des rayons principaux) du premier foyer du premier système (celui qui est le point de concours de ces rayons).

Dans un téléobjectif il faut poser $f_2 = - f_2$ et $\Delta = - \Delta$ pour que f_2 et Δ représentent les valeurs absolues des quantités considérées.

Alors on a :

$$(1) \qquad F = \frac{- f_1 f_2}{f_1 - f_2 - D} = \frac{f_1 f_2}{\Delta},$$

$$(2) \qquad N_1 = \frac{+ D f_1}{f_1 - f_2 - D} = \frac{- f_1 D}{\Delta},$$

$$(3) \qquad N_2 = \frac{+ D f_2}{f_1 - f_2 - D} = \frac{- f_2 D}{\Delta},$$

de (3) et de (1) on déduit la distance du foyer prin-

(1) Nous convenons que les quantités positives représentent des longueurs comptées dans le sens où se propage la lumière.

cipal du téléobjectif à la lentille arrière, distance qui est en valeur absolue :

$$(4) \quad f - \frac{f_2 D}{\Delta} = \frac{f_1 f_2}{\Delta} - \frac{f_2 D}{\Delta} = \frac{f_2}{\Delta}(f_1 - D),$$

des relations (1), (2) et (4) on déduit, comme précédemment, les relations fondamentales entre les valeurs absolues des quantités considérées :

$$(1) \qquad \alpha = nf + \gamma f + f_1,$$

$$(2) \qquad \beta = \frac{f}{n} + \frac{f}{\gamma} - f_2.$$

Pour montrer l'emploi de ces formules, auxquelles il faut joindre les relations :

$$(3) \qquad f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

et

$$(4) \qquad \gamma = \frac{f_1}{f_2},$$

nous considérerons le téléobjectif à lentilles simples dont il est parlé à la page 59. L_1 est une lentille plan convexe en *crown* de $10^{cm},5$ de diamètre et de foyer $f_1 = 32^{cm}$, L_2 est une lentille plan concave en *crown* de foyer $f_2 = 10^{cm},5$, donc le rapport $\gamma = \frac{f_1}{f_2} = 3\ldots$

Le sujet étant à 3 mètres (300 centimètres) de l'appareil, quel tirage faudra-t-il à la chambre et quel *intervalle optique* Δ, pour obtenir une image en demi-grandeur nature, c'est-à-dire à l'échelle $G = \frac{1}{n} = \frac{1}{2}$, d'où $n = 2$.

Les données sont :

$$n = 2 \qquad f_1 = 32^{\text{cm}},$$
$$\gamma = 3 \qquad f_2 = 10^{\text{cm}},5,$$

l'équation (1) donne alors la longueur focale :

$$f(2 + 3) = 300 - 32 = 268,$$

d'où
$$f = \frac{268}{5} = 53^{\text{cm}},6,$$

l'équation (2) donne le tirage β avec :

$$\beta = 53,6\left\{\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right\} - 10,5,$$

$$\beta = \frac{268}{6} - 10,5 = 44,7 - 10,5 = 34^{\text{cm}},2,$$

l'équation (3) donne enfin :

$$\Delta = \frac{f_1 f_2}{f} = \frac{32 \times 10,5}{53,6} = \frac{336^{\text{c}}}{53^{\text{c}}} = 6^{\text{c}},3.$$

Si l'on veut que l'image soit *grandeur nature*, à la même distance de 3 mètres, les données seront les mêmes que précédemment, sauf que la valeur de $n = 1$ au lieu de 2.

Alors l'équation (1) donne :

$$f(1 + 3) = 300 - 32 = 268^{\text{cm}},$$
$$f = 67^{\text{cm}};$$

l'équation (2) donne le tirage β avec :

$$\beta = 67\left\{1 + \frac{1}{3}\right\} - 10,5 = \frac{268}{3} - 10,5$$
$$= 89,3 - 10,5 = 78,8;$$

l'équation (3) donne :

$$\Delta = \frac{336}{67} = 5^{\text{cm}}.$$

26. Quelques formules commodes. — Des formules :

(1) $$\alpha = (n + \gamma)f + f_1,$$

(2) $$\beta = \left(\frac{f}{n} + \frac{f}{\gamma}\right)f - f_2,$$

(3) $$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta},$$

(4) $$\gamma = \frac{f_1}{f_2},$$

on peut en tirer quelques autres d'un usage commode.

Étant donnés un téléobjectif et une photographie à faire, on connaît la distance α ainsi que les foyers $f_1 f_2$, et on se donne l'échelle $G = \frac{1}{n}$. On connaît aussi $\gamma = \frac{f_1}{f_2}$, et de (1) on tire :

(5) $$f = \frac{\alpha - f_1}{n + \gamma},$$

puis de (2) et de (5) :

(6) $$\beta = \frac{\alpha - f_1}{n\gamma} - f_2,$$

et de (3) et de (5) :

(7) $$\Delta = \frac{f_1 f_2}{\alpha - f_1}(n + \gamma),$$

et en se rappelant que :

(8) $$f_1 + \Delta = D + f_2,$$

on tire de (7) et de (8) :

(9) $$D = f_1 - f_2 - \frac{f_1 f_2}{\alpha - f_1}(n + \gamma).$$

Dans la pratique du portrait au téléobjectif, ceci permet, la distance minimum du sujet étant donnée, de déterminer quelle échelle $\frac{1}{n}$ est possible pour l'écart maximum D que la monture permet de mettre entre les deux combinaisons (équation n° 9) et pour le plus grand tirage β que la chambre comporte (équation n° 6).

Inversement on peut, à l'aide de ces formules, connaître le tirage qu'il faut donner à la chambre et l'écart qu'il faut mettre entre les lentilles pour obtenir un portrait à une échelle déterminée.

27. Champ du téléobjectif. — Le *champ* utilisable d'un téléobjectif est différent selon qu'on diaphragme l'instrument de façon à n'y admettre que des pinceaux de lumière à section très étroite — c'est le cas général dans la photographie du paysage — ou selon qu'on emploie une frontale de grande ouverture et qu'on veuille limiter le champ à ceux des faisceaux qui coupent la négative de façon à parvenir tout entiers aux divers points de l'image — c'est le cas du téléobjectif à portrait. Nous examinerons ces deux cas successivement.

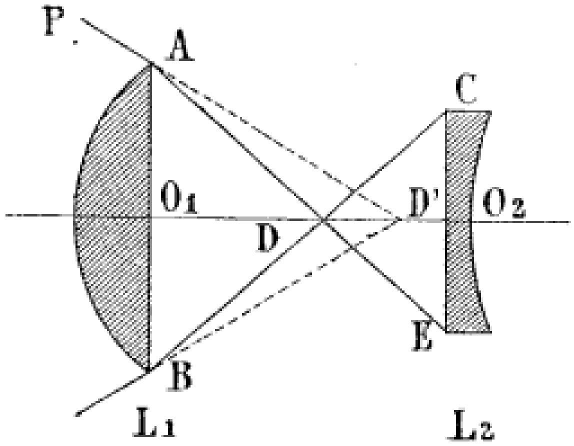


Fig. 35.

28. Champ du téléobjectif à paysage. (*fig.* 35). — Dans le trajet d'une lentille à l'autre, le pinceau infiniment mince qui fait avec l'axe O_1O_2 le plus grand angle est évidemment celui qui va du bord A de L_1

au bord E de L_2 en rencontrant l'axe en D, à la distance $O_1D = e$ du sommet et c'est là qu'il faut placer le diaphragme. Quant au rayon PA qui fournit ce rayon AD après réfraction à travers L_1, il va rencontrer l'axe en D' image du point D par rapport à L_1. Si nous appelons $p' = -e$ la distance O_1D de la lentille au point D considéré comme l'origine des rayons lumineux et f_1 le foyer de la lentille L_1, la distance $p = OD'$ est donnée en grandeur et en signe par l'équation :

$$\frac{-1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f_1}$$

qui devient :

$$(1) \qquad \frac{1}{p} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{e} = -\left(\frac{1}{e} - \frac{1}{f_1}\right),$$

le terme entre parenthèses, qui est positif, représente la valeur absolue de l'inverse de la longueur O_1D'.

Si nous appelons α l'angle de champ AD'B, d_1 et d_2 les diamètres des lentilles L_1 et L_2 et D leur écartement $O_1 O_2$,

on a : $$tg\frac{\alpha}{2} = tg\,AD'O_1 = \frac{AO_1}{O_1D'} = \frac{d_1}{2p}$$

et en tirant de (1) la valeur de $\frac{1}{p}$

$$(2) \qquad tg\frac{\alpha}{2} = \frac{d_1}{2}\left(\frac{1}{e} - \frac{1}{f_1}\right).$$

D'autre part, dans les triangles semblables ADB, EDC,

on a : $$\frac{e}{D - e} = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{d'où} \quad \frac{e}{D} = \frac{d_1}{d_1 + d_2}$$

et
$$\frac{1}{e} = \frac{d_1 + d_2}{d_1 D};$$

d'ailleurs $\frac{1}{f_1}$ peut s'écrire $\frac{1}{D} \times \frac{D}{f_1}$;

de sorte qu'on peut écrire l'équation (2) de la manière qui suit :

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{d_1}{2D}\left(\frac{d_1 + d_2}{d_1} - \frac{D}{f_1}\right)$$

et le champ, qu'on peut représenter par $2tg\frac{\alpha}{2}$ est égal à :

$$2tg\frac{\alpha}{2} = \frac{d_1 + d_2}{D} - \frac{d_1}{f_1},$$

on voit que pour avoir un champ étendu il faut diminuer l'écartement D, avoir une petite ouverture relative $\frac{d_1}{f_1}$ et néanmoins de grands diamètres d_1 et d_2, ce qui suppose de grandes frontales.

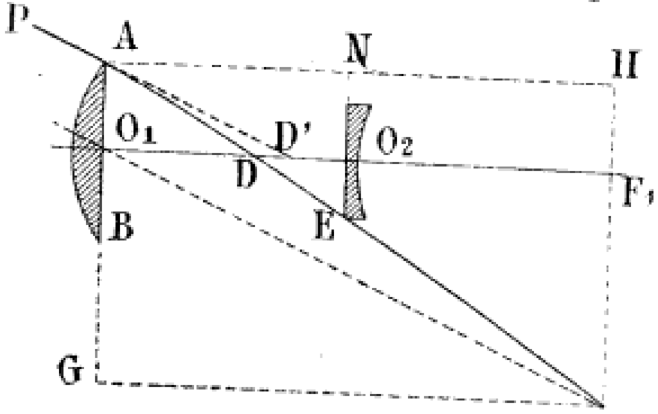


Fig. 36.

On voit aussi que, pourvu que ces conditions soient réalisées, l'échelle $\frac{1}{n}$, le foyer f_2 et le tirage β peuvent être quelconques.

Géométriquement, on peut remarquer que pour construire le rayon PAD′ qui après réfraction passe au point D il suffit de prolonger le rayon AE jusqu'au point M où il coupe le plan focal F_1 et de joindre O_1M. Le rayon PAD′ est parallèle à cette ligne, et le demi angle de champ $\widehat{AD'O_1}$ est égal à l'angle $\widehat{O_1MG}$.

On voit immédiatement que si d_1, d_2 et la distance $D = O_1O_2$ sont donnés, l'angle O_1MG augmente quand on coupe le rayon AE par des plans F_1 de plus en plus éloignés; c'est-à-dire quand f_1 augmente et quand $\frac{d_1}{f_1}$ diminue.

Inversement, si pour une valeur donnée de f_1 on augmente l'angle ADO_1 du rayon AE avec l'axe, le champ augmente, car cet angle est égal à l'angle NAD dont la tangente a pour mesure :

$$\frac{EN}{AN} = \frac{d_1 + d_2}{2D}.$$

On peut voir aussi que la tangente du demi-angle de champ :

$$tg\,O_1MG = \frac{O_1G}{GM} = \frac{HM - HF_1}{AH}.$$

Or
$$\frac{HM}{AH} = \frac{EN}{AN} = \frac{\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}}{D}$$

et
$$\frac{HF_1}{AH} = \frac{AO_1}{O_1F_1} = \frac{\frac{d_1}{2}}{f_1},$$

donc le double de la tangente du $\frac{1}{2}$ angle de champ, c'est-à-dire le *champ* est égal à

$$\frac{d_1 + d_2}{D} - \frac{d_1}{f_1}.$$

29. Champ du téléobjectif à portrait. — Dans le téléobjectif à portrait comme dans les autres, la longueur focale de la frontale est petite par rapport à la distance du sujet et l'image primaire se fait sensiblement au foyer F_1, à la distance $O_1F_1 = f_1$ *(fig. 37)*. Si nous joignons un point P_1 de l'image primaire aux bords A de la lentille L_1 nous délimitons le cône de lumière que la lentille L_1 envoie au point P_1, et ce cône est coupé par le plan du tableau suivant les deux droites AP_1, BP_1. Pour que la totalité de ce faisceau parvienne au point P, il faut que le point C où il coupe le plan de la lentille L_2 soit contenu dans cette lentille et le point P_1 de l'image le plus écarté de l'axe, qui satisfasse à cette condition est celui qui se trouve en ligne droite avec les bords A et C des deux lentilles.

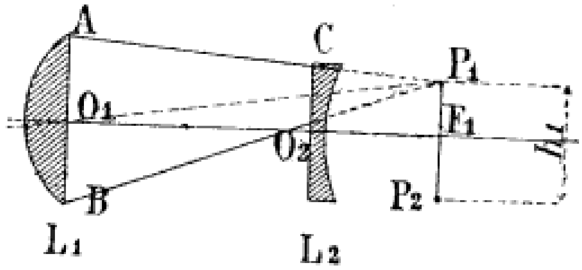


Fig. 37.

En appelant h_1 le double de la distance P_1F_1 du point P_1 à l'axe et en conservant aux notations d_1, d_2, D et f_1 leurs significations précédentes, on a dans ce cas, comme exprimant la condition que les trois points A, C et P_1 sont en ligne droite la relation :

$$\frac{AO_1 - CO_2}{O_1O_2} = \frac{CO_2 - P_1F_1}{O_2F_1}$$

ou
$$\frac{d_1 - d_2}{2D} = \frac{d_2 - h_1}{2(f_1 - D)},$$

d'où $d_1f_1 - d_2f_1 - d_1D + d_2D = d_2D - Dh_1$

et
$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{d_1}{f_1} - \frac{d_1 - d_2}{D}$$

or
$$\frac{h_1}{f_1} = \frac{P_1P_2}{O_1F_1};$$

c'est précisément le diamètre apparent de l'image primaire, vue de la frontale, c'est-à-dire le *champ*. Le champ est donc égal à :

$$\frac{d_1}{f_1} - \frac{d_1 - d_2}{D}.$$

Les conditions sont pour ainsi dire inverses de celles du cas précédent.

Ici, pour avoir un champ étendu il faut une grande ouverture relative de la frontale, la différence des diamètres petite (c'est-à-dire γ petit) et D, l'écartement, grand.

Géométriquement, on peut voir que le champ est égal à $\frac{2P_1F_1}{O_1F_1}$ et que pour des valeurs données de d_1, d_2 et D le champ augmente quand on coupe la droite AC par des plans F_1 de plus en plus rapprochés. Dans ce cas f_1 diminue c'est-à-dire que l'ouverture relative $\frac{d_1}{f_1}$ augmente.

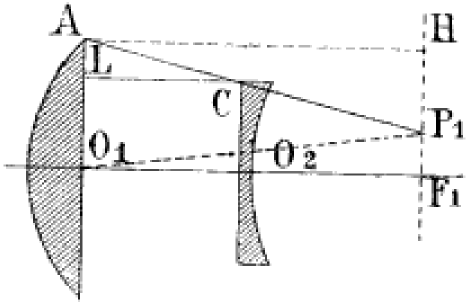


Fig. 38.

Inversement pour une valeur donnée de f_1 et de d_1, le champ sera d'autant plus grand que l'angle de la ligne AC avec l'axe sera *moindre*. Or la tangente de cet angle ACL est $\frac{AL}{LC} = \frac{d_1 - d_2}{2D}$. Donc il faudra que d_1 soit peu différent de d_2 et que la distance des lentilles soit grande.

On peut voir aussi que :

$$PF_1 = HF_1 - HP_1$$

avec
$$O_1F_1 = f_1.$$

Or
$$HF_1 = O_1A = \frac{d_1}{2}$$

et
$$HP_1 = AH\,tg\,\widehat{HAP_1} = f_1\,tg\,\widehat{ACL} = f_1\,\frac{d_1 - d_2}{2D}$$

donc le champ qui est égal à $\frac{2P_1F_1}{O_1F_1}$ est égal aussi à $\frac{d_1}{f_1} - \frac{d_1 - d_2}{D}$.

30. Luminosité du téléobjectif. — Soit E l'éclat intrinsèque d'un sujet, c'est-à-dire la quantité de lumière envoyée par l'unité de surface du sujet sur une surface égale à l'unité, placée à l'unité de distance, la surface éclairée et la surface éclairante étant l'une et l'autre normales au rayon.

Soit α la distance du sujet à la lentille frontale L d'un instrument d'optique quelconque. Soit d_1 le diamètre du diaphragme utile de cette frontale et G le grossissement total de l'instrument. Par définition $G = \frac{I}{O}$, I et O étant les dimensions conjuguées de l'image et de l'objet.

La quantité de lumière qui traversera le diaphragme de la frontale, dont la surface est $\frac{\varpi d_1^2}{4}$, à la distance α, sera

$$\frac{E}{\alpha^2} \times \frac{\varpi d_1^2}{4}$$

et cette quantité de lumière s'étalera sur l'image de l'unité de surface, c'est-à-dire sur une surface G^2. L'illumination L, par unité de surface de cette image, sera donc :

$$L = \frac{E}{\alpha^2} \times \frac{\varpi d_1^2}{4} \times \frac{1}{G^2} = \frac{\varpi E}{4}\left(\frac{d_1}{\alpha G}\right)^2.$$

Cette formule est vraie pour un instrument d'optique quelconque et en particulier pour un téléobjectif. Elle est également vraie pour un objectif ordinaire. Dans ce cas, p étant le tirage et d le diaphragme, on a :

$$G = \frac{p}{\alpha} \text{ d'où}$$

$$\alpha G = p,$$

de sorte que $$L = \frac{\varpi E}{4}\left(\frac{d}{p}\right)^2$$

et comme $$p = f(1 + G)$$

$$L = \frac{\varpi E}{4(1 + G)^2} \times \left(\frac{d}{f}\right)^2$$

si la distance de l'objectif au sujet est grande, le grossissement G est petit et le premier facteur $\frac{\varpi E}{4(1 + G)^2}$ est sensiblement constant de sorte qu'on a coutume de dire que l'illumination L ne dépend que de l'ouverture relative de l'objectif $\left(\frac{d}{f}\right)$ et varie proportionnellement au carré de ce rapport (1) :

$$L = \frac{\varpi E}{4}\left(\frac{d}{f}\right)^2.$$

Tel est, dans le cas d'objets éloignés, *l'illumination normale* fournie par un objectif de foyer f dont le diaphragme utile a un diamètre d.

On voit donc aussi que, dans le cas du téléobjectif, l'illumination $\frac{\varpi E}{4}\left(\frac{d_1}{\alpha G}\right)^2$ est la même que l'illumination normale (c'est-à-dire à distance éloignée) d'un objectif ordinaire de diaphragme d_1 et de foyer $\varphi = \alpha G$.

Dans le télé à paysage tel qu'on l'applique couramment à des objets éloignés, on ne connaît généralement ni la distance α ni les dimensions de l'objet, de sorte qu'on ne connaît pas non plus G. Mais dans ce cas, la formule générale :

$$\alpha - f_1 = (n + \gamma)f$$

en la multipliant par $G = \frac{1}{n}$ devient :

$$\alpha G - \frac{f_1}{n} = f\left(1 + \frac{\gamma}{n}\right)$$

(1) On voit que ce n'est plus vrai quand G a une valeur appréciable : dans ce cas il faut multiplier l'illumination normale $\frac{\varpi E}{4}\left(\frac{d}{f}\right)^2$ par le *coefficient de distance* $\frac{1}{(1+G)^2}$.

et si n est grand par rapport à f_1 et à γ ceci, se réduit sensiblement à :

$$\alpha G = f,$$

de sorte qu'on évalue *l'ouverture relative équivalente* $\frac{d_1}{\alpha G}$ du téléobjectif sans difficulté :

$$\frac{d_1}{\alpha G} = \frac{d_1}{f}$$

avec
$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

et
$$\Delta = D - (f_1 - f_2).$$

Dans le téléobjectif à portrait, on connaît la distance α et le grossissement G est facile à mesurer : on calcule donc aisément l'ouverture relative équivalente.

D'une façon générale on peut remarquer que, dans le téléobjectif, le produit αG a toujours une valeur élevée. S'il s'agit d'un télé à paysage c'est à peu près la longueur du foyer résultant, et elle est grande, car c'est la raison d'être du téléobjectif. Dans le téléobjectif à portrait elle est grande aussi car les valeurs usuelles de G varient de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ et α ne doit guère descendre au-dessous de 3^m. Dans ce cas le *foyer équivalent* αG varie donc de 1^m à $1^m.50$.

La formule de la luminosité $L = \frac{\varpi E}{4}\left(\frac{d_1}{\alpha G}\right)^2$ montre combien il est nécessaire d'avoir des frontales largement ouvertes si l'on veut éviter des poses trop prolongées. Supposons qu'à 3^m de distance nous veuillions avoir une tête à échelle demi-nature $\left(G = \frac{1}{2}\right)$ avec une frontale constituée par un objectif *3 pouces* à F : 4.5, dont le diaphragme d_1 a un diamètre d'ouverture utile de 66^{mm}. Ici $d_1 = 66^{mm}$, $\alpha = 3^m = 3000^{mm}$, $G = \frac{1}{2}$ d'où $\frac{d_1}{\alpha G} = \frac{66}{1500} = \frac{1}{23}$ environ. La durée de pose devrait être la même que pour un objectif diaphragmé à $\frac{1}{23}$ et mis au point sur des objets éloignés. Avec un objectif 4 pouces, le diaphragme et le coefficient d'ouverture relative seraient multipliés par $\frac{4}{3}$; l'ouverture deviendrait $\frac{1}{17,3}$ et avec un objectif 5 pouces elle serait de $\frac{1}{23} \times \frac{5}{3} = \frac{1}{14}$. Si avec cela on emploie de nouvelles plaques qui demandent 2,5 fois moins de pose que les autres plaques de grande rapidité, c'est comme si les ouvertures relatives étaient multipliées par $\sqrt{2,5}$, c'est-à-dire comme si le dernier téléobjectif était à l'ouverture de $\frac{1}{8,9}$ au lieu de $\frac{1}{14}$. A cette ouverture et en bonne lumière la durée de la pose n'a rien d'excessif.

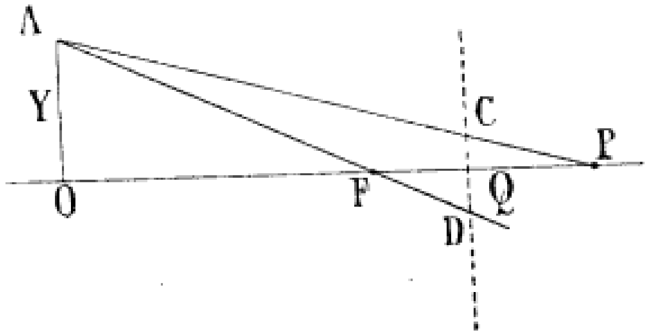


Fig. 39.

31. Profondeur de foyer et netteté de l'objectif ordinaire. — Soit (*fig. 39*) un objectif ordinaire à paysage avec un diaphragme de rayon $AO = y$ et un foyer $OF = f$; soit P le point conjugué du premier plan qui est figuré en P′ sur la figure 40. Nous plaçons une glace dépolie en Q *(fig. 39)* qui est le point conjugué d'un certain point Q′ du paysage *(fig. 40)*. Dans cette figure l'appareil photographique est réduit à un point O porté par un pied à trois branches de hauteur O′O = H. La

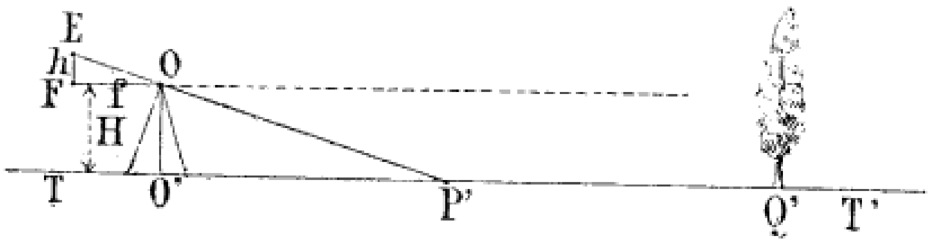


Fig. 40.

longueur focale de l'objectif est figurée en OF = f et la demi-hauteur de la plaque en FE = h. Dans ces conditions le premier plan P′ dont P *(fig. 39)* est le conjugué est déterminé par le point où le rayon OE coupe le terrain TT′ en avant de l'appareil et les triangles semblables EFO, OO′P′ donnent :

$$\frac{O'P'}{O'O} = \frac{FO}{FE}$$

ou

$$\frac{O'P'}{H} = \frac{f}{h}(1 + G)$$

d'où

$$O'P' = \frac{H}{h} f (1 + G).$$

La glace dépolie étant placée en Q, point conjugué de Q′, la mise au point se trouve faite sur l'arbre Q′ et l'image de celui-ci a la netteté maximum dont l'objectif est capable. Quant aux lointains dont le foyer est en F *(fig. 39)* et aux premiers plans dont le foyer est en P, ils donnent sur la glace des cercles de diffusion dont les rayons sont respectivement QD et QC.

Ce que l'artiste demande, c'est que les rayons, ou plutôt les diamètres égaux au double de ces rayons, ne dépassent pas une certaine limite supérieure qu'on appelle le diamètre du *cercle de diffusion tolérée*; et pour que la profondeur de champ soit le plus étendue qu'il soit possible, on exige que les diamètres 2QD et 2QC soient égaux entre eux et égaux au diamètre de ce cercle, c'est-à-dire qu'on ait :

$$QD = QC.$$

Appelons G *l'échelle* de l'image qui se fait en Q, G′ l'échelle de l'image qui se fait en P, ε le rayon du cercle de diffusion tolérée (QC = QD) et y le rayon du diaphragme, on sait qu'on a :

$$QF = fG$$

et

$$PF = fG'.$$

D'autre part les triangles semblables donnent :

$$\frac{QP}{QC} = \frac{OP}{OA} \tag{1}$$

ou

$$\frac{fG' - fG}{\varepsilon} = \frac{f + fG'}{y} \tag{1'}$$

et

$$\frac{QD}{QF} = \frac{OA}{OF} \tag{2}$$

ou

$$\frac{\varepsilon}{fG} = \frac{y}{f}; \tag{2'}$$

en multipliant (1′) par (2′) il vient :

$$\frac{G' - G}{G} = 1 + G$$

d'où

$$G' = \frac{2G}{1 - G}.$$

Relation qui en effectuant la division et négligeant G^2 et les puissances supérieures de G se réduit à :

$$G' = 2G,$$

mais on sait qu'on a *(fig. 40)* :

$$O'P' = f\left(1 + \frac{1}{G'}\right)$$

et

$$O'Q' = f\left(1 + \frac{1}{G}\right),$$

on a donc :

$$\frac{O'Q'}{O'P'} = \frac{G'}{G}\,\frac{G+1}{G'+1}.$$

Dans le paysage G et G' sont toujours des quantités assez petites pour être négligeables par rapport à l'unité et alors le rapport $\frac{O'Q'}{O'P'}$ se réduit à :

$$\frac{O'Q'}{O'P'} = \frac{G'}{G} = 2.$$

Donc : *pour avoir des lointains et un premier plan* P' *de la même netteté, c'est-à-dire fournissant des cercles de diffusion égaux, il faut mettre au point sur un plan* Q' *deux fois plus éloigné de l'appareil que ne l'est le premier plan.*

Or nous avons vu (page 186) que la distance du premier plan à l'appareil est égale à $\frac{H}{h} f(1 + G)$. Le plan sur lequel se fait la mise au point sera donc à une distance :

$$2\frac{H}{h} \times f(1 + G)$$

et comme on sait que cette distance est aussi égale à :

$$f\left(1 + \frac{1}{G}\right),$$

G étant l'échelle de l'image du plan de mise au point, on a :

$$G = \frac{h}{2H}.$$

On voit donc que : *pour des longueurs focales variables, pour une grandeur de plaque déterminée* h *et pour une hauteur d'appareil* H, *la distance du plan de mise au point à l'appareil varie proportionnellement au foyer f.*

La relation que nous venons de trouver entre l'échelle du plan d'intérêt G, la distance de ce plan et les constantes de l'appareil employé :

$$G = \frac{h}{2H}$$

est l'expression d'une seule condition : que les lointains et le premier plan présentent une netteté égale. Elle n'implique rien en ce qui concerne la valeur absolue de cette netteté et celle du diamètre du cercle de diffusion tolérée, qui en est l'expression. Mais il faut observer d'autre part que si le diamètre du cercle de diffusion tolérée dépend évidemment de l'esthétique de ceux que la photographie considérée doit satisfaire, elle dépend encore d'autre chose : c'est la distance D à laquelle on regarde la photographie.

Car, ce que les spectateurs réclament, ce n'est pas une certaine *netteté linéaire* 2ε, mais un certain *diamètre apparent* de cette netteté vue à la distance D, c'est-à-dire $\frac{2\varepsilon}{D}$. C'est ce diamètre apparent variable selon leurs goûts et leur vue, dont les spectateurs réclament la constance de sorte qu'on peut écrire :

$$\frac{2\varepsilon}{D} = K.$$

D'autre part on ne regarde pas une grande photographie à la même distance qu'une petite. S'il ne s'agissait que d'apprécier les ensembles, on tendrait à regarder d'aussi loin que possible : mais le désir d'examiner les détails nous oblige à nous rapprocher d'autant plus que les détails sont plus fins.

En pratique on peut dire que *la distance à laquelle il est agréable d'examiner une photographie est proportionnelle à l'échelle de l'image du plan d'intérêt (celui sur lequel la mise au point a été faite).*

Ce plan est le seul qu'il soit important de considérer, car en arrière l'échelle décroît rapidement et les détails n'importent plus, ces arrière-plans n'intéressant plus que par leurs masses. En avant l'échelle croît et si la distance D adoptée convient à l'examen du plan d'intérêt elle convient *a fortiori* pour ce qui le précède.

Puisque la distance D est proportionnelle à l'échelle du plan d'intérêt, si G est cette échelle, on peut écrire :

$$D = K'G$$

et comme $\frac{2\varepsilon}{D} = K,$

on a finalement $\varepsilon = K\frac{D}{2} = \frac{KK'}{2}G.$

On voit donc comme conséquence de ce qui précède, qu'il doit exister un rapport constant entre la *netteté linéaire* ε et *l'échelle* G : mais alors si nous reprenons l'équation (2') de la page 187 :

$$\frac{\varepsilon}{fG} = \frac{y}{f},$$

nous pouvons l'écrire :

$$y = \frac{\varepsilon}{G};$$

y c'est le demi-diamètre du diaphragme, ε c'est le rayon du *cercle de diffusion tolérée* pour les lointains ou les premiers plans, et G c'est l'échelle de l'image du plan d'intérêt ; et puisque :

$$\varepsilon = \frac{KK'}{2}G, \qquad \frac{\varepsilon}{G} = \frac{KK'}{2} = \text{constante},$$

donc $$y = \frac{KK'}{2} = \text{constante}.$$

Par conséquent :

Si on regarde une photographie à une distance proportionnelle à l'échelle du plan d'intérêt, pour obtenir une certaine netteté angulaire des lointains en même temps que la netteté maxima du plan d'intérêt, il faut un certain diaphragme, toujours du même diamètre, quel que soit le format, le foyer et la distance du plan d'intérêt. Le diamètre de ce diaphragme est égal au produit constant du diamètre du cercle de diffusion tolérée par l'inverse de l'échelle. En pratique ce diamètre est de 2 centimètres.

Quelle est, en pratique, la valeur du rapport constant $\frac{\varepsilon}{G}$? L'expérience montre que la valeur $y = 10^{mm}$ (soit un diaphragme $d = 2y = 2^{cm}$) donne aux lointains un flou convenable et sans excès pour $G = \frac{1}{100}$.

Ces valeurs introduites dans la relation :

$$y = \frac{\varepsilon}{G}$$

donnent $\varepsilon = 0^{mm},1$, soit la netteté linéaire de :

$$2\varepsilon = \frac{1}{5000}$$

32. Netteté du téléobjectif. — Soient L_1 et L_2 les plans centraux des lentilles d'un téléobjectif composé de deux lentilles minces.

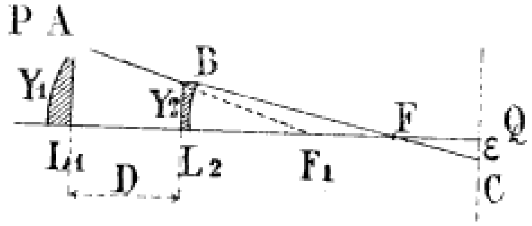


Fig. 41.

Suivons le trajet d'un rayon principal PABF venant de l'infini, passant par le bord A du diaphragme AL_1 et aboutissant au point F, foyer principal qui correspond à l'écartement $L_1L_2 = D$. Ce rayon est réfracté par la lentille L_1, suivant la direction AB qui passe au foyer F_1 de la lentille L_1, puis il est écarté de l'axe par la négative L_2 et, après avoir coupé cet axe au point F, foyer du téléobjectif, il va couper en C le plan conjugué Q du plan d'intérêt pour lequel l'échelle est $G = \frac{1}{n}$. Soient y_1 le rayon AL_1 du diaphragme de la frontale et f_1, sa distance focale, soit D l'écart L_1L_2 des deux lentilles. Soient f la distance focale principale du téléobjectif et y_2 la hauteur BL_2, soit ε le rayon CQ du *cercle de diffusion* que le faisceau de sommet F produit en coupant le plan Q.

Les triangles semblables de la figure 41 donnent les relations :

$$(1) \qquad \frac{\varepsilon}{FQ} = \frac{y_2}{FL_2},$$

$$(2) \qquad \frac{y_2}{y_1} = \frac{F_1L_2}{F_1L_1} = \frac{f_1 - D}{f_1}.$$

Or, la distance FQ du foyer principal F au plan conjugué Q est dans le téléobjectif, comme dans tout autre objectif, égale à $f \times G = \frac{f}{n}$ et FL_2 est la valeur du tirage β pour $n = \infty$. C'est-à-dire que :

$$FL_2 = \beta = \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{\gamma}\right)f - f_2,$$

avec $$\gamma = \frac{f_1}{f_2} \qquad \text{et} \qquad n = \infty.$$

Donc $$FL_2 = \frac{f}{\gamma} - f_2 = \frac{f - f_1}{\gamma}.$$

Donc les deux relations (1) et (2) peuvent s'écrire :

$$(1') \qquad \varepsilon = y_2 \cdot \frac{f}{n} \cdot \frac{\gamma}{f - f_1},$$

$$(2') \qquad y_2 = y_1 \cdot \frac{f_1 - D}{f_1}.$$

Or, dans un téléobjectif on a déjà vu que, Δ étant l'*intervalle optique :*

$$f_1 - D = f_2 - \Delta,$$

avec $$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta},$$

d'où $$\frac{\Delta}{f_2} = \frac{f_1}{f},$$

portant cette valeur de $f_1 - D$ dans (2′) et faisant $f_1 = \gamma f_2$ il vient :

$$y_2 = y_1 \frac{f_2 - \Delta}{\gamma f_2} = \frac{y_1}{\gamma}\left(1 - \frac{\Delta}{f_2}\right),$$

$$y_2 = \frac{y_1}{\gamma}\left(1 - \frac{f_1}{f}\right) = \frac{y_1}{\gamma}\left(\frac{f - f_1}{f}\right).$$

d'où $$y_2 \cdot \frac{f\gamma}{f - f_1} = y_1,$$

alors de (1′) on tire :

$$\varepsilon = \frac{y_1}{n} = Gy_1,$$

d'où

$$\frac{\varepsilon}{G} = y_1.$$

Donc la condition de la *netteté des lointains* a la même forme pour le téléobjectif que pour un objectif ordinaire, et ici c'est *le diamètre du diaphragme utile de la frontale qui doit être égal au produit du diamètre du cercle de diffusion tolérée par l'inverse de l'échelle correspondante.*

D'autre part, le raisonnement qui a démontré que $\frac{\varepsilon}{G}$ est constant et égal à $\frac{KK'}{2}$ ne préjugeait rien quant à l'appareil employé pour produire une photographie d'échelle G, et il conserve toute sa force pour le téléobjectif. Donc *le diamètre du diaphragme de la frontale doit être constant et égal à 2 centimètres.*

33. Distorsion du téléobjectif. — On connaît le phénomène de la distorsion dans une lentille simple : sa cause principale réside dans l'aberration sphérique des faisceaux obliques.

Considérons une lentille simple avec un diaphragme étroit placé en avant et considérons un pinceau mince peu incliné sur l'axe tel que BAF_1. S'il n'y avait pas d'aberration sphérique ce pinceau irait faire son image au point F où le rayon central OF, parallèle au faisceau, va percer le plan focal de la lentille. A cause de l'aberration, le pinceau qui rencontre la lentille à la distance AO du centre fait son image au point F_1 où il touche la caustique qui a son sommet en F et si le pinceau est très mince il va percer le plan F au point F_2 qui constitue encore une image acceptable du point dont

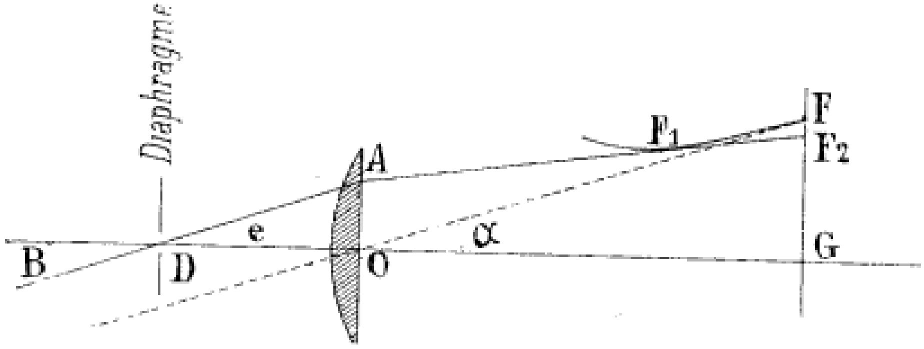


Fig. 42.

l'image devrait être en F, d'après une perspective géométrique rigoureuse ayant son point de vue en O.

La distance FF_2 dont l'image est écartée de l'axe secondaire OF, se nommerait pour un faisceau parallèle à l'axe, l'*aberration principale latérale* et aurait pour valeur dans une lentille mince (équicourbe ou plan-courbe) :

$$b = \frac{Hy^3}{F^2}.$$

H étant un coefficient qui ne dépend que de l'indice; F étant la distance focale principale et y étant la distance AO, entre l'axe et le point A où le pinceau considéré rencontre la lentille. D'autre part si e est la distance OD du diaphragme à la lentille on a évidemment, AD et OF étant parallèles :

$$\frac{AO}{OD} = \frac{GF}{GO} = tg\alpha.$$

α étant ce qu'on appelle le *demi-angle de champ*, pour la plaque dont la demi-diagonale est FG,

d'où $$AO = OD tg\alpha,$$
c'est-à-dire $$\gamma = e tg\alpha$$

et si l'on admet que pour des faisceaux peu inclinés sur l'axe l'expression de la distorsion est peu différente de celle qu'elle affecte pour les rayons principaux, on a, au moins approximativement et pour donner une idée du phénomène :

$$b = \frac{H\gamma^3}{F^2} = \frac{He^3tg^3\alpha}{F^2}.$$

La distortion croît donc avec le *cube* de la distance du diaphragme à la lentille et avec le *cube* de la tangente de l'angle de champ.

Si le point F est la perspective géométrique d'un point d'un cercle ayant son centre sur l'axe, l'image telle que la fournit la distorsion *(fig. 42)* est en F_2, rapprochée de O de la quantité FF_2 qu'on peut appeler *distorsion radiale*. Supposons que le point F soit un sommet d'un carré inscrit dans le cercle considéré et traçons le cercle inscrit dans ce carré. Ce cercle inscrit sera vu de la lentille sous un angle β plus petit que le cercle passant par F ; sa distorsion sera donc très faible et elle pourra même être insensible de sorte que l'image du carré dont la perspective devrait être FABC sera la figure $F_2A_2\beta_2C_2$. C'est la distorsion dite *en barillet*.

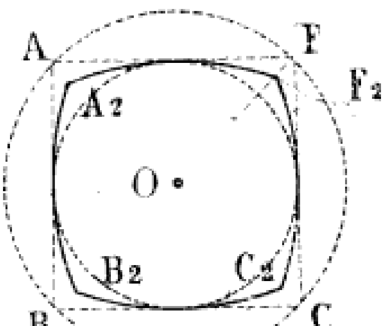


Fig. 43.

Avec un diaphragme placé derrière la lentille le point F_2 est plus loin de l'axe principal que le point F. C'est la distorsion en croissant (*fig. 44* et *fig. 45*).

Si le faisceau lumineux traverse successivement plusieurs lentilles convergentes et divergentes comme il arrive dans les téléobjectifs, sa distorsion finale est d'autant plus grande qu'il reste une plus grande distance entre ses deux foyers astigmatiques F_1 et F *(fig. 44)*, c'est-à-dire d'autant plus grande que le faisceau est affecté d'un plus grand astigmatisme. Mais en tous cas et pour ce qui est des téléobjectifs à lentilles simples, en nous reportant à la relation de la page 196 :

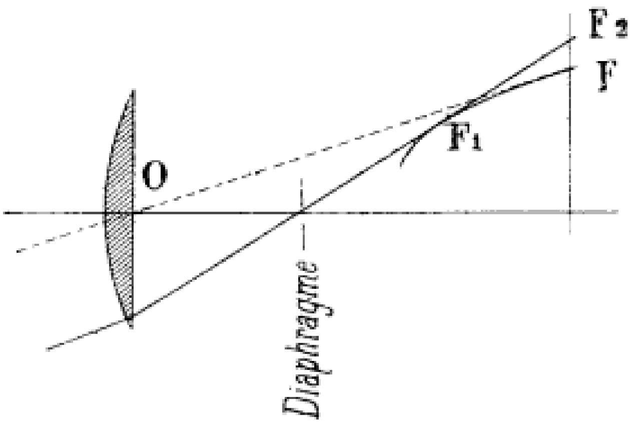


Fig 44.

$$b = \frac{He^3tg^3\alpha}{F^2},$$

nous voyons tout l'intérêt qu'il y a, au point de vue de la distorsion, à diminuer e, c'est-à-dire à rapprocher le diaphragme (donc à restreindre l'écart des lentilles), et à diminuer l'angle de champ α sous lequel chaque lentille voit l'image qu'elle produit. En un mot, pour obtenir une image de grandeur donnée d'un objet de grandeur donnée, on a intérêt au point de vue de la distorsion à placer l'objet le plus loin possible

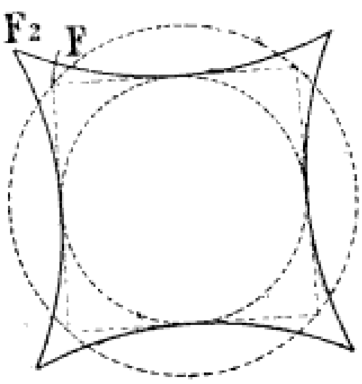


Fig. 45.

de la frontale (grande distance) et l'image le plus loin possible de l'amplificatrice (grand tirage).

34. Composition du téléobjectif. — Étant donné un sujet à photographier, placé à une certaine distance α d'un objectif ordinaire simple ou double, pour qu'il en fournisse une image d'échelle donnée $G = \frac{1}{n}$ cet objectif doit avoir un certain foyer $F = \frac{\alpha}{n+1}$ qui est parfaitement déterminé.

Avec le téléobjectif, il n'en est pas de même puisque cet instrument a des foyers multiples et que d'un même point de vue, il peut fournir d'un même sujet une foule d'images à diverses échelles. Sur quoi faut-il donc nous guider pour choisir les foyers f_1 et f_2 de ses deux lentilles composantes?

Le plus souvent une première condition est imposée par la luminosité du téléobjectif, luminosité toujours réduite comme nous l'avons vu à la page 181.

Que notre sujet soit un paysage ou une figure humaine, l'un ou l'autre ne peuvent subir qu'une certaine pose sans *remuer*. Par comparaison avec les temps de pose d'un objectif ordinaire, la formule $L = \left(\frac{d_1}{\alpha G}\right)^2$ nous fournit alors pour le diamètre d_1 du diaphragme de la frontale un certain *minimum* au-dessous duquel nous ne pouvons descendre. D'autre part on ne fait guère d'objectifs réellement ouverts à plus de F : 4,5 (1).

(1) Nous ne parlons pas de certaines téléfrontales spéciales, à plusieurs verres collés, mais des objectifs courants. On trouve bien dans certains catalogues des objectifs doubles à $\frac{1}{3,5}$ et peut-être moins, mais

La valeur $d_1 \times 4.5$ est donc une limite inférieure de la longueur focale de notre combinaison frontale. Mais au-dessus de cette limite rien ne nous arrête encore. Si le diaphragme a la valeur d_1 qui est requise, nous pouvons prendre f_1 quelconque pouvu qu'il soit plus petit que la distance α.

Ce qui va nous guider c'est la considération de la distance β à maintenir entre la lentille postérieure et l'image, distance qui est limitée par le tirage et qui, comme nous allons le voir, *doit être aussi grande que le permet l'appareil.*

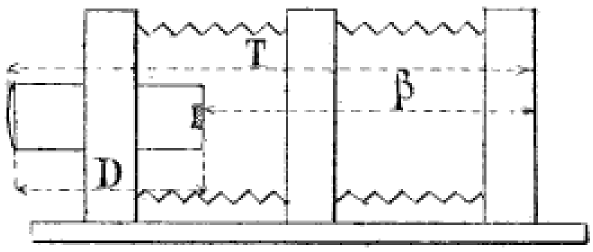


Fig. 46.

En effet l'amplificatrice d'un téléobjectif est une lentille simple et pour la distorsion comme pour toutes les autres aberrations, l'image qu' elle fournit est d'autant meilleure qu'elle est vue de la lentille sous un plus petit angle, c'est-à-dire qu'elle est plus éloignée d'elle pour un format donné.

Mais dans un appareil donné la distance β de l'amplificatrice à l'image est limitée par le tirage maximum T tirage qu'on peut compter entre la frontale et l'image. Si D est la distance de la frontale à l'amplificatrice et β la distance de l'amplificatrice à l'image on a :

$$(1) \qquad T = \beta + D$$

et aussi, d'après les formules fondamentales :

$$(2) \qquad D = f_1 - f_2 + \Delta$$

le foyer est ici compté de la lentille arrière, ce qui au point de vue de la luminosité n'a aucun sens précis.

(3) $$\beta = \frac{n + \gamma}{n\gamma} f - f_2$$

(4) $$\alpha = (n + \gamma) f + f_1$$

(5) $$\gamma = \frac{f_1}{f_2}$$

et

(6) $$\Delta = \frac{f_1 f_2}{f}$$

(Voir page 173.)

Entre ces six équations on va d'abord éliminer les variables f_2, Δ et f. Pour cela :
de (5) on tire :

(7) $$f_2 = \frac{f_1}{\gamma}$$

et de (6) et (7) :

(7 *bis*) $$\Delta = \frac{f_1^2}{f\gamma}$$

de (4) on tire :

(8) $$(n + \gamma) f = \alpha - f_1$$

et

(9) $$\frac{1}{f} = \frac{n + \gamma}{\alpha - f_1}$$

puis de (7 *bis*) et (9) ;

(10) $$\Delta = \frac{f_1^2}{\gamma} \frac{n + \gamma}{\alpha - f_1}$$

de (3), de (8) et de (7) on tire alors :

(11) $$\beta = \frac{\alpha - f_1}{n\gamma} - \frac{f_1}{\gamma}$$

et de (2), (7) et (10) :

$$(12) \qquad D = f_1 - \frac{f_1}{\gamma} + \frac{f_1^2}{\gamma}\,\frac{n+\gamma}{\alpha - f_1}$$

avec l'équation (1) :

$$T = \beta + D.$$

On a trois équations (11), (12) et (1), qui ne contiennent plus que les variables β, f_1, γ et D.

En éliminant ces deux dernières variables γ et D, il restera une relation entre β et f_1 qui nous indiquera quelle valeur il faut donner au foyer f_1 de la frontale *pour que le tirage β soit maximum.*

Pour la commodité du calcul posons :

$$f_1 = x$$
$$\gamma = y$$
$$\beta = z$$

les équations 1, 12 et 11 deviennent :

$$(13) \qquad T = z + D$$

$$(14) \qquad D = x - \frac{x}{y} + \frac{x^2}{y}\cdot\frac{n+y}{\alpha - x}$$

$$(15) \qquad z = \frac{\alpha - x}{ny} - \frac{x}{y}.$$

En multipliant (15) par n on a :

$$(16) \qquad nz = \frac{\alpha - (n+1)x}{y}.$$

En réduisant le second membre de (14) au même dénominateur et mettant $\dfrac{x}{\alpha - x}$ en facteur :

$$D = \frac{x}{\alpha - x}\left\{\frac{(\alpha - x)y - (\alpha - x) + x(n+y)}{y}\right\}$$

$$(17)\, D = \frac{x}{\alpha - x}\left[\alpha - \frac{\{\alpha - (n+1)x\}}{y}\right];$$

de (16) et (17) on tire alors :

$$(18)\ D = \frac{x}{\alpha - x}(\alpha - nz)$$

et de (13) et (18) :

$$T = z + D = z + (\alpha - nz)\frac{x}{\alpha - x}$$

d'où $z = \dfrac{T(\alpha - x) - \alpha x}{\alpha - x - nx}$

et

$$(19)\ z = \frac{x(T + \alpha) - \alpha T}{(n + 1)x - \alpha}$$

et en revenant aux valeurs $z = \beta$ et $x = f_1$

$$\beta = \frac{f_1(T + \alpha) - \alpha T}{(n + 1)f_1 - \alpha}.$$

Telle est la relation qui relie à la longueur focale f_1 de la frontale, la distance β de l'amplificatrice à l'image : étant donnés la distance du sujet α, le tirage T et l'échelle $\dfrac{1}{n}$.

Pour trouver le maximum de β, prenons la différentielle $\dfrac{d\beta}{df_1}$

$$\frac{d\beta}{df_1} = \frac{\{(n + 1)f_1 - \alpha\}(T + \alpha) - \{f_1(T + \alpha) - \alpha T\}(n + 1)}{\{(n + 1)f_1 - \alpha\}^2}$$

$$\frac{d\beta}{df_1} = \frac{(T + \alpha)(n + 1)f_1 - (n + 1)f_1(T + \alpha) - \alpha(T + \alpha) + \alpha T(n + 1)}{\{(n + 1)f_1 - \alpha\}^2}$$

$$\frac{d\beta}{df_1} = -\ \frac{(\alpha - nT)\alpha}{\{(n + 1)f_1 - \alpha\}^2} = -\ A$$

or le dénominateur de l'expression A est toujours positif puisque c'est un carré et son numérateur $(\alpha - nT)\,\alpha$ est

C. Puyo.

Réduction d'une épreuve format 18 × 24.
" Adjustable Landscape " frontale diaphragmée à F : 5.

toujours positif car α est toujours positif et $\alpha - n\mathrm{T}$ est aussi toujours plus grand que zéro, comme nous allons le montrer.

Considérons un objectif ordinaire placé à la même distance α du sujet que notre téléobjectif, et qui le reproduise à la même échelle $G = \frac{1}{n}$. Soit T′ le tirage de cet objectif. Si nous employons un téléobjectif *c'est pour pouvoir opérer avec un tirage* T *plus petit que* T′. Or dans l'objectif ordinaire :

$$\mathrm{T}' = \mathrm{F}\left(1 + \frac{1}{n}\right) \quad \text{et} \quad \alpha = \mathrm{F}(1 + n)$$

d'où

$$\alpha = n\mathrm{T}'$$

et puisque $\mathrm{T} < \mathrm{T}'$

$$\alpha > n\mathrm{T}.$$

Le numérateur et le dénominateur de Λ étant toujours positifs tous les deux, Λ est plus grand que zéro et par conséquent $\frac{d\beta}{df_1}$ est toujours *plus petit* que zéro ; c'est-à-dire que β décroît d'une façon continue quand f_1 augmente et *la plus grande valeur possible de β sera fournie par la plus petite valeur de f_1*. En ce qui nous concerne, nous ne pouvons considérer que des valeurs de f_1 supérieures à $4{,}5 \times d_1$. C'est donc cette valeur *minimum* de f_1 qui correspondra au maximum de β.

Revenons maintenant à la relation :

$$\beta = \frac{f_1(\mathrm{T} + \alpha) - \alpha\mathrm{T}}{(n + 1)f_1 - \alpha}$$

que nous écrirons en changeant les signes :

$$\beta = \frac{\alpha\mathrm{T} - f_1(\mathrm{T} + \alpha)}{\alpha - (n + 1)f_1}.$$

Or, $(n + 1) f_1$ est plus petit que $(n + 1) f$, distance du sujet au point nodal antérieur du téléobjectif. Ce point nodal est toujours projeté en avant de l'appareil de sorte que cette distance est plus petite que la *distance* du sujet α et la quantité $\alpha - (n + 1) f$ est toujours positive et *a fortiori* la quantité $\alpha - (n + 1) f_1$.

Pour que β lui-même soit $>$ o il faut donc que :

$$\alpha T - f_1(T + \alpha) > 0,$$

c'est-à-dire $T > \dfrac{\alpha f_1}{\alpha - f_1}$ ou $T > f_1 \dfrac{1}{1 - \dfrac{f_1}{\alpha}}$.

Pour α grand par rapport à f_1 ceci se réduit sensiblement à $T > f_1$, condition dont la nécessité est évidente.

Quand $T = \dfrac{\alpha f_1}{\alpha - f_1}$ on a $\beta = 0$. La relation précédente peut s'écrire :

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{T} = \frac{1}{f_1}$$

elle montre que l'image du téléobjectif se fait au foyer de la frontale et la relation $\beta = 0$ montre que l'amplificatrice se trouve au même point. Dans ce cas $\Delta = f_2$ et $D = f_1$; l'amplification est nulle. C'est une des deux positions limites de l'amplificatrice dans un téléobjectif.

En résumé la formule :

$$\beta = \frac{f_1(T + \alpha) - \alpha T}{(n + 1) f - \alpha}$$

montre que *pour réaliser une échelle donnée à une distance donnée avec un tirage donné, et pour avoir la plus* *grande distance possible entre l'amplificatrice et l'image, il faut prendre f_1 le plus petit possible.*

La composition d'un téléobjectif pour un cas donné s'établira donc de la manière suivante.

Soit un sujet, placé à la distance α, qu'il faut reproduire à l'échelle $G = \frac{1}{n}$: l'ouverture relative équivalente du téléobjectif $\frac{d_1}{\alpha G}$ étant déterminée par les nécessités du temps de pose, d_1 se trouvera commandé puisque α et G sont connus.

Nous prendrons alors le plus petit f_1 possible :

$$f_1 = 4{,}5d_1,$$

par exemple,

et nous tirerons la valeur de $\gamma = \frac{f_1}{f_2} = y$ des équations :

$$nz = \frac{\alpha - (n + 1)x}{y}$$

(*Équation (16), page 201.*)

et

$$z = \frac{\alpha T - x(T + \alpha)}{\alpha - (n + 1)x}.$$

(*Equation (19), page 202.*)

En divisant la première par la seconde on tire :

$$y = \frac{[\alpha - (n + 1)x]^2}{n[\alpha T - x(T + \alpha)]},$$

et en remplaçant y par γ et x par f_1 on a :

$$\gamma = \frac{[\alpha - (n + 1)f_1]^2}{n[\alpha T - f_1(\alpha + T)]},$$

connaissant γ et f_1 nous connaîtrons aussi $f_2 = \frac{f_1}{\gamma}$ et, pour achever de déterminer le téléobjectif, il suffira de connaître encore l'écart D des deux lentilles.

Or, l'équation (13) de la page 201 nous montre que :

$$D = T - z ;$$

portant dans cette équation la valeur :

$$z = \frac{x(T + \alpha) - \alpha T}{(n + 1)x - \alpha},$$

(Équation (19), page 202,)

on a :

$$D = T - z = \frac{T[(\alpha - x) - nx] - (\alpha - x)T + \alpha x}{\alpha - (n + 1)x},$$

$$D = \frac{x(\alpha - nT)}{\alpha - (n + 1)x},$$

et remplaçant x par f_1 :

$$D = \frac{f_1(\alpha - nT)}{\alpha - (n + 1)f_1}.$$

On retrouve ici le même dénominateur que dans la valeur de β et le même numérateur que dans la valeur de $A = -\frac{d\beta}{df_1}$.

Or, nous avons montré que ces deux expressions étaient toujours positives. La valeur D est donc aussi toujours positive et par la connaissance de f_1, de f_2 et de D, le téléobjectif nécessaire pour un travail donné se trouve complètement déterminé.

CORRECTION DU TÉLÉOBJECTIF

35. Correction du téléobjectif. — Pour trouver la correction d'un objectif double ordinaire, nous avons cherché la variation chromatique $df = \lambda f$ de la longueur focale principale f de l'objectif double formé des lentilles f_1 et f_2 placées à l'intervalle D, pour lequel :

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - \mathrm{D}} = \frac{f_1 f_2}{\Delta},$$

avec
$$\Delta = f_1 + f_2 - \mathrm{D}.$$

En supposant que f_1 et f_2 reçoivent les variations chromatiques :

$$df_1 = -\varepsilon_1 f_1 \quad \text{et} \quad df_2 = -\varepsilon_2 f_2,$$

nous avons vu que f prenait une variation $-\lambda f$ telle que :

$$\lambda = \varepsilon_1\left(1 - \frac{f_1}{\Delta}\right) + \varepsilon_2\left(1 - \frac{f_2}{\Delta}\right).$$

Pour connaître la variation dp de la longueur focale conjuguée p de l'image d'un point situé à la distance p', nous avons différencié la relation :

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

avec $$p' = \text{constante}$$
et trouvé $$dp = -\lambda f(1 + G)^2.$$

Or, cette correction dp que nous avons appliquée directement à la distance β comptée entre la lentille arrière et la glace dépolie n'est pas celle qui lui convient rigoureusement, car la longueur focale conjuguée p n'est pas comptée de la lentille arrière, mais du point nodal arrière de la combinaison des lentilles f_1 et f_2, point nodal qui est à une distance N_2 de la lentille f_2. Et quand la longueur focale p prend la variation chromatique dp définie ci-dessus, ce point nodal se déplace lui-même de dN_2, de sorte que le tirage β entre la glace dépolie et la lentille arrière a varié, non pas de dp, mais de $dp + dN_2$; et de sorte qu'on a :

$$d\beta = -\lambda f(1 + G)^2 + dN_2.$$

Telle est la valeur complète de la variation du tirage, qui est en même temps la correction exacte qu'il faut faire subir à la glace dépolie ; nous allons calculer maintenant la valeur de dN_2, montrer qu'elle est négligeable dans un objectif double ordinaire et qu'elle ne l'est pas dans un téléobjectif.

La valeur de N_2, distance du point nodal arrière de la combinaison f au point nodal avant de la lentille arrière f_2 (ce dernier point confondu avec le plan de cette lentille supposée mince), la valeur de N_2 est dans le cas général :

$$N_2 = \frac{-f_2 D}{\Delta}.$$

Je pose $$N_2 = - N'_2,$$
d'où en différenciant :

$$dN_2 = - dN'_2$$

et en divisant membre à membre :

$$\frac{dN_2}{N_2} = \frac{dN'_2}{N'_2},$$

je prends alors les logarithmes et la différentielle de :

$$N'_2 = \frac{f_2 D}{\Delta}$$

pour D = constante :

$$\frac{dN'_2}{N'_2} = \frac{df_2}{f_2} - \frac{d\Delta}{\Delta} = \frac{dN_2}{N_2},$$

d'autre part, en prenant les logarithmes et différenciant l'équation fondamentale :

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta},$$

on a $$\frac{df}{f} = \frac{df_1}{f_1} + \frac{df_2}{f_2} - \frac{d\Delta}{\Delta},$$

d'où $$\frac{df_2}{f_2} - \frac{d\Delta}{\Delta} = \frac{df}{f} - \frac{df_1}{f_1} = - \lambda + \varepsilon_1.$$

d'après les définitions de λ et ε_1 ;

Et par conséquent :

$$\frac{dN_2}{N_2} = -(\lambda - \varepsilon_1) \qquad dN_2 = - N_2(\lambda - \varepsilon_1).$$

Telle est la valeur générale de la variation chromatique dN_2 de la distance du point nodal.

Dans un *objectif* double ordinaire $f_1 = f_2 = \varphi$,

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ et $D = \frac{f}{10}$... environ. En calculant la valeur de dN_2 avec ces données on trouve :

$$\lambda = \varepsilon \times \frac{18}{19}$$

et
$$dN_2 = \frac{\varepsilon f}{190},$$

d'où
$$dN_2 = \frac{\lambda f}{180}.$$

On voit que dN_2 est environ la 200[e] partie de la correction λf, c'est-à-dire une quantité tout à fait négligeable, bien inférieure à celle qui résulte de l'erreur commise sur la détermination des coefficients ε et λ.

Dans un *téléobjectif* les mêmes formules s'appliquent, car elles sont générales. Mais on remplace f_2 par $-f'_2$ et on pose $\Delta = f_1 - f'_2 - D = -\Delta'$, d'où $\Delta' = f'_2 + D - f_1$ et Δ' est $> O$ et $< f_2$, de sorte qu'il est peut-être très petit par rapport à D et que le rapport $\frac{D}{\Delta'}$, au lieu d'être très petit comme il l'est dans un objectif ordinaire $\left(\text{environ } \frac{1}{20}\right)$, peut être très grand (50 unités et davantage).

D'autre part on a vu, page 102, que la valeur générale du coefficient λ est :

$$\lambda = \varepsilon_1\left(1 - \frac{f_1}{\Delta}\right) + \varepsilon_2\left(1 - \frac{f_2}{\Delta}\right).$$

Cette valeur devient, dans le cas de téléobjectif (pour $f_2 = -f'_2$ et $\Delta = -\Delta'$) :

$$\lambda = \varepsilon_1\left(1 + \frac{f_1}{\Delta'}\right) + \varepsilon_2\left(1 - \frac{f'_2}{\Delta'}\right),$$

et si la frontale et l'amplificatrice sont du même verre ; c'est-à-dire si $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$:

$$\lambda = \varepsilon\left(2 + \frac{f_1 - f_2'}{\Delta'}\right).$$

or, on a $$\Delta' = f_2' + D - f_1,$$

d'ou $$f_1 - f_2' = D - \Delta,$$

d'où $$\lambda = \varepsilon\left(1 + \frac{D}{\Delta'}\right) \quad \text{et} \quad \lambda - \varepsilon = \varepsilon\frac{D}{\Delta'},$$

si ce rapport $\frac{D}{\Delta'}$ est grand (5o et . vantage), la valeur de $\lambda - \varepsilon$ diffère très peu de celle de λ, et cette valeur pourra être notablement plus grande que n'est la valeur de ε pour un objectif ordinaire.

Il faut remarquer que, dans ce cas, celles de nos formules qui sont déduites d'équations différentielles ne donnent plus que des résultats grossièrement approchés, car ces équations différentielles supposent que les valeurs *d'*ε_1, ε_2 *et aussi* λ soient extrêmement petites.

D'autre part, l'expression générale de la valeur de N_2 est :

$$N_2 = -\frac{f_2 D}{\Delta}.$$

Et cette valeur devient, dans le cas du téléobjectif :

$$N_2 = -\frac{f_2' D}{\Delta'} = -N_2'$$

avec $$\Delta' = f_2' + D - f_1,$$

d'où $$D = \Delta' + f_1 - f_2'$$

et $$\frac{D}{\Delta'} = 1 + \frac{f_1 -}{\Delta'}.$$

Or $$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta'} \quad \text{d'où} \quad \Delta' = \frac{f_1 f_2}{f},$$

d'où $$\frac{D}{\Delta'} = 1 + \frac{f_1 - f'_2}{f_1 f'_2} \cdot f = 1 + \left(\frac{1}{f'_2} - \frac{1}{f_1}\right) f,$$

et alors :

$$N'_2 = f'_2 \frac{D}{\Delta'} = f'_2 + \left(1 - \frac{f'_2}{f_1}\right) f = f - f'_2 \left(\frac{f}{f_1} - 1\right).$$

Ces deux expressions de la valeur de N'_2 montrent, la première, que N'_2 est toujours $> f'_2$, car le terme $\left(1 - \frac{f'_2}{f_1}\right)$ est toujours > 0 ; et la deuxième que N'_2 est toujours $< f$, car l'expression $\left(\frac{f}{f_1} - 1\right)$ est aussi toujours > 0.

Quant à l'expression générale de dN_2 (voir page 209)

$$- dN_2 = N_2(\lambda - \varepsilon_1) = - N'_2(\lambda - \varepsilon_1)$$

elle devient dans le cas d'un téléobjectif à deux verres pareils ($\varepsilon_2 = \varepsilon_1 = \varepsilon$) :

$$dN_2 = \left[f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f'_2\right] (\lambda - \varepsilon_1)$$

avec $$\gamma = \frac{f_1}{f'_2}$$

et quand f'_2 est très petit par rapport à f, et λ grand par rapport à ε (ce qui est le cas le plus habituel) ceci se réduit sensiblement à :

$$dN_2 = \lambda f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right);$$

si $\gamma = 4$... par exemple :

$$dN_2 = \frac{3}{4}\lambda f.$$

Or la correction totale $d\beta$ est, pour G négligeable (p. 208),

$$d\beta = -\lambda f + dN_2,$$

c'est-à-dire $$d\beta = -\frac{1}{4}\lambda f$$

d'où $$dN_2 = -3\ d\beta.$$

On voit qu'en valeur absolue la variation dN_2 est égale à environ trois fois la variation totale $d\beta$ et on voit quelle erreur on commettrait si on la négligeait dans le cas considéré. Rappelons toutefois l'observation qui a été faite à la page 211 sur la grossière approximation avec laquelle nous connaissons la valeur de λ.

Sous cette réserve, maintenant que nous connaissons la valeur de dN_2 nous pouvons écrire l'expression complète de la correction par la glace dépolie qui est (page 208) :

$$d\beta = -\lambda f(1 + G)^2 + dN_2$$

ou $$-d\beta = \lambda f(1 + G)^2 - dN_2$$

donc

$$-d\beta = \lambda f(1 + G)^2 - \left[f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f'_2\right](\lambda - \varepsilon_1)$$

si on veut corriger le téléobjectif en avançant la glace dépolie, comme on le fait d'un objectif ordinaire c'est de la quantité $-d\beta$ qu'il faudra l'avancer.

Quant à la valeur de λ elle est :

$$\lambda = \varepsilon_1\left(1 + \frac{f_1}{\Delta'}\right) + \varepsilon_2\left(1 - \frac{f'_2}{\Delta'}\right).$$

Ces formules conviennent au cas général où la frontale et l'amplificatrice sont de deux verres différents. Si elles sont faites de mêmes verres, la valeur de λ devient (p. 210)

$$\lambda = \varepsilon\left(1 + \frac{D}{\Delta'}\right).$$

et celle de $\lambda - \varepsilon$:

$$\lambda - \varepsilon = \frac{\varepsilon D}{\Delta'}.$$

Avec : $$\Delta' = D + f'_2 - f_1.$$

Quant à la valeur de $-d\beta$, elle devient :

$$-d\beta = \lambda f(1 + G)^2 - \left[f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f'_2\right]\varepsilon\frac{D}{\Delta'}.$$

La correction pourra se faire en deux temps. D'abord on avancera la glace dépolie de la *correction focale* :

$$\lambda f(1 + G)^2$$

comme on l'avance dans un objectif double ordinaire de la quantité :

$$\lambda f(1 + G)^2 ;$$

puis on fera la *correction nodale* en ramenant la glace en arrière de :

$$(\lambda - \varepsilon_1)\left[f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f'_2\right],$$

dans le cas général, et de :

$$\left[f\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) + f'_2\right]\varepsilon\frac{D}{\Delta'}$$

dans le cas où $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

Dans le cas du téléobjectif que nous avons appelé *demi-anachromatique*, pour lequel la frontale est achromatique, avec $\varepsilon_1 = 0$, on a :

$$\lambda = \varepsilon_2\left(1 - \frac{f'_2}{\Delta}\right)$$

et $\frac{f'_2}{\Delta}$ étant toujours plus grand que 1 la valeur de λ est négative.

Si nous posons :

$$\lambda' = -\lambda = \varepsilon_2\left(\frac{f'_2}{\Delta} - 1\right)$$

nous aurons :

$$d\beta = \lambda' f\left[(1 + G)^2 + \frac{1}{\gamma} - 1\right] - \lambda' f'_2$$

et au lieu d'avancer la glace dépolie comme dans les objectifs ordinaires, il faudra la reculer de cette quantité.

36. Correction du téléobjectif par écartement des lentilles. — Nous avons vu dans le paragraphe précédent que le coefficient chromatique λ pouvait occasionnellement atteindre de grandes valeurs sur lesquelles nos équations ne peuvent nous fournir que des indications approchées car ces équations sont basées sur l'hypothèse que les variations chromatiques $\varepsilon_1 f_1$, $\varepsilon_2 f_2$ *et aussi* λf sont toutes des quantités très petites.

La valeur $d\beta$ trouvée précédemment est donc suspecte dans certains cas et dans tous elle se déduit d'un calcul qui, pour être très simple, nécessite cependant quelque soin et exige le calcul préalable des coefficients λ et G et de la longueur focale f.

Pour ces raisons, nous conseillons de renoncer à la correction par la glace dépolie dans le cas du téléobjectif et d'adopter un autre procédé, beaucoup plus simple, qui consiste à faire varier l'écartement D des lentilles d'une quantité convenable dD, après la mise au point, de façon à donner aux rayons violets le foyer f qu'avaient les rayons jaunes pour l'écartement D. La *correction focale* est rendue inutile par cet artifice mais l'image subit néanmoins un déplacement $d\beta$ dû à une petite variation de l'échelle $\frac{1}{n}$ et à un déplacement du point nodal. Nous allons calculer d'abord la variation $d\mathrm{D}$ de l'écartement des lentilles et nous calculerons ensuite le déplacement $d\beta$.

a) Suppression de la correction focale par rapprochement des lentilles. — Soit un téléobjectif dont le foyer :

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta'} = \frac{f_1 f_2}{\mathrm{D} + f_2 - f_1}$$

d'où

$$\mathrm{D} = f_1 - f_2 + \frac{f_1 f_2}{f}. \tag{1}$$

Pour que f reste constant, c'est-à-dire pour que f prenne une variation $df = 0$ quand f_1 et f_2 prennent des variations chromatiques :

$$df_1 = -\varepsilon f_1 \quad \text{et} \quad df_2 = -\varepsilon f_2$$

il faut que D prenne une variation $d\mathrm{D}$ satisfaisant à la relation :

$$\mathrm{D} + d\mathrm{D} = f_1 + df_1 - f_2 - df_2 + \frac{(f_1 + df_1)(f_2 + df_2)}{f} \tag{2}$$

et en retranchant (1) de (2) et remplaçant df_1 et df_2 par leurs valeurs :

$$d\mathrm{D} = -\varepsilon_1 f_1 + \varepsilon_2 f_2 - \frac{\varepsilon_2 f_2 f_1 - \varepsilon_1 f_1 f_2}{f} + \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 f_1 f_2}{f}$$

d'où $-d\mathrm{D} = \varepsilon_1 f_1 - \varepsilon_2 f_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\Delta' - \varepsilon_1 \varepsilon_2 \Delta'$.
ε_1, ε_2 et Δ' étant tous trois très petits, le dernier terme, qui est formé par leur produit, peut être négligé par rapport aux autres et la correction à faire subir à l'écar-

tement des lentilles pour donner au foyer violet la même valeur qu'au foyer jaune prend la forme :

$$- dD = \varepsilon_1 f_1 - \varepsilon_2 f_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\Delta'.$$

b) Calcul de la correction nodale $d\beta$. — Si nous faisons varier l'écartement D des lentilles pour obtenir une variation nulle du foyer $df = 0$, quand les lentilles f_1 et f_2 prennent leur variation chromatique $df_1 = - \varepsilon f_1$ et $df_2 = - \varepsilon f_2$, tous les éléments du téléobjectif subissent des variations corrélatives et notamment l'échelle $\frac{1}{n}$, le rapport d'amplification $\gamma = \frac{f_1}{f_2}$ et le tirage β entre l'amplificatrice et l'image, tirage dont la valeur est :

$$(1) \qquad \beta = \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{n}\right) f - f_2.$$

Toutes ces variations étant petites on peut les considérer comme liées par l'équation différentielle de l'équation (1) (avec $df = 0$) :

$$d\beta = \left(\frac{- d\gamma}{\gamma^2} - \frac{dn}{n_2}\right) f - df_2$$

Or $$\gamma = \frac{f_1}{f_2},$$

d'où $$\frac{d\gamma}{\gamma} = \frac{df_1}{f_1} - \frac{df_2}{f_2}$$

et $$\frac{- d\gamma}{\gamma^2} = - \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\gamma}.$$

D'autre part, la distance α du sujet à la lentille avant, distance constante, est liée aux variables n, γ, et f_1 par la relation :

$$(2) \qquad \alpha = f(n + \gamma) + f_1$$

et par son équation différentielle (avec $df = 0$)

$$0 = f(dn + d\gamma) + df_1$$

d'où $\quad dn = -\frac{df_1}{f} - d\gamma = \frac{\varepsilon f_1}{f} - \gamma(\varepsilon_2 - \varepsilon_1),$

et $\quad d\left(\frac{1}{n}\right) = \frac{-dn}{n^2} = -\frac{\varepsilon_1 f_1}{n^2 f} + \frac{\gamma(\varepsilon - \varepsilon_1)}{n^2}.$

Remplaçant $\frac{d\gamma}{\gamma^2}$ et $\frac{dn}{n^2}$ par leurs valeurs dans l'expression de $d\beta$, nous avons :

$$d\beta = -\frac{f}{\gamma}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) - \frac{\varepsilon_1 f_1 f}{n^2 f} + \frac{\gamma f}{n^2}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) + \varepsilon_2 f_2,$$

d'où :

$$d\beta = \varepsilon_2 f_2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\frac{f}{\gamma}\left[\left(\frac{\gamma}{n}\right)^2 - 1\right] - \frac{\varepsilon_1 f_1}{n_2}.$$

Dans ce système, la correction se fait donc en deux temps.

1[er] Temps. *Suppression de la correction focale par rapprochement des lentilles.* — On rapproche la frontale de l'amplificatrice, après la mise au point de la quantité :

$$-dD = \varepsilon_1 f_1 - \varepsilon_2 f_2 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\Delta'.$$

2[e] Temps. *Correction nodale.* — On recule la glace dépolie (en l'écartant du téléobjectif) de la quantité :

$$d\beta = \varepsilon_2 f_2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\frac{f}{\gamma}\left[\left(\frac{\gamma}{n}\right)^2 - 1\right] - \frac{\varepsilon_1 f_1}{n^2}.$$

En raison de la très grande profondeur de foyer du téléobjectif, cette correction nodale peut généralement être négligée car elle est très petite, ou on peut au moins la réduire à son premier terme $\varepsilon_2 f_2$. En effet, le troisième terme est toujours très petit et le deuxième terme s'annule complètement pour $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, (dans le cas où la frontale et l'amplificatrice ont la même dispersion). Il s'annule aussi quand $\gamma = n$, et il est très petit quand $\varepsilon_2 - \varepsilon$ et $\left(\frac{\gamma}{n}\right)^2 - 1$ sont peu différents de zéro, ce qui est le plus souvent réalisé.

37. Téléobjectif à deux combinaisons du même pouvoir dispersif. — Dans ce cas $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$;

$$- dD = \varepsilon(f_1 - f_2 + 2\Delta)$$
$$d\beta = \varepsilon\left(f_2 - \frac{f_1}{n^2}\right).$$

38. Téléobjectif demi-anachromatique. — Dans ce cas, la frontale est achromatique et $\varepsilon_1 = 0$.

Alors :

$$- dD = - \varepsilon_2(f_2 - \Delta'),$$
$$d\beta = \varepsilon_2 f_2 + \varepsilon_2\frac{f}{\gamma}\left[\left(\frac{\gamma}{n}\right)^2 - 1\right].$$

$\varepsilon_2(f_2 - \Delta')$ est toujours > 0, donc la correction de D est toujours positive, c'est-à-dire qu'il faut écarter les lentilles de la quantité indiquée, d'ailleurs peu importante, après la mise au point.

Quant à la valeur de la correction $d\beta$, elle est plus importante que pour les autres téléobjectifs, puisqu'elle ne comporte plus le terme négatif $- \varepsilon_1\frac{f}{\gamma}\left[\left(\frac{\gamma}{n}\right)^2 - 1\right]$ qui compensait presque le terme $\varepsilon_2\frac{f}{\gamma}\left[\left(\frac{\gamma}{n}\right)^2 - 1\right]$ que l'on conserve.

LE TÉLÉOBJECTIF A PAYSAGE

" ADJUSTABLE LANDSCAPE LENS "

39. Téléobjectif à paysage. " Adjustable Landscape Lens ". — Par des considérations d'esthétique développées dans la première partie de cet ouvrage (p. 65), comme aussi par le souci d'augmenter le champ, de diminuer la distorsion et d'atténuer toutes les aberrations en allongeant le tirage, nous avons été conduits à composer nos téléobjectifs à paysage de deux combinaisons rapprochées et ayant des foyers peu différents l'un de l'autre.

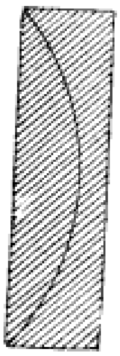


Fig. 47.

De là à essayer de réunir deux combinaisons de foyers égaux, il n'y avait qu'un pas à franchir, et nous y étions incités par une intéressante considération théorique.

Dès 1896, en effet, M. H. L. Aldis, de Birmingham, dans une importante communication à la Société Royale de Photographie de Londres (1), montrait qu'en divisant en deux parties par une surface sphérique, une lame de verre à faces parallèles puis en écartant les deux lentilles de puissance égale

(1) Séance du 14 janvier 1896.

ainsi formées, on obtient immédiatement un foyer positif dont la longueur dépend de l'écart entre les deux lentilles. Il montrait aussi que, quel que fût cet écart, la combinaison jouit de cette propriété remarquable que la constante astigmatique de Peltzval y est nulle, c'est-à-dire qu'on a toujours (1) :

$$\sum\left(\frac{1}{n_{K-1}} - \frac{1}{n_K}\right)\frac{1}{R_K} = 0.$$

Si donc on trouve un certain écart des lentilles qui aplanit un des deux champs astigmatiques, l'autre devient également plan, les deux champs se confondent et, par conséquent, l'astigmation disparaît.

L'objectif à paysage baptisé « adjustable Landscape Lens » justifie ces considérations.

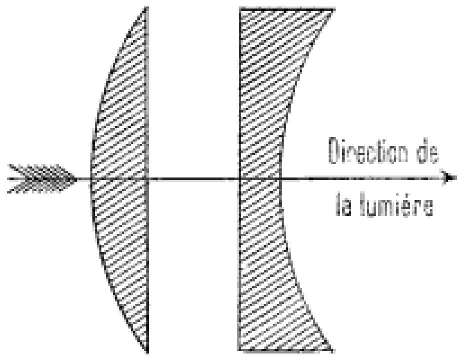


Fig. 48.

Le type 18×24, actuellement en usage, est un objectif à foyer variable, composé de deux lentilles plancourbe, faites du même crown, ayant toutes deux une longueur focale de 10 centimètres et disposées comme l'indique la figure par rapport au rayon lumineux. Le diamètre des lentilles est de 3 centimètres. Le diaphragme est placé contre les lentilles et doit avoir au plus $\frac{1}{20}$ de la longueur focale. La monture permet de faire varier l'écartement des lentilles de 10 à 25 millimètres.

L'objectif couvre la plaque 18×24 d'une manière

(1) R_K est le rayon d'une des surfaces du système, séparant des milieux d'indices n_{K-1} et n_K.

homogène, depuis le foyer $f = 40$ centimètres jusqu'au foyer $f = 70$ centimètres, auxquels correspondent respectivement des tirages entre la lentille arrière et la glace dépolie de 30 centimètres et de 60 centimètres, ce dernier le plus grand que puisse admettre une chambre de campagne ordinaire de ce format.

Pour le tirage de 30 centimètres les bords laissent voir un peu d'aberration, mais beaucoup d'artistes déclarent qu'au point de vue pratique et pour la plupart des sujets, ce léger défaut ne s'aperçoit pas.

Dès que le tirage atteint 40 centimètres, l'image est très bonne partout. L'angle sous lequel la lentille arrière voit la diagonale de la plaque 18×24, à la distance 30 centimètres, est de 53 degrés. Il est de 41 degrés à la distance 40 centimètres. Sous les réserves indiquées et pour la netteté adoucie que recherchent les artistes, ces champs sont convenablement plans, anastigmatiques et homogènes. Ils sont affranchis de toute distorsion, ce qui s'explique par l'extrême rapprochement du diaphragme. Pour les diaphragmes indiqués, ils sont pratiquement aplanétiques.

La profondeur de foyer est extraordinaire et assure à

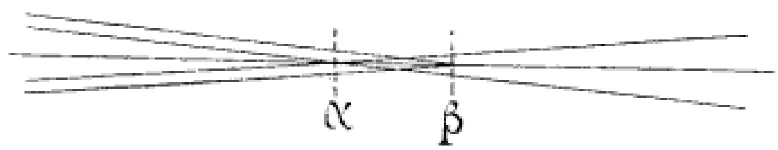


Fig. 49.

l'image des qualités exceptionnelles au point de vue paysagiste : on peut attribuer cette circonstance à la petitesse du diaphragme et au résidu d'aberration sphérique dont les faisceaux lumineux sont affectés, malgré cette petitesse, en raison de la forte courbure des lentilles.

Au lieu d'être des cônes, ces faisceaux ont une forme analogue à celle qu'indique la figure. Où qu'ils coupent la glace sensible, leur section n'est jamais rigoureusement réduite à un point et, par conséquent, aucun plan du sujet ne fournit une image de netteté absolue. Par contre, pourvu qu'ils soient coupés entre les points α et β, la section de ces solides est un cercle d'un diamètre à peu près constant, et cette latitude assure à l'*adjustable* une profondeur de champ exceptionnelle qui englobe, d'une part, les lointains et, de l'autre, des premiers plans très rapprochés.

L'objectif « *adjustable* » n'est pas achromatique. La formule générale de la correction, par le verre dépoli, d'un téléobjectif à deux lentille du même verre (page 214), pour :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon \quad f_1 = f'_2 = \varphi \quad \gamma = 1 \quad \text{et} \quad D = \Delta'$$

nous donne :

$$\lambda = \varepsilon\left(1 + \frac{D}{D}\right) = 2\varepsilon$$

d'où
$$-d\beta = 2\varepsilon f(1 + G)^2 - \varepsilon\varphi\frac{D}{D}.$$

On voit que la correction $d\beta$ nécessaire est presque le double de celle que demanderait un objectif ordinaire de foyer f et cependant on peut employer l'*adjustable* sans aucune correction. Grâce à l'exceptionnelle profondeur de champ que nous avons signalée on a simplement un déplacement de la zone de plus grande netteté qui vient sur l'image un peu plus en avant qu'elle n'était sur la glace dépolie. Avec un peu d'habitude on tient compte de cette circonstance pendant la mise au point en plaçant le maximum de netteté un peu trop en arrière, mais il est évident qu'il vaut mieux procéder exactement et faire la correction de façon à obtenir la netteté là où on l'a mise.

Au lieu de prendre la correction exacte :

$$d\beta = 2\varepsilon f(1 + G)^2 - \varepsilon\varphi,$$

on pourra prendre la quantité ci-après qui en diffère très peu tant que G est petit :

$$d\beta = 2\varepsilon f(1 + G) - 2\varepsilon\varphi = 2\varepsilon\beta,$$

c'est-à-dire le double produit du coefficient ε par le tirage β de l'*adjustable*.

Pour $\varphi = 10^{cm}$, $f = 40^{cm}$, $\varepsilon = \frac{1}{50}$, la correction à faire subir à la glace dépolie serait de 12 millimètres.

40. Les foyers variables de l' " Adjustable ". — Les formules générales du téléobjectif :

$$f = \frac{f_1 f'_2}{\Delta'}$$

et

$$\Delta' = D + f'_2 - f_1$$

deviennent dans le cas de l'*adjustable* pour $f_1 = f'_2 = \varphi$

$$\Delta' = D \quad \text{et} \quad f = \frac{\varphi^2}{D}$$

d'où

$$D = \frac{\varphi^2}{f},$$

ce qui donne pour $\varphi = 10^{cm}$ et $f = 40^{cm}$

$$D = 2^{cm},5$$

et pour $\varphi = 10^{cm}$ et $f = 70^{cm}$

$$D = 1^{c},4.$$

Si l'on cherche à obtenir des valeurs de $f < 40^{cm}$ en augmentant l'écart D, l'angle convenablement couvert devient de plus en plus restreint et la distorsion, notamment, se fait sentir de plus en plus près du centre.

Rien n'empêcherait au contraire, si ce n'est la diminution de la luminosité, d'utiliser des foyers de plus en plus longs, en rapprochant davantage les deux lentilles.

Cependant ce rapprochement aurait une limite, même si la monture permettait aux deux faces planes des lentilles de venir au contact. En effet, quand on combine des lentilles dont l'épaisseur n'est pas négligeable, la distance D se compte du deuxième point nodal de la frontale N_1' au premier point nodal de l'amplificatrice N_2. Donc même si les deux faces planes se touchaient, la distance D serait encore égale à la somme des distances des points nodaux à la face plane correspondante.

Or dans une lentille plan courbe un des points nodaux est au sommet de la face courbe et la distance de l'autre à la face plane est $\frac{e}{n}$, e étant l'épaisseur et n l'indice, soit $\frac{2}{3}e$ dans un crown d'indice $\frac{3}{2}$. La distance $N_1'N_2$ est donc égale à $\frac{4}{3}e$ et si nous supposons $e = 1^{mm},5$ la distance :

$$D = N_1'N_2 = \frac{4}{3} \times 1^{mm},5 = 2^{mm}.$$

D'autre part comme on a :

$$f = \frac{\varphi^2}{D}$$

avec $\varphi = 10^{cm} = 100^{mm}$ et $D = 2^{mm}$,

on a
$$f = \frac{10000}{2} = 5000^{mm}$$

soit
$$f = 5^{m}$$

tel est le plus grand foyer qu'on pourrait, au moins théoriquement, obtenir avec l'objectif « adjustable » type 18×24, formé de deux lentilles plan courbes ayant toutes deux une longueur focale de 10 centimètres.

Si on voulait au contraire couvrir des plaques plus grandes ou plus petites que 18×24, vues par l'appareil sous le même angle que dans le type que nous venons d'étudier, avec les mêmes ouvertures relatives, aussi bien pour le foyer minimum que pour le maximum, on pourrait adopter les dimensions suivantes :

FORMAT	DIAGONALE COUVERTE	LENTILLES COMPOSANTES ÉGALES, EN CROWN		DIAPHRAGME MAXIMUM $d = \frac{\varphi}{5}$	FOYER RÉSULTANT MINIMUM : f (Ouverture relative $\frac{d}{f} = \frac{1}{20}$)	TIRAGE MINIMUM DE L'OBJECTIF A L'IMAGE : $f - \varphi$	FOYER RÉSULTANT MAXIMUM : F (Ouverture relative $\frac{d}{F} = \frac{1}{35}$)	TIRAGE MAXIMUM $F - \varphi$
		Rayon	Foyer $= \varphi$					
13×18	22^{cm}	$3^{cm},75$	$7^{cm},5$	$1^{cm},5$	30^{cm}	$22^{cm},5$	52^{cm}	$44^{cm},5$
18×24	30^{cm}	5^{cm}	10^{cm}	2^{cm}	40^{cm}	30^{cm}	70^{cm}	60^{cm}
24×30	38^{cm}	$6^{cm},5$	13^{cm}	$2^{cm},6$	52^{cm}	39^{cm}	90^{cm}	77^{cm}

On peut remarquer que dans la formule générale :

$$\beta = \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{\gamma}\right) f - f'_2$$

avec $\frac{1}{n} = G$ il faut faire ici :

$$\gamma = \frac{f_1}{f_2'} = 1 \quad \text{et} \quad f_2' = \varphi$$

donc $$\beta = f(1 + G) - \varphi.$$

Le tirage entre la lentille et l'image est plus court de φ que celui d'un objectif ordinaire de même foyer f donnant la même échelle G, car le tirage de celui-ci serait précisément

$$f(1 + G).$$

TABLE DES MATIÈRES

20

Pages.

DEUXIÈME PARTIE. - CALCULS

PLANCHES HORS TEXTE