

Auteur ou collectivité : Allotte de La Fuÿe, François-Maurice

Auteur : Allotte de La Fuÿe, François-Maurice (1844-1939)

Titre : Mémoire du chef de bataillon Allotte de la Fuÿe commandant l'École du Génie de Grenoble, sur l'emploi des appareils photographiques pour les observations à grande et à petite distance

Adresse : Grenoble : École du génie, 1892

Collation : 1 vol. (45 p.) : ill., tabl. ; 33 cm

Cote : CNAM-BIB 4 Tu 54 (P.11)

Sujet(s) : Photo-interprétation (science militaire) ; Photographie -- Appareils et matériel ; Photographie militaire

Note : Daté et signé de l'auteur : "mars 1892 Allotte la Fuye". Relié dans un recueil factice intitulé "Métrophotographie" ayant probablement appartenu à Aimé Laussedat, la table des pièces étant écrite de sa main, et utilisé comme outil de travail pour ses publications.

Langue : Français

Date de mise en ligne : 03/10/2014

Date de génération du document : 9/3/2018

Permalien : <http://cnum.cnam.fr/redir?4TU54.P11>

1891

Mémoire du Chef de Bataillon Allotte de la Fuje Commandant l'École du Génie de Grenoble, sur l'emploi des appareils photographiques pour les Observations à grande et à petite distance.

Pendant les opérations du simulateur de guerre souterraine exécuté à Grenoble en 1890, nous avons employé avec succès un observatoire photographique instantané, mât de grande hauteur portant un appareil léger, pour obtenir des vues plongeantes sur le terrain des attaques rapprochées. La même année, au cours d'une mission qui nous a été confiée par Monsieur Le Gouverneur Militaire de Lyon, commandant le 14^{me} Corps d'Armée, nous avons essayé d'employer la photographie pour reconnaître, sans quitter le territoire Français, les nouveaux ouvrages construits par les Italiens au Mont Cenis. L'obligation d'opérer à des distances de 7 à 8 kilomètres, nous a montré combien les appareils ordinaires dont nous disposions étaient insuffisants pour des observations à longue portée et nous a convaincu en même temps de l'utilité majeure qu'il y aurait au point de vue militaire à faire construire un appareil spécialement destiné à ce genre d'observations.

Dans le compte-rendu des expériences faites en 1890 à l'École de Grenoble, nous faisons ressortir l'opportunité d'ajouter à l'étude que nous avons faite sur les observatoires photographiques instantanés, celle, plus importante encore, des appareils à longue portée.

La section technique du Génie, dans sa note du 26 Mai 1891, approuvée le 29 du même mois, a reconnu l'intérêt qui s'attache à ces études et nous a prescrit de les poursuivre.

Le présent rapport traite dans son ensemble la question des observations photographiques au point de vue des reconnaissances militaires; il rend compte des essais entrepris, des résultats déjà obtenus et de ceux qu'il serait permis d'espérer par l'emploi d'appareils plus perfectionnés.

Nous n'avons pas compris dans notre étude les applications de la photographie aux levés topographiques et aux opérations géodésiques. Ces applications ont été étudiées depuis longtemps dans le service du Génie⁽¹⁾, elles sont d'ailleurs l'objet de travaux récents publiés en France et à l'étranger, réunis sous le nom quelque peu barbare de photogrammétrie.

L'Objectif photographique, comme instrument d'Observation:

L'emploi de la photographie à la guerre n'est pas une nouveauté, il a été souvent tenté mais sans grand succès. Les progrès réalisés, au point de vue de la construction des appareils ainsi qu'à celui de la préparation des plaques, sont de nature à faire admettre aujourd'hui des procédés qui, il y a quelques années étaient rejetés comme peu susceptibles d'application pratique.

L'objectif photographique est un instrument d'une merveilleuse puissance, qui peut remplacer l'œil dans tous les cas possibles et qui a sur lui l'avantage de voir mieux, souvent plus vite et d'enregistrer fidèlement ce qu'il a vu. Les études microscopiques aussi bien que d'astronomie, voient s'ouvrir devant elles, grâce à lui, un champ nouveau fécond en résultats inattendus; adopté dans les reconnaissances militaires, pour suppléer, suivant les cas, l'œil, la jumelle ou la

⁽¹⁾ Monsieur le Colonel Caussedat a le premier étudié les applications de la photographie aux levés des plans (Mémoires du Génie N° 16, année 1854). — Après lui Monsieur le Commandant du Génie Javary a fait de nombreux levés photographiques. — Plus récemment, les Commandants Moissard et Lefros, et le docteur G. Lébou ont repris la question. — A l'étranger, la topophotographie et la photogrammétrie sont en grand honneur, particulièrement en Russie et en Italie. — L'état-major Italien emploie la photostéréoscopie pour le levé des régions les plus accidentées des Alpes.

Longue-vue il rendra des services incontestables.

Nous examinerons successivement :

1. Les appareils photographiques à court foyer⁽¹⁾ qui donnent des images comparables comme dimensions aux images perçues par l'œil.
2. Les appareils photographiques à long foyer qui peuvent être comparés aux jumelles.
3. Les longues-vues photographiques avec lesquelles on peut obtenir des grossissements supérieurs à ceux des plus fortes Lunettes terrestres.

Nous insisterons spécialement sur les longues-vues photographiques dont la théorie et les applications sont encore peu connues.

Chapitre I^{er}

Appareils photographiques à court foyer.

Definitions.

Prenez un objectif de 25 centimètres de foyer, il donnera sur la plaque photographique placée à son foyer, une image des objets éloignés qui peut être considérée comme de grandeur naturelle,



si on admet que la distance de 25 centimètres est la distance de la vision distincte. Un ouvrage de fortification de 100 mètres de longueur, distant de 1000 m de l'appareil, aura 25 millimètres sur le cliché. C'est la longueur qu'intercepterait sur un écran transparent placé à 25 centimètres de l'œil, les rayons visuels joignant l'œil aux extrémités

(1) Nous avons voulu d'abord distinguer les deux premières catégories d'appareils par les dénominations d'appareils à faible puissance et d'appareils à grande puissance, en comprenant sous ce dernier nom les appareils à long foyer qui, en raison de la grandeur et de la netteté des images qu'ils donnent, ont plus de portée et plus de puissance d'observation. Mais le mot de puissance dioptrique ou simplement de puissance est employé dans certains traités d'optique dans un sens absolument opposé, une lentille y est dite d'autant plus puissante que son pouvoir convergent est fort et par conséquent que son foyer est court. Pour éviter toute ambiguïté nous nous astiendrons d'employer l'expression puissance et nous distinguerons seulement les appareils d'après la longueur de leur foyer.

de l'ouvrage. Si la photographie est bonne, l'œil y distinguera à peu près ce qu'il perçoit directement. De plus, l'examen du cliché à la loupe ou son agrandissement pourra révéler des détails peu appréciables à la vision directe.

Observatoires aériens.

C'est un résultat, qui peut avoir son application ; l'appareil de 25 centimètres est léger, portable et pourra facilement donner des épreuves instantanées quel que soit l'éclaircissement. Ce sont des qualités qui en recommandent l'emploi comme appareil à main à employer dans les reconnaissances ou dans les opérations en ballon autour des places lorsque l'on peut s'approcher à petite distance. Nous en avons fait une application assez satisfaisante des appareils à court foyer aux observatoires instantanés qui peuvent être établis dans les places pour prendre des vues plongeantes sur le terrain des approches rapprochées. L'observatoire instantané expérimenté en 1890 se compose d'un mât d'une hauteur totale de 17 mètres, formé de deux fortes perches. La plus faible CD qui porte à son sommet l'appareil photographique, peut être amenée à la partie supérieure de la perche AB au moyen d'une corde de tirage qui passe dans une poulie de manœuvre. Lorsqu'on veut faire une observation, les deux perches sont dressées juxtaposées, puis on élève la perche CD et au moment où elle arrive au sommet de sa course, on déclenche au moyen d'un mécanisme pneumatique l'obturateur instantané de l'appareil photographique. Immédiatement après, le mât est rabaisé. Avec un personnel exercé, le système ne reste exposé au feu de l'ennemi que quelques secondes ; l'observatoire peut donc être considéré comme tout à fait invulnérable. Cet appareil peut donner des résultats satisfaisants jusqu'à quelques centaines de mètres. Au cours de l'année 1891, nous avons cherché à adapter aux observatoires instantanés des appareils photographiques à grande portée ; les expériences ne sont pas encore assez concluantes pour que nous puissions en rendre compte maintenant. ²

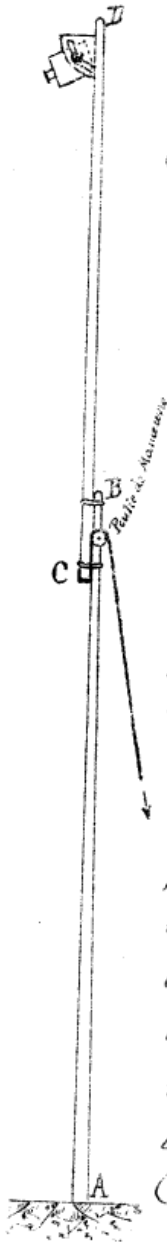


Fig. 2.

Photographie en ballon

En ce qui concerne les observations photographiques en ballon, les appareils de 25 à 40 centimètres de foyer au maximum sont, à notre connaissance les seuls qui aient été employés, avant les expériences faites récemment à l'École de Grenoble.

(1) On appelle petites distances, les distances inférieures à 2000 mètres.

(2) On trouvera au chapitre II quelques renseignements sur ces expériences, ci-dessus.

Dans une ascension exécutée le 19 Juin 1885, Monsieur Gaston Cissandier s'est servi d'un appareil de 0^m36 de foyer avec lequel il a photographié des points situés au-dessous de l'aérostat, à des distances verticales de 300 à 1000 mètres. Le 18 juillet de la même année, les capitaines Renard et Gerget, obtenaient, dans des conditions analogues, des épreuves embrassant un champ étendu.

En 1886, à l'occasion des manœuvres du 5^m corps, monsieur le Commandant Tribourg, a pris d'une altitude de 1200^m et à une distance horizontale de 2000 mètres environ, une bonne épreuve panoramique de la ville de Sens. L'objectif était un Dallmeyer de 0^m33 de distance focale. Un compte rendu détaillé des expériences précédentes a été publié par M. Gaston Cissandier, en 1888, dans la revue aéronautique.

Pour compléter l'histoire de la photographie aérienne, il convient de rappeler que divers essais ont été faits avec des cerfs volants ou des ballons non montés. La photographie en cerfs-volants emploie des appareils très légers, de faible portée dont le pointage dans une direction déterminée ne peut être assuré, elle ne présente par conséquent que des applications très restreintes au point de vue militaire. Il n'en est pas de même à notre avis de la photographie en ballon ^{non} monté. Jusqu'à présent on s'est borné à faire élever par les ballons non montés des appareils légers, de faible portée. Ces appareils sont excellents pour faire des observations rapprochées, à des altitudes peu élevées et peuvent remplacer nos observations instantanées loeuses, mais ils ne rendront de réels services à la guerre qu'autant qu'ils pourront faire des observations à distance où le ballon peut être regardé comme en sécurité.

La même critique s'applique à toutes les expériences de photographie aérienne exécutées en ballon monté dont nous avons parlé plus haut. Un ballon captif doit rester à quatre ou cinq kilomètres des positions ennemies pour être à peu près à l'abri des projectiles. C'est à cette distance qu'il faut faire les observations, et les instruments employés doivent être construits en conséquence. Nous spécifierons les conditions qu'ils doivent remplir dans le chapitre relatif aux appareils à grande portée.

Les appareils à court foyer ou à faible portée embrassent

généralement un champ assez étendu. Il existe une catégorie spéciale d'appareils, dits panoramiques, qui permettent de prendre en une seule opération un tour complet ou un demi-tour d'horizon.

Le cylindrographe du commandant Moessard, l'un des plus perfectionnés des appareils de ce genre, donne des résultats absolument remarquables, et sera employé utilement dans les opérations de levés et dans les reconnaissances militaires, pour faire les vues d'ensemble. Il ne saurait remplacer les appareils à longue portée, dont nous allons parler, qui ont pour caractère propre, de donner une image aussi nette que possible, d'un objet d'un champ limité, situé à grande distance. (plus de 4 kilomètres).

Chapitre 2.

Appareils photographiques à long foyer.

Definitions

Nous avons cherché à classer les appareils photographiques d'après leur portée efficace. Cette portée efficace, pour des objectifs de même système, construits avec le même degré de perfection, est proportionnelle au foyer de l'objectif. Où sera la ligne de démarcation entre les appareils à grande et à faible portée? Il est assez difficile de le préciser et tout au moins ne peut-on le faire qu'au moyen d'une convention. Établissons d'abord nettement les conditions que doit remplir l'appareil à grande portée.

- 1°. Comme la jumelle, il est destiné à observer un point déterminé de dimensions restreintes, un fort, une localité, une troupe ennemie.
- 2°. L'observation doit être faite à une distance où l'observateur trouve une sécurité suffisante, cinq kilomètres environ.
- 3°. La dimension et la netteté de l'épreuve photographique doivent être suffisantes pour permettre d'apprécier, tout au moins à la loupe, les détails les plus intéressants.

Il faut que l'on puisse, par exemple :

compter le nombre des pièces en batterie dans un fort, voir si un ouvrage ou une localité est occupée, apprécier l'importance d'une troupe ennemie.

Pour préciser davantage cette notion de netteté dans les observations, nous dirons que l'œil doit pouvoir distinguer à la loupe sur l'épreuve, l'image des objets d'une dimension de 1^m.00 et au-dessus, et pour cela il faut que le mètre y soit représenté par un dixième de millimètres au moins.

En admettant que l'observation doive être faite à une distance de 5000 mètres, la valeur de la distance focale f se déduira de la proportion suivante :

$$\frac{f}{5000} = \frac{0.0001}{1.00} \text{ d'où } f = \frac{0.0001 \times 5000}{1.00} = 0.50$$

Fig. 3.



La valeur de cinquante centimètres qui se déduit de l'équation précédente est la plus faible qui puisse être adoptée pour la distance focale d'un appareil destiné aux usages que nous avons spécifiés plus haut. Un fort de 500 mètres de long sera représenté sur l'épreuve par une longueur de 5 centimètres.

Les observations gagneront beaucoup en précision, si l'on fait usage d'un appareil de plus grande distance focale, ainsi n'avons nous pas hésité à adopter pour les essais exécutés en 1891 à l'École de Genolle, un appareil de un mètre de foyer avec lequel le mètre vu à 5000 mètres est représenté sur l'épreuve par 0.0002.

Rapidité d'un objectif - Remarquons de suite que le temps de pose croît proportionnellement au carré de la distance focale et que, si l'on veut conserver la faculté d'opérer instantanément, ce qui est absolument indispensable en ballon, il est nécessaire d'augmenter le diamètre de l'objectif dans la même proportion que la distance focale. Toutes choses égales et ailleurs la rapidité d'un objectif se mesure par le rapport $\frac{D}{f}$, D représentant le diamètre de l'objectif ou plus exactement du diaphragme le plus grand qui permet d'obtenir une netteté convenable du champ. On dira que l'objectif est diaphragmé au $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{20}$ suivant la valeur que prend ce rapport.

L'objectif que nous avons employé, a 6 centimètres de diamètre et un mètre de distance focale, le rapport $\frac{D}{f}$ est donc $\frac{6}{100} = \frac{1}{16.6}$ lorsqu'on opère à toute ouverture; dans ces conditions, nous avons obtenu en ballon de bonnes épreuves instantanées. Par de très beaux temps, nous pourrions même conserver l'instantanéité en employant un diaphragme de 4 centimètres. Le rapport $\frac{4}{100} = \frac{1}{25}$ peut à la rigueur être regardé comme suffisant pour assurer l'instantanéité.

Le tableau ci-dessous permettra de comparer les objectifs à long foyer qui pourraient être employés suivant les cas, pour les observations à grande distance.

Distance focale	Diamètre	Indice de rapidité	Pouvoir amplifiant	Dimension de 1 ^m vu à 5000 m
0 ^m .50	0 ^m .05	$\frac{1}{16.6}$	3	0.0001
1.00	0.06	$\frac{1}{15.6}$	4	0.0002
1.50	0.09	$\frac{1}{10.6}$	6	0.0003
2.00	0.12	$\frac{1}{8.3}$	8	0.0004
2.50	0.15	$\frac{1}{6.7}$	10	0.0005

On a supposé dans ce tableau que l'on ferait exclusivement usage d'objectifs simples achromatiques. Moins chers et moins lourds que les objectifs doubles, ils l'emportent sur eux pour le brillant et la finesse des images, et nous semblent devoir leur être préférés pour des appareils où l'on ne recherche ni l'étendue du champ, ni la profondeur du foyer. L'objectif double il est vrai, grâce à la compensation des aberrations que réalise l'accouplement des lentilles permet, à distance focale égale, l'emploi d'une plus grande ouverture, et donne par conséquent plus de rapidité; à ce titre son emploi pourrait être justifié lorsqu'une grande rapidité est indispensable. (Pour opérer en ballon par les temps sombres par exemple). Dans tous les cas pour rester dans les limites de poids acceptable, il conviendrait d'en limiter l'emploi à des appareils de 0.60 à 0.80 de distance focale.

Il peut paraître superflu de comprendre dans le tableau précédent des objectifs d'une distance focale supérieure à un mètre, qui semblent en raison de leur grande longueur peu susceptibles d'utilisation pratique. Nous avons cru devoir le faire afin de définir d'une façon un peu plus complète les conditions que doivent remplir les appareils de photographie à longue portée. Ces appareils se rapprochent beaucoup des lunettes astronomiques et pour eux comme pour elles, rien ne saurait remplacer pour la perfection des images obtenues, une grande distance focale de l'objectif uni à une ouverture convenable.

La dimension de l'image est proportionnelle à la distance focale de l'objectif, il en résulte que des objets éloignés, qui ne seraient pas susceptibles de laisser une trace appréciable sur un cliché obtenu avec un objectif de court foyer, seront rendus visibles par l'emploi d'une grande distance focale.

En traitant plus loin des longues-mues photographiques, nous verrons que l'on peut par l'emploi combiné d'un objectif et d'un oculaire suppléer, dans une certaine mesure au défaut de longueur focale en amplifiant l'image de l'objectif. Mais ce grossissement ne fait qu'augmenter les dimensions de l'image, il ne saurait lui donner les qualités qu'elle n'a pas, et dont quelques unes dépendent essentiellement de la distance focale et de l'ouverture de l'objectif. En particulier il n'accroît pas le pouvoir optique de l'objectif. Lorsqu'on observe dans une lunette deux points lumineux très rapprochés l'un de l'autre, on constate que ces points cessent de paraître distincts lorsque l'angle des deux visées est inférieur à une limite qui dépend de l'instrument employé à l'observation.

Monsieur Foucault a constaté qu'un objectif astronomique de 13 centimètres de diamètre ne permet pas de séparer deux points vus sous un angle inférieur à $1''$.

Cet angle limite au-dessous duquel les images ne sont plus séparées sert de mesure à une propriété spéciale de l'objectif à laquelle on a donné le nom de pouvoir optique ou pouvoir de pénétration, elle est tout à fait analogue à ce qui constitue pour la vue l'acuité visuelle.

Le pouvoir optique d'un objectif est proportionnel à son diamètre. Il y a lieu de penser que cette loi s'applique également aux observations photographiques, et il convient d'en tenir compte dans le choix des objectifs à longue portée. Remarquons d'ailleurs que si l'on s'en tient aux chiffres du tableau établi précédemment, la distance focale des objectifs proposés étant sensiblement proportionnelle au diamètre, ces objectifs auront un pouvoir optique d'autant plus grand que cette distance sera elle-même plus grande, et, par conséquent, l'emploi d'un objectif à long foyer s'imposera toutes les fois que l'on voudra obtenir distinctement sur l'éprouve les images de deux points très rapprochés l'un de l'autre, placés à une grande distance de l'appareil.

La netteté des images est une propriété mal définie, c'est en quelque sorte, la résultante de la réduction au minimum des aberrations de toute nature, de l'exactitude de la mise au point et de la valeur du pouvoir optique. Dans la photographie ordinaire, on cherche d'habitude à obtenir la netteté au moyen des petits diaphragmes, mais leur emploi, en réduisant le pouvoir optique peut n'être pas sans inconvénient pour l'obtention des détails des objets éloignés.

Une étude minutieuse de l'objectif peut seule indiquer suivant les cas, l'ouverture du diaphragme à employer.

Champ, dimension de la chambre. Dans les appareils photographiques construits pour les usages ordinaires et pour le paysage en particulier, le champ embrassé est proportionnel au foyer et rarement inférieur à la moitié de la distance focale, les chambres photographiques sont construites en conséquence, celle qui correspondrait à un objectif de 1^{er} 00 de foyer aurait au moins cinquante centimètres de côté, serait très encombrante, d'un transport et d'un maniement difficiles, c'est très certainement cette corrélation qui existe d'ordinaire entre les objectifs et les chambres photographiques qui a conduit à regarder comme peu pratiques dans les applications militaires les objectifs à long foyer. Si l'on précise, comme nous avons essayé de le faire, le but que doit remplir l'appareil à longue portée, on se rendra compte aisément que la netteté et la visibilité des objectifs éloignés doivent passer en première ligne et que la question de champ n'est que tout à fait secondaire et doit être subordonnée aux limites de poids, et de volume compatibles avec les conditions d'emploi des appareils. Rien n'empêche d'adapter suivant les cas à un objectif de 1^{er} 00 des chambres de $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, ou même $\frac{1}{8}$. La chambre $\frac{1}{8}$ dont nous avons fait usage, dans l'appareil provisoire qui a servi à nos premiers essais est légère, elle est d'un maniement facile même en ballon; elle constitue un bon appareil de reconnaissance, applicable aussi bien aux observations aérostiques qu'aux reconnaissances des ouvrages d'une place. Dans des observatoires fixes établis dans les places, on pourrait augmenter en même temps la longueur de la chambre et son calibre. L'augmentation de la longueur focale de l'objectif serait particulièrement utile pour l'enregistrement photographique des signaux de la télégraphie optique.

Grossissement, — L'expression grossissement est employée dans les traités d'optique ou de photographie dans des acceptions très diverses; il est indispensable pour la clarté de notre exposition d'entrer à ce sujet dans quelques développements.

Souvent, particulièrement pour les appareils photographiques qui donnent des images réelles, on appelle grossissement le rapport de la grandeur de l'image à la grandeur de l'objet et on le définit par la formule :

$$g = \frac{I}{O}$$

I et O étant les grandeurs réelles de l'image et de l'objet.

Ainsi définie, l'expression grossissement présente un sens bien net. Sans une reproduction de cartes ou de dessins par exemple, si l'image photographique obtenue est plus grande que l'objet; on dit que le grossissement ou l'amplification est de 1.3.4 ... etc... suivant la valeur du rapport $\frac{I}{O}$.

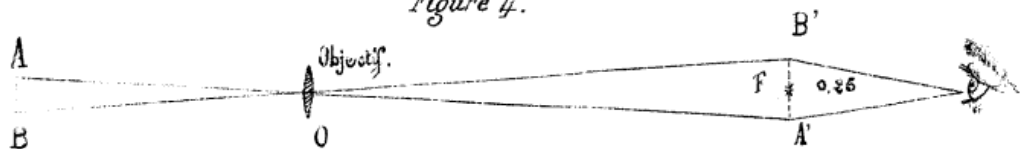
Si l'image photographique est plus petite que le modèle, au lieu d'un grossissement on a une réduction; l'expression algébrique en est la même que celle du grossissement, mais devient plus petite que l'unité.

Le grossissement ainsi défini ne caractérise pas l'instrument, car, avec le même appareil, on peut suivant la distance de l'objet obtenir des amplifications ou des réductions.

Quand au contraire, on dit qu'un instrument d'optique une lunette, une jumelle a un grossissement de 50, de 25, on énonce une propriété caractéristique de l'instrument laquelle ne saurait par conséquent être représentée par l'expression variable $\frac{I}{O}$. On définit le grossissement d'un instrument d'optique le rapport du diamètre apparent de l'image au diamètre apparent de l'objet; l'objet étant supposé dans les conditions de la contemplation directe.

Prenez le plus simple des instruments d'optique, une lentille convergente, l'objectif de lunette ou d'appareil photographique et appliquons lui cette définition.

Figure 4.



Un objet AB, de dimension O donne un foyer conjugué de la lentille une image A'B' de dimension I, en appelant D la distance de l'objet à la lentille, le diamètre apparent de l'objet a pour expression $\frac{O}{D}$, d'autre part le diamètre apparent de l'image s'écrit en supposant que l'œil se place pour voir cette image à la distance de la vue distincte Δ, et a pour expression $\frac{I}{\Delta}$ de sorte que le grossissement G a pour valeur:

$$(2) \quad G = \frac{\frac{I}{\Delta}}{\frac{O}{D}} = \frac{I}{O} \times \frac{D}{\Delta}$$

C'est la formule générale du grossissement de l'instrument.

Le rapport $\frac{I}{O}$ rapport de l'image à l'objet n'est autre chose que ce que nous avons appelé tout à l'heure le grossissement de l'image g, la formule peut donc s'écrire:

$$(3) \quad G = g \frac{D}{\Delta}$$

La valeur de la vision distincte n'a rien d'absolu, nous adopterons 0.25 centimètres.

Il n'est pas sans inconvénient de voir la même expression de grossissement s'appliquer à deux quantités distinctes que nous avons représenté par G et g, et il aurait été utile pour éviter toute ambiguïté d'insister pour G l'expression de pouvoir amplifiant qui a été proposée quelquefois.

Si l'on suppose l'objet situé à une très grande distance, son image se forme au foyer principal de l'objectif à une distance f en arrière du centre optique. Dans ce cas on a:

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{D}$$

et la formule (2) devient:

$$(3) \quad G = \frac{f}{D} \times \frac{D}{\Delta} = \frac{f}{\Delta} = \frac{f}{0.25}$$

C'est sous cette forme très simple que se présente l'expression du pouvoir amplifiant d'un objectif de lunette ou d'un objectif photographique, ce pouvoir amplifiant comme celui des lunettes ou des jumelles est pour les objets très éloignés indépendant de la distance de l'objet.

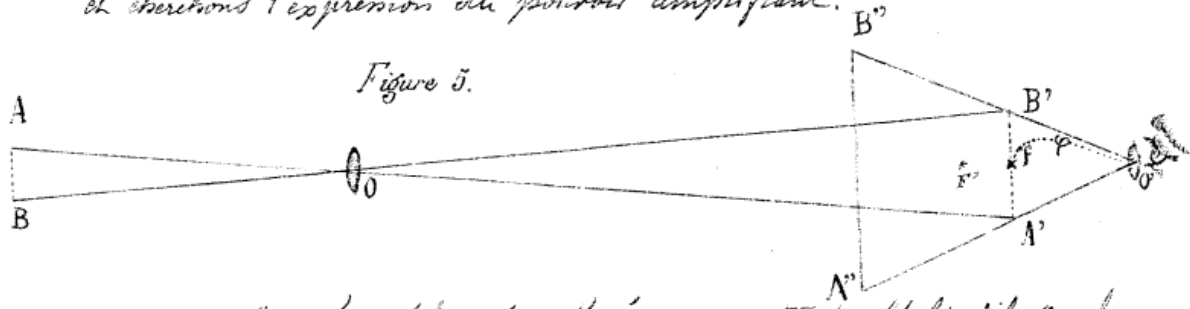
Un objectif de 0.25 de foyer aura un pouvoir amplifiant de 1

— 2° — 0.50 ————— 2° ————— 2

— 4° — 1.00 ————— 4° ————— 4

Considérons maintenant un appareil amplifiant composé

d'un objectif et d'un oculaire, la lunette astronomique par exemple et cherchons l'expression du pouvoir amplifiant.



Un objet éloigné, placé en avant de l'objectif O , forme en son foyer principal F une image $B'A'$. L'œil placé contre l'oculaire O' le met au point, c'est-à-dire qu'il le déplace de façon à ce que l'image virtuelle de l'image $A'B'$ se forme à une distance de l'oculaire égale à la distance de la vision distincte Δ .

Le pouvoir amplifiant est égal au rapport du diamètre apparent de l'image à celui de l'objet, si l'on néglige la distance de l'œil à l'oculaire, ce rapport est celui des angles $A'O'B$ et $A'O'B'$, et par conséquent celui des angles $A'O'B'$, $A'O'B$ c'est-à-dire le rapport des angles sous lesquels l'image réelle $A'B'$ est vue du centre de l'oculaire et du centre de l'objectif. Si ces angles sont peu considérables, leur rapport est seulement égal au rapport des distances $O'F'$, $O'F$ c'est-à-dire à :

$$\frac{O'F'}{O'F} = \frac{f}{\phi}$$

f représentant la longueur focale principale de l'objectif, ϕ la distance qui doit séparer l'oculaire et l'image réelle pour que l'image virtuelle se forme à la distance de la vue distincte. Cette distance ϕ est toujours plus petite que la distance focale f de l'oculaire.

L'expression $\frac{f}{\phi}$ correspondrait au cas d'un œil infiniment presbyte, c'est-à-dire accommodé pour voir nettement à l'infini; elle sert à caractériser le pouvoir amplifiant d'une lunette indépendamment de l'observateur et reçoit ordinairement le nom de grossissement de l'instrument.

Description de l'appareil à long foyer expérimenté et examen des résultats obtenus.

Description de — Nous avons fait ressortir plus haut l'avantage que présente l'appareil au point de vue de la perfection des images. L'emploi des longs foyers, l'appareil que nous avons expérimenté comprend un objectif simple d'un mètre de foyer et de 6 centimètres d'ouverture adaptée sur une chambre fixe en bois du calibre $\frac{1}{8}$, l'objectif est à tirage

ce qui permet d'effectuer la mise au point et de faire varier la distance du foyer conjugué d'un objet éloigné, dans les limites très- restreintes qui correspondent à des distances qui varient de 100 à 1000 mètres.

L'objectif de 1.00 de foyer a un pouvoir amplifiant de 4, son indice de rapidité est de $\frac{1}{16.6}$, suffisant pour faire des instantanés.

L'angle de champ utilisé par la chambre $13/8$ est très-faible ce qui assure la netteté complète dans l'étendue de l'image.

Le tableau ci-dessous indique les longueurs qui sont comprises dans le champ aux distances de 1000, 2000, 3000 10.000 mètres.

Distances	1000 ^m	2000 ^m	3000 ^m	4000 ^m	5000 ^m	6000 ^m	7000 ^m	8000 ^m	9000 ^m	10.000 ^m
Longueurs comprises dans le champ	180 ^m	360 ^m	540 ^m	720 ^m	900 ^m	1080 ^m	1260 ^m	1440 ^m	1520 ^m	1800 ^m

On voit qu'à une distance de 5000 mètres on pourra embrasser sur un cliché, une longueur de 900^m parfaitement convenable lorsqu'il s'agit de prendre la vue d'un fort et de ses abords.

L'appareil essayé est essentiellement un appareil d'étude, moyennant quelques légères modifications, il peut s'approprier à divers usages et nous l'avons utilisé.

- 1° comme appareil de reconnaissance à long foyer sur pied de campagne.
- 2° ——— d° ——— pour les observations en ballon.
- 3° ——— d° ——— pour les observations photographiques aériens.
- 4° ——— système objectif et corps de lunette pour les longues-vues photographiques.

Appareil de reconnaissance à long foyer. — La chambre montée sur un pied de planchette

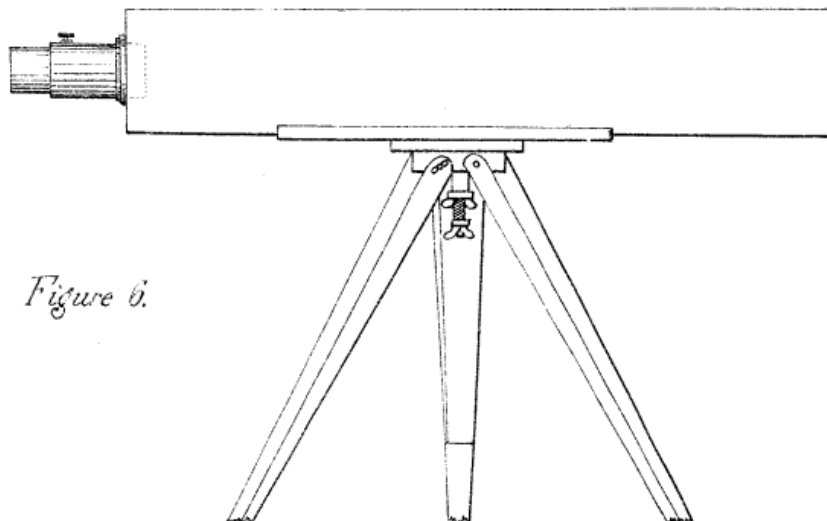


Figure 6.

constitue un appareil qui malgré sa grande longueur est assez léger pour rester portable.

Avec des poses très courtes et mêmes instantanées, on obtient jusqu'à des distances de 7 à 8 Kilomètres des épreuves d'une netteté absolue. La photographie n° 1 St. Synard prise de la caserne de l'Alma à 5^k.000 est remarquable sous ce rapport, l'examen à la loupe permet de voir les pierres en batterie et de distinguer les détails des maçonneries.

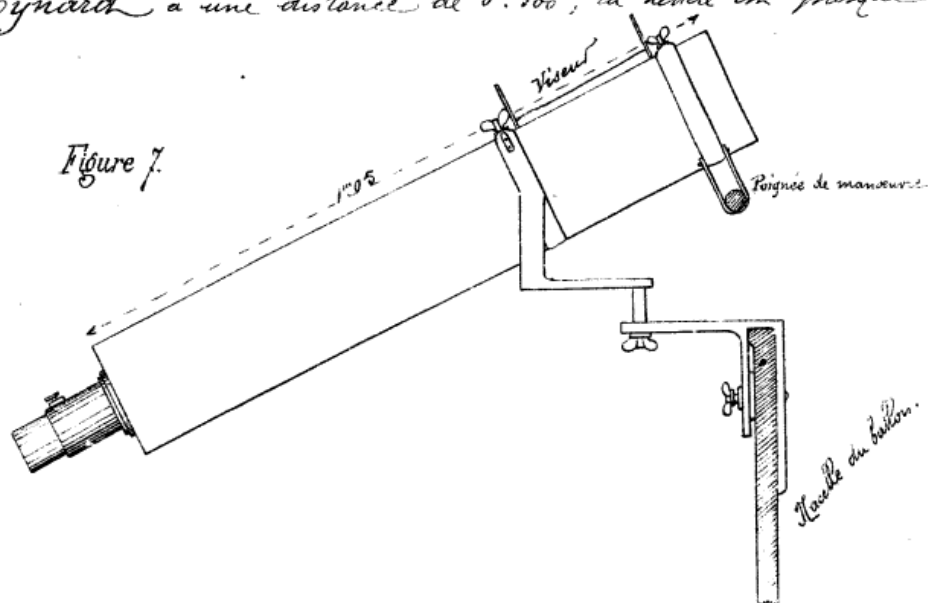
La connaissance exacte de la distance et de la longueur focale de l'objectif permettrait en outre d'apprécier les principales dimensions du fort. La photographie n° 3 est obtenue au moyen d'un agrandissement du cliché n° 2, le cliché ayant été agrandi 6 fois et présentant lui-même un grossissement de 4, le grossissement total de l'épreuve est de $6 \times 4 = 24$.

Il est intéressant de la comparer comme netteté aux épreuves obtenues directement avec la longue-vue photographique (photop. n° 18)

En résumé l'appareil de 1^m.00 de foyer, constitue un excellent appareil de reconnaissance qui rendrait de réels services dans un siège, surtout s'il existait autour de la place quelques positions dominantes permettant de prendre des vues plongeantes.

Appareil pour les — Le même appareil, monté sur fourchette à pivot s'adapte observations en ballon à la nacelle du ballon (fig. 7) et permet de prendre des photographies instantanées dans toutes les directions.

Les photographies n° 4, 5, 6 ont été obtenues en ballon captif au mois de septembre 1891. La photographie n° 4 représente le fort St. Synard à une distance de 6^k.500, la netteté est presque



comparable à celle que nous avons obtenue pour la photographie du même fort vu de la caserne de l'Alma. Les photographies N°s 5 et 6 sont également prises en ballon captif, l'une représente le pont métallique du Grae à 5^h00, l'autre la plaine du Grésivaudan, à des distances variables de 5 à 15 kilomètres, et 6 kilomètres on y distingue nettement à la loupe la nature des cultures.

La figure ci-dessus montre la disposition adoptée pour adapter l'appareil à long foyer à la nacelle du ballon. L'appareil se trouvant presque tout entier en dehors de la nacelle, n'est nullement gênant pour les aéronautes; la fourchette sur laquelle il pivote, se place sur un point quelconque des côtés de la nacelle. Nous avons pu en quelques minutes obtenir quatre ou cinq clichés.

Nous nous sommes astreints à ne prendre en ballon que des vues éloignées qui seules présentent un intérêt pratique pour les observations en ballon captif.

C'est la première fois, pensons nous, que des vues aussi nettes ont été obtenues en ballon à de pareilles distances: on pourra en faisant usage des longues-vues photographiques avoir des grossissements plus forts, mais on perdra certainement en netteté et le champ embrassé sera considérablement diminué. Tout récemment, Monsieur le Commandant Feibourg vient de faire construire pour l'établissement d'aérostation de Chalais, un appareil, du genre de ceux que nous désignons sous le nom de longues-vues photographiques, qui donne un grossissement de 7 ou 8, mais qui ne couvre qu'une plaque 8 sur 8. Il n'a pas encore été essayé en ballon, il sera intéressant de comparer les résultats qui seront obtenus avec ceux que nous présentons aujourd'hui.

Appareil pour les — Les expériences encore très incomplètes faites sur les
observations photographiques aériennes. observatoires photographiques aériens à grande portée ont été relatées à l'annexe N° 7 du compte rendu des expériences exécutées à Grenoble en 1891, nous n'y insisterons pas, nous contentant de noter qu'on a pu prendre des vues plongeantes instantanées au sommet d'un mât de 27 mètres au moyen de notre appareil de 1^{er} de foyer.

L'appareil est fixé à l'extrémité du mât par l'intermédiaire d'une fourchette pivotante de manière à pouvoir être dirigé sur un point quelconque.

La figure ci-contre indique la disposition adoptée.

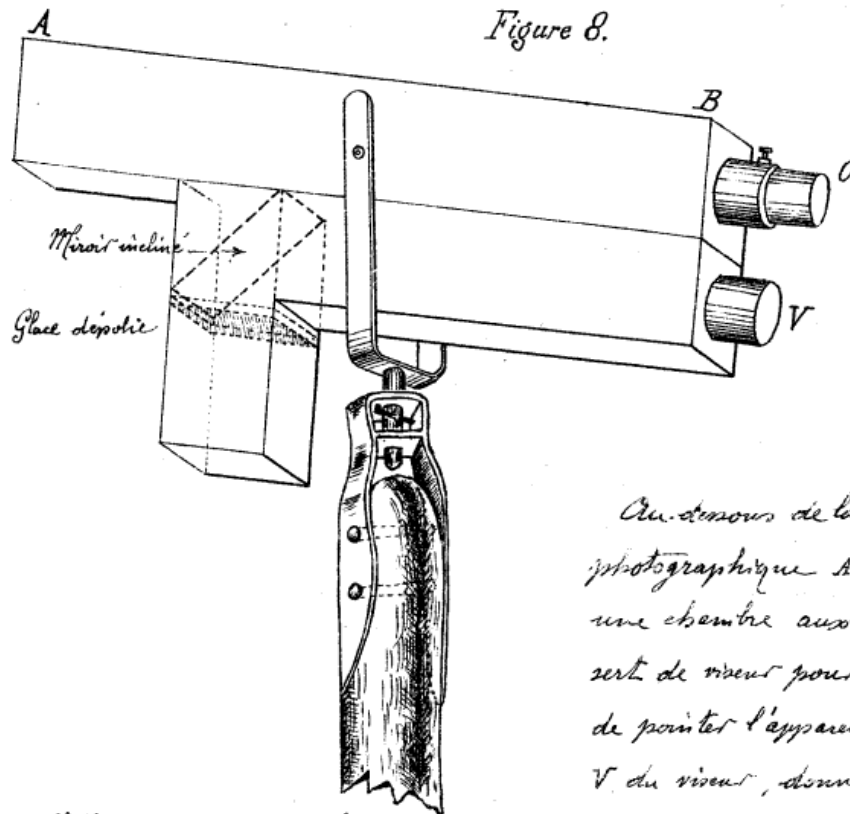


Figure 8.

Au-dessous de la chambre photographique ABO est fixé une chambre auxiliaire qui sert de viseur pour permettre de pointer l'appareil. L'objectif V du viseur, donne une image

semblable à celle de l'objectif O, cette image reçue sur un miroir à 45° vient se former sur une glace dépolie et peut être examinée au moyen d'une jumelle par un observateur placé au pied de l'observatoire.

4^e Système objectif et corps de lunette pour les longues-vues photographiques

L'emploi de l'appareil de 1^{er} ordre de foyer en combinaison avec des oculaires sera étudié au chapitre suivant.

Chapitre 3.

Longues-vues photographiques.

Historique,
Photographie
astronomique.

En augmentant la longueur focale d'un appareil photographique, on augmente dans la même rapport la grandeur de l'image des objets éloignés et l'on peut dire qu'un appareil de 1^{er} ordre de foyer et qui en un appareil de 1^{er} ordre grossit 8 fois. Avec un télescope de 13 mètres de long portant à son foyer une plaque photographique les astronomes anglais obtenaient dès 1854 des épreuves de la lune grossies 8^e fois. Mais ces longueurs exceptionnelles,

admissibles dans des observatoires permanents ne sauraient être considérées comme pratiques pour des instruments d'observations destinés aux usages militaires. En admettant au grand maximum pour ces derniers l'appareil de 2^m.00 de foyer, on se trouve limité à un grossissement de 8. Ne serait-il pas possible de dépasser cette valeur, avec une longueur d'instrument moindre en recourant à des combinaisons de lentilles analogues à celles dont on fait usage pour les lunettes. C'est en astronomie que la question s'est posée pour la première fois. A l'origine même du daguerriotype les astronomes cherchèrent à appliquer la photographie à l'étude des corps célestes, ils se contentaient de photographier les images formées au foyer de l'objectif des lunettes.

C'est le P. P. Secchi qui photographia le premier l'image résultant de la combinaison de l'objectif et de l'oculaire. En 1851 pour observer l'éclipse de soleil, il appliqua une chambre obscure à son équatorial de Cauchoix, en grandissant l'image du soleil par l'oculaire jusqu'à lui donner 75 millimètres de diamètre.

En 1860 M. Warren de la Rue obtint d'excellentes épreuves de l'éclipse du 18 Juillet, au moyen du photohéliographe de l'observatoire de Req. Cet instrument a un objectif achromatique pour les rayons chimiques de 86^{mm}/₂ d'ouverture et de 1^m.52 de distance focale, les images sont agrandies par un oculaire d' Huygens jusqu'à 97^{mm}/₂ de diamètre.

En 1877-1878 Monsieur Janssen a obtenu de magnifiques photographies du soleil avec un dispositif analogue.

Mais c'est surtout à Messieurs Paul et Prosper Henry astronomes à l'observatoire de Paris que sont dus les perfectionnements les plus importants apportés à la photographie astronomique. Le dernier appareil qu'ils ont fait construire en 1885, pour l'établissement de la carte photographique du ciel, consiste dans un tube métallique à section rectangulaire, contenant simultanément et parallèlement la lunette photographique de 0^m.33 d'ouverture et 5^m.43 de distance focale et la lunette chercheur de 0^m.24 d'ouverture et de 5^m.10 de distance focale. La lunette photographique a un champ net de 3 degrés. Les photographies peuvent être obtenues directement au foyer de l'objectif ou être amplifiées au moyen d'un oculaire et d'une chambre additionnelle, c'est par ce dernier procédé qu'ont été obtenues les magnifiques photographies lunaires que tout le monde a pu admirer.

Deuxième essai de
longues-vues
photographiques

— Ainsi, depuis 1850, les astronomes photographiaient les images de la lunette astronomique munie de son oculaire. Il ne semble pas qu'aucune application de ce procédé ait été faite jusqu'à ces dernières années à la lunette terrestre pour l'observation des objets éloignés. Le peu de rapidité des anciennes plaques photographiques et d'autre part l'impossibilité de prolonger les poses au collodion humide au-delà d'une certaine limite ont dû faire regarder pendant longtemps comme impossible de reproduire photographiquement les images des objets terrestres, tels qu'on les voit dans une longue-vue de fort grossissement.

En mois de septembre 1886, le journal « La Nature » fait connaître que M. Facombe a obtenu des images très amplifiées des objets éloignés en combinant une longue-vue ordinaire avec un objectif photographique et le 12 Novembre dans le même journal, l'inventeur explique son procédé comme il suit : « En plaçant une longue-vue en avant de la chambre photographique munie de son objectif, on obtient à l'extrémité de la chambre une image amplifiée ».

« La grandeur de l'image dépend du tirage de la chambre ; plus le tirage est long, plus l'épreuve est grande mais moins elle est nette. La mise au point se fait à l'aide du tuyau oculaire. Il ne me semble pas, dit M. Facombe en terminant, que la présence de l'objectif photographique soit indispensable. J'ai obtenu des épreuves sans objectif mais très floues, le manque de netteté me semble dû dans ce cas au défaut d'achromatisme ».

Les spécimens de photographies étaient :

Le Crocadero et les Invalides pris de la Cour-St-Jacques.

Dans le même numéro du journal « La Nature » Monsieur Emile Mathieu signale qu'il a obtenu de la même manière des images d'objets situés à 1200 mètres, la lunette employée a 0.60 de développement, les clichés ont 6 sur 6, la pose est de 90 secondes.

Les indications fournies ci-dessus par Messieurs Facombe et Mathieu, ne renferment aucune idée théorique sur le principe de la méthode employée, elles ne précisent nullement les distances qui doivent séparer la lunette de l'objectif, le rôle de cet objectif ne semble pas non plus avoir été apprécié d'une façon bien nette par les opérateurs. Monsieur Facombe dit d'ailleurs avec raison, qu'il n'est peut-être pas indispensable.

Monsieur le Commandant Fribourg, attaché au service

géographique s'est occupé depuis 1887 de l'étude des appareils amplifiants, appliqués à la photographie à grande distance. Sans un intéressant mémoire qu'il a adressé au Ministre cette même année et qu'il a bien voulu nous communiquer, il a fait ressortir l'utilité de ces appareils et a calculé quelles étaient les proportions à établir entre les distances focales de l'objectif et de l'oculaire du système, pour que la longueur de l'appareil fût minimum pour un grossissement donné. A la fin de l'année 1891, mettant ces idées en pratique, il a fait construire un appareil amplifiant à longue portée pour le service géostatique.

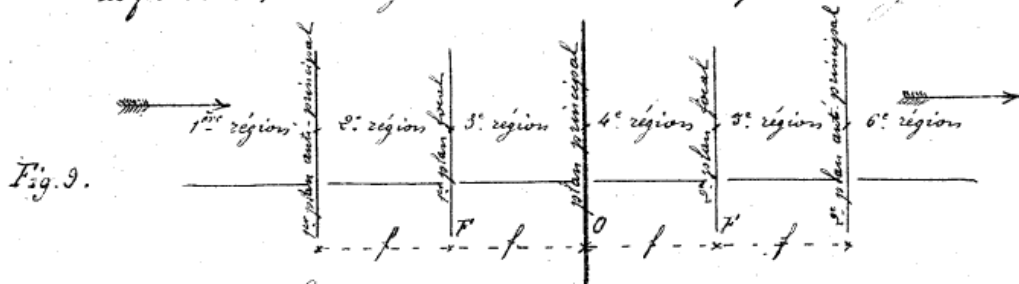
Aujourd'hui la question des appareils photographiques amplifiants à longue portée est tout à fait à l'ordre du jour et plusieurs opticiens Français et Etrangers s'en occupent avec activité. Monsieur Dallmeyer en Angleterre et le Docteur Miethe de Potsdam viennent l'un et l'autre de faire breveter un appareil photographique amplifiant. En France M. Jarrret opticien, construit sous le nom de télé objectif, une petite longue-vue photographique d'un modèle très portatif. —

Au cours d'une mission à la frontière Italienne, qui nous avait été confiée en 1890 par Monsieur le Gouverneur Militaire de Lyon, nous avons photographié les forts Italiens à des distances de 5 à 10 kilomètres. ^{C'est en arrivant que} Nous avons été amené à nous occuper de l'étude des longues-vues photographiques, après avoir pris connaissance des travaux du Commandant Fiebourg et être entré en relation avec Monsieur Henry qui ont bien voulu nous aider de leurs excellents conseils, nous avons poursuivi pendant l'année 1891, l'essai de différentes combinaisons optiques, amplifiantes. Quelques-uns de nos résultats diffèrent notablement au point de vue de la distance des observations et à celui du grossissement des résultats déjà obtenus, nous essaierons en rendant compte des expériences faites d'en dégager quelques conclusions et de présenter quelques considérations théoriques sur un sujet peu connu.

Nous réunissons sous le nom général de lignes - vues photographiques tous les appareils amplifiants, qui, par des combinaisons de lentilles permettent d'obtenir l'image des objets éloignés, avec un tirage moindre que la distance focale de l'objectif qui donnerait une image d'égale grandeur de ces objets.

Principe des longues-puces — Avant d'entamer la discussion des propriétés des photographiques systèmes optiques amplifiants, nous rappellerons

quelques uns des résultats les plus importants à retenir, de la discussion de la formation des images dans les lentilles simples convergentes et divergentes.



Étant donné le centre optique O d'une lentille, ses deux foyers principaux FF' , il est commode pour faciliter la discussion de considérer de part et d'autre du plan principal passant par le point O , trois régions symétriques, qui sont limitées comme l'indique la figure 9.

La lumière est supposée venir de la gauche.

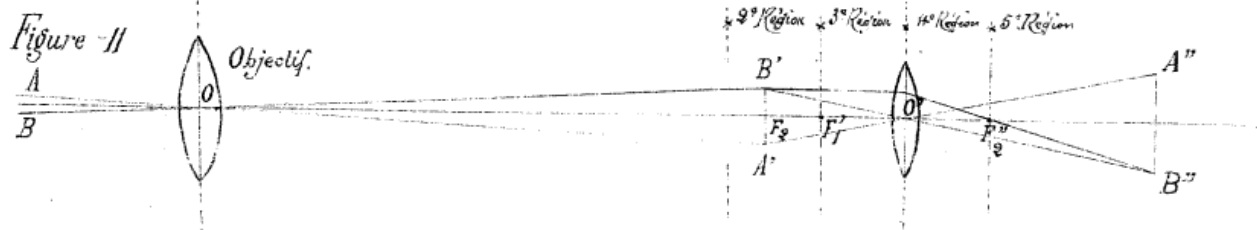
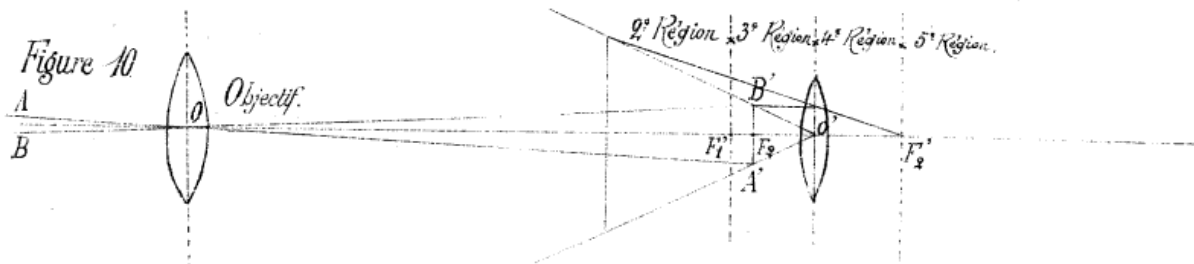
Le tableau ci-dessous dans lequel les chiffres indiquent les numéros des régions, résume la discussion de la formation des images.

Lentilles convergentes			Lentilles divergentes		
Objet		Image	Objet		Image
réel	1	5 réelle, renversée, réduite.	réel	1	3 virtuelle, droite, réduite.
	2	6 réelle, renversée, <u>amplifiée</u> .		2	3 virtuelle, droite, réduite.
	3	1.2.3 virtuelle, droite, <u>amplifiée</u> .		3	3 virtuelle, droite, réduite.
virtuel	4	4 réelle, droite, réduite.	virtuel	4	4.5.6 réelle, droite, <u>amplifiée</u> .
	5	4 réelle, droite, réduite.		5	1 virtuelle, renversée, <u>amplifiée</u> .
	6	4 réelle, droite, réduite.		6	2 virtuelle, renversée, réduite.

Pour appliquer les résultats consignés dans ce tableau à l'étude des systèmes amplifiants, on remarquera que dans tous ceux de ces systèmes qui sont destinés à la contemplation des objets éloignés, l'image toujours très-petite donnée par la lentille (objectif) fait fonction d'objet pour la deuxième (oculaire) et doit se trouver dans une région telle que l'image donnée par l'oculaire soit amplifiée, ce qui correspond à l'une des 4 combinaisons soulignées dans le tableau ci-dessus; (dont 2 correspondent à un oculaire convergent, et 2 à un oculaire divergent.)

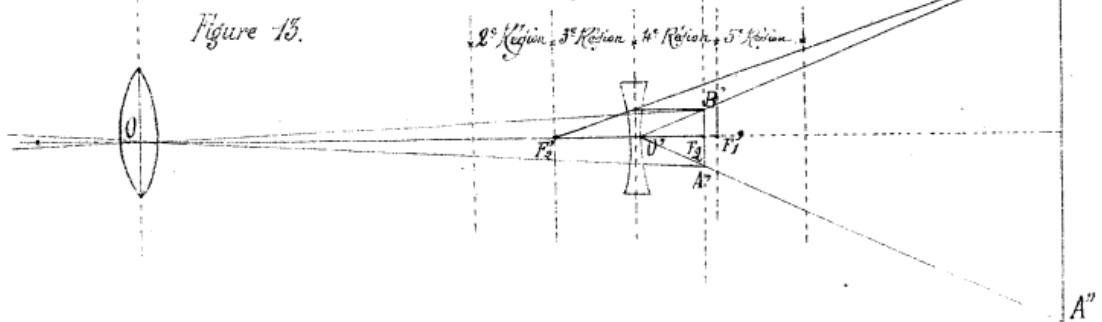
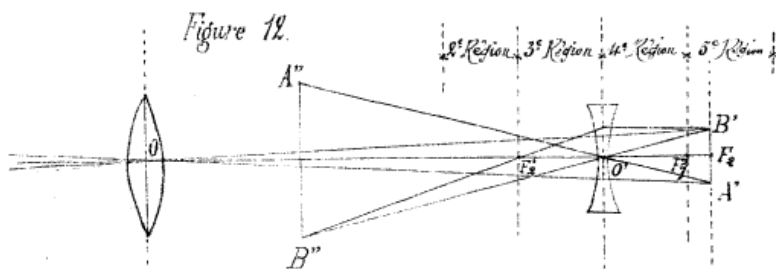
La 1^{re} combinaison (objet 3^e région - Image 1.2. ou 3^e région.) est employée dans les lunettes (astronomiques ou terrestres) fig. 10. Il est entendu pour cette figure et les suivantes que l'objet est la 1^{re} image AB' et que l'image est la 2^e image AB'' .

La 2^e (objet, 2^e région - Image 6) par un léger déplacement de l'oculaire de la lunette permet d'obtenir une image réelle et par conséquent susceptible d'être photographiée. C'est le principe de la lunette photographique, sur laquelle ont porté principalement nos essais. Voir fig. 11.



La 3^e combinaison (objet, 5^e région - Image, 1^{re} région) est celle de la lunette de Galilée - fig. 12.

La 4^e (objet, 4^e région - Image, 4.5.6^e région) permet d'obtenir avec une lunette de Galilée par un léger déplacement de l'oculaire, une image réelle, susceptible d'être photographiée.



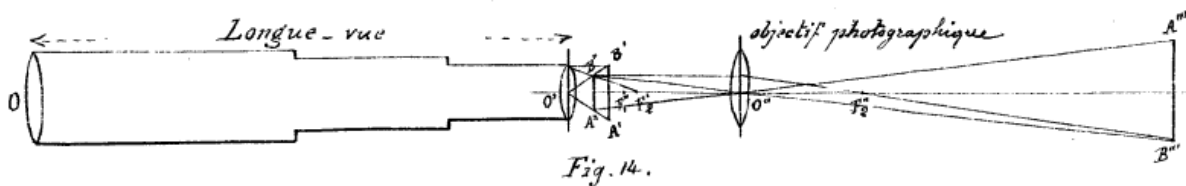
C'est le système qui a été choisi par Monsieur Gallemoy⁽¹⁾ et par le Docteur Miethe pour résoudre le problème de la longue-vue photographique. Autant qu'on peut en juger d'après les quelques renseignements donnés par les journaux photographiques.

(1) Voir à ce sujet la note de M^{re} E. Gallon dans le N^o du 25 Novembre 1891 du journal photographique.

Clini donc, théoriquement, si l'on s'en tient aux combinaisons de 2 lentilles, deux systèmes de longues-vues photographiques ; le premier (fig. 11) qui dérive des lunettes ordinaires, le deuxième (fig. 13) qui dérive de la lunette de Galilée. Il doit demeurer entendu et d'ailleurs que les deux lentilles simples que nous avons considérées dans cette étude théorique comme représentant l'objectif et l'oculaire peuvent être remplacées l'une et l'autre par des systèmes complexes de foyer égal constituant des objectifs ou des oculaires composés.

On peut d'ailleurs employer comme système amplifiant des combinaisons d'un plus grand nombre de lentilles. La lunette de l'appareil autoréducteur imaginé par les Capitaines Paucellier ⁽¹⁾ et Wagner est une combinaison du genre de celle de la figure 13 dans laquelle l'image réelle $A'B''$ est examinée par une troisième lentille qui forme oculaire et qui donne une troisième image virtuelle $A''B''$. Par un léger déplacement de l'oculaire, cette image serait rendue réelle, on pourrait donc enregistrer photographiquement en les amplifiant les lectures faites sur la stadia, au moyen de la lunette, augmenter par cela même la portée de l'instrument, tout en diminuant considérablement la fatigue des observateurs.

Le système essayé par Monsieur Lacombe, composé d'une longue-vue en avant de laquelle est placé un objectif photographique ; rentre également dans les systèmes à trois lentilles. La combinaison peut être celle qui est figurée dans la figure 14, la 1^{re} image $A'B'$ est



virtuelle, la 2^e lentille O'' en donne une image réelle $A'B''$ réduite, laquelle est amplifiée par la lentille de l'objectif photographique.

Cette combinaison suppose que l'oculaire de la longue-vue a été renté légèrement ; en raison du grand nombre de lentilles employées, elle doit être lente. Il convient de remarquer d'ailleurs que les deux lentilles O', O'' , considérées comme formant un système unique, constituent un oculaire négatif et que le système optique total peut être regardé comme composé d'un objectif O et d'un oculaire négatif OO'' ; il rentre donc dans la catégorie des lunettes ordinaires de la figure 11.

(1) Aujourd'hui : Général de Division ; voir dans le mémorial de l'Officier du Génie N° 18 le mémoire sur un appareil diastimométrique à distance.

Sens dans lequel doit s'entendre l'expression — Nous avons pris pour point de départ de l'étude des longues-vues photographiques celle des lunettes employées en optique, oculaires — parce que nous pensons que la théorie des premières présente

beaucoup de points communs avec celle des secondes et gagne en clarté à en être rapproché. C'est pour rendre l'analogie d'exposition plus grande que nous avons employé l'expression d'oculaire pour désigner la deuxième lentille. En réalité cette lentille n'est pas un oculaire dans l'acception stricte du mot puisqu'elle n'est pas destinée à la vision directe, mais elle peut être avantageusement désignée par ce mot. Opposé à la désignation objectif que nous réservons à la lentille qui regarde l'objet, il désignera toujours pour nous la lentille qui est du côté de l'œil.

L'ailleurs lorsqu'on demande à une longue-vue photographique des grossissements comparables à ceux des lunettes astronomiques (25. 30. 50. 100) on se voit obligé pour éviter de donner une longueur exagérée à l'appareil, d'employer comme oculaires des lentilles ou systèmes de lentilles à très courts foyers qui sont bien réellement des oculaires semblables à ceux des lunettes.

Dans le cas contraire, où l'on cherche dans la longue-vue photographique, à conserver un champ étendu avec un grossissement faible, on emploie comme oculaires de véritables objectifs photographiques à foyer plus ou moins courts; mais il n'y a aucun inconvénient à les désigner par l'expression oculaires.

Les objectifs photographiques sont tous des systèmes convergents absolument comparables aux oculaires convergents et la théorie déduite de celle de la lunette ordinaire que nous avons exposée est entièrement applicable aux systèmes qui comprennent comme oculaire un objectif photographique ordinaire.

La longue-vue photographique dérivée de la lunette de Galilée présente au contraire cette particularité que l'oculaire divergent qui y est employé ne rentre pas dans la catégorie des systèmes optiques employés en photographie.

Nécessité d'employer — De même que l'on emploie des lunettes de grossissements différents genres de longues-vues photographiques suivant le but à atteindre variables suivant la distance des objets, la dimension des détails à observer, le champ utile à conserver, il sera nécessaire de faire usage de plusieurs modèles de longues-vues photographiques qui différeront entre-eux, par les distances focales de l'objectif et l'oculaire et la dimension de la chambre d'agrandissement de l'oculaire. Sans la discussion qui suit nous étudierons les diverses longues-vues photographiques au point de vue du pouvoir amplifiant, du pouvoir optique, du champ, de la longueur de l'instrument et de la rapidité.

Pouvoir amplifiant — Dans l'étude que nous avons faite des appareils à long foyer, nous avons donné pour l'expression du pouvoir amplifiant G les deux expressions équivalentes :

$$G = \frac{I}{O} \times \frac{D}{0.25}$$

$$G = \frac{f}{0.25}$$

La première dans laquelle entre la distance D est entièrement générale, elle s'applique sans modifications aux longues-vues photographiques en désignant par I , l'image finale, celle que nous appelons $A''B''$, et par O l'objet AB .

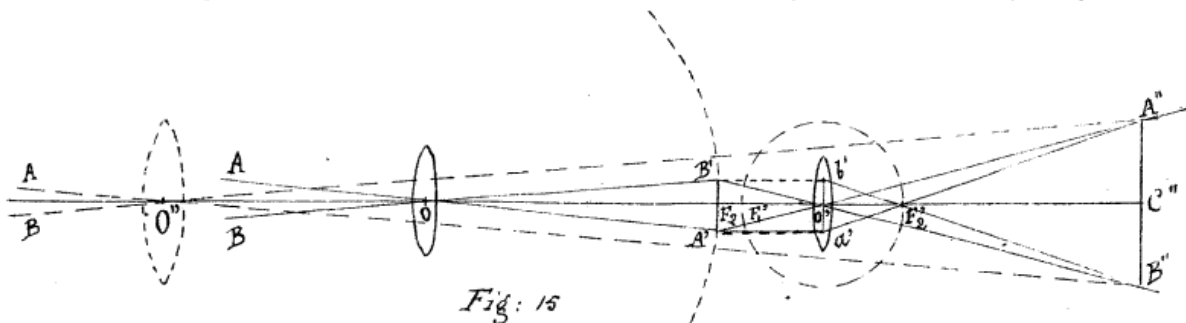
La seconde suppose que l'objet est assez éloigné pour former son image au foyer principal, elle peut être appliquée aux longues-vues photographiques. En effet tout système de lentilles centrées sur un axe peut être remplacé par une lentille unique qui lui est équivalente au point de vue des images.

Si l'on désigne par F la distance focale de la lentille équivalente à la longue-vue photographique ; le pouvoir amplifiant du système sera représenté par :

$$G = \frac{F}{0.25}$$

Il est facile de déterminer la valeur de F par une construction géométrique très simple, aussi bien dans le cas de la lunette photographique ordinaire que dans celui de la lunette de Galilée.

1^{re} Longue-vue avec oculaire convergent (Lunette ordinaire photographique)



Soit O l'objectif, AB un objet très éloigné, $A'B'$ son image qui peut être considéré comme au foyer principal F_0' de l'objectif ; cette image située à une distance $d = F_0'F_1'$ en dehors du foyer F_1' de l'oculaire a une image réelle $A''B''$ à une distance $F_1'C''$ en dehors de l'autre foyer telle que $F_0'F_1' \times C''F_1' = f^2$.

Si nous remarquons que $A''B''$ image finale de AB donnée par le système amplifiant, peut être considérée comme l'image de AB donnée par la lentille équivalente O'' , nous aurons entre les longueurs $A''B''$, $A'B'$, images d'un même objet par rapport à O'' et O :

$$\frac{F''}{f} = \frac{A''B''}{A'B'}$$

d'autre part, les angles sous lesquels les images $A'B'A''B''$ sont vues des centres respectifs O et O'' sont les mêmes comme étant l'un et l'autre égaux au diamètre apparent de l'objet.

Donc il suffit pour obtenir le point O'' de mener par les points $A''B''$ des parallèles aux droites OA', OB' .

Il est facile de déduire de la figure l'expression de la distance focale F en fonction de f, f' et de la distance $d = F_2 F_1$ qui sépare l'image $A'B'$ placé en F_2 du foyer antérieur de l'oculaire.

On effectue dans les triangles semblables $A''F_2'B''$ à $F_2''b'$ on a :

$$\frac{A''B''}{A'B'} = \frac{C''F_2'}{O'F_2'} \quad \text{et comme } C''F_2' = \frac{f'^2}{F_2 F_1} = \frac{f'^2}{d}$$

$$\frac{A''B''}{A'B'} = \frac{f'^2}{d \cdot f'} = \frac{f'}{d} \quad \text{Donc :}$$

$$\frac{F}{f} = \frac{f'}{d} \quad F = \frac{ff'}{d}$$

C'est abstraction faite du signe, la forme très simple que Monsieur le Général de Division Deancollies a donnée à l'expression générale de la distance focale de la lentille équivalente à un système de deux lentilles.

Cette formule s'applique sans modification au cas des lentilles épaisses en ayant soin de substituer aux centres optiques des lentilles leurs points nodaux ou centres perspectifs ⁽¹⁾ d'incidence et d'émergence.

Pour lui donner toute sa généralité, il faut la mettre sous la forme complète $F = \frac{ff'}{d}$ et faire des conventions sur les signes des quantités qui y entrent.

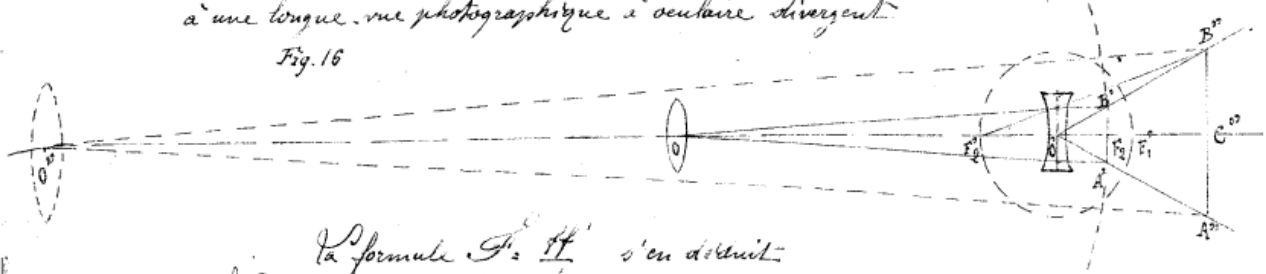
Pour faciliter la discussion au point de vue des signes, il est commode de tracer autour des points O et O' , des cercles avec la distance focale pour rayon. D'ailleurs pour le cas spécial qui nous occupe, la nature convergente du système ayant été déjà démontrée, nous pourrions nous contenter de discuter les valeurs absolues de la distance focale F . Ce qu'il importe surtout de bien spécifier, c'est que la quantité d représente la distance du foyer principal de l'objectif

(1) Voir le mémoire de Monsieur les capitaines Deancollies et Wagner, sur l'appareil autoréducteur - Mémoires du Génie N° 8.

2° Longue-vue photographique avec oculaire divergent - Lunette de Galilée

La construction géométrique que nous avons indiquée précédemment permet d'obtenir sans difficulté la distance focale de la lentille équivalente à une longue-vue photographique à oculaire divergent.

Fig. 16



La formule $G = \frac{f}{f'}$ s'en déduit.
 L'expression générale du pouvoir amplifiant
 la formule $G = \frac{1}{0.85} \frac{f}{d}$ qui en est la conséquence permet d'étudier comment varie le pouvoir amplifiant avec les quantités f, f', d .

Si nous le mettons sous la forme

$$G = \frac{1}{0.85} f \times \frac{f'}{d}$$

Le premier facteur $\frac{1}{0.85} f$ n'est autre chose que le pouvoir amplifiant propre de l'objectif, le second $\frac{f'}{d}$, représentera le grossissement de l'oculaire, si nous posons $\frac{f'}{d} = n$ la formule devient;

$$G = \frac{1}{0.85} f \times n.$$

Pour $d > f'$ $n < 1$ l'image de l'objectif est réduite,

d. $f' = n = 1$ ——— $d = f'$ est reproduite avec sa grandeur

d. $f' = n > 1$ ——— $d < f'$ est amplifiée.

Théoriquement le pouvoir amplifiant est illimité. Mais remarquons de suite qu'à mesure que le pouvoir amplifiant augmente, la distance de l'image A''B'' à l'oculaire devient plus grande et qu'il y aura une limite pratique imposée au grossissement par la condition de ne pas dépasser une trop grande longueur de chambre.

Indépendamment d'ailleurs de cette limite, il est évident a priori qu'au point de vue de la qualité de l'image agrandie, il doit exister une limite pratique dépendant purement du système optique lui-même. Nous ne pensons pas, que dans l'état actuel de la question, cette limite pratique ait été étudiée, il nous semble qu'elle doit être dans un certain rapport avec la valeur $\frac{f}{f'}$ que l'on donne d'ordinaire comme expression approchée du grossissement d'un instrument optique.

Quoiqu'il en soit, la discussion de la formule du pouvoir amplifiant que nous avons donnée plus haut, n'offre de l'intérêt qu'autant qu'on compare le grossissement obtenu avec la longueur de l'appareil.

Longueur des appareils. — En admettant que la distance du point visé soit assez

grande pour que son image puisse être considérée comme au foyer principal, la longueur de l'instrument sera la suivante :

1^o Longueur photographique avec oculaire convergent

$$L = f + d + 2f' + \frac{f'^2}{d}$$

ou en posant $\frac{f'}{d} = n$

$$L = f + \frac{f'}{n} + 2f' + n f'$$

$$(1) \quad L = f + \frac{(n+1)^2}{n} f'$$

2^o Longueur photographique avec oculaire divergent

$$L = f + \frac{(n-1)^2}{n} f'$$

L'appareil a pour un grossissement donné, c'est-à-dire pour une valeur donnée de n une longueur moindre que dans le système précédent, la différence est de quatre fois la distance focale f' .

Monsieur le Commandant Feibourg dans son mémoire sur les lunettes photographiques a recherché qu'elles sont les valeurs de f qui rendent la longueur L minimum pour un grossissement donné, en supposant que la distance focale de l'oculaire f' soit fixé.

Prenant pour L , l'expression (1) qui correspond aux oculaires convergents, il établit comme il suit les conditions du minimum.

$$L = f + \frac{f'(n^2 + 2n + 1)}{n}$$

remplaçant f par sa valeur en fonction du grossissement, on a

$$L = \frac{Q\Delta}{n} + f' \frac{(n^2 + 2n + 1)}{n} \quad (\Delta \text{ désignant la longueur de la vue distillée})$$

Cette expression devient nulle pour la valeur de n qui en annule la dérivée. Cette valeur est donnée par l'équation :

$$-\frac{Q\Delta}{n^2} + f' - \frac{f'}{n^2} = 0$$

$$\frac{Q\Delta + f'}{n^2} = f'$$

$$n^2 = 1 + \frac{Q\Delta}{f'} = \frac{f' + Q\Delta}{f'}$$

$$(2) \quad n = \sqrt{1 + \frac{Q\Delta}{f'}}$$

La valeur correspondante de L devient :

$$L = \frac{Q\Delta}{n} + f' \frac{(n^2 + 2n + 1)}{n} = \frac{Q\Delta}{n} + \frac{f'(f' + Q\Delta)}{f'} + (2n + 1)f'$$

$$= \frac{2Q\Delta}{n} + 2f' \frac{n+1}{n}$$

$$(3) \quad = 2 \frac{Q\Delta + f'(n+1)}{n} = 2 \frac{Q\Delta + f' \sqrt{1 + \frac{Q\Delta}{f'}} + f'}{\sqrt{1 + \frac{Q\Delta}{f'}}}$$

Monsieur le Commandant Feibourg termine son mémoire par une application numérique des formules qui précèdent.

« Supposons, dit-il que nous voulions un grossissement égal à 10 et appliquons les formules ci-dessus en admettant :

$$\Delta = 0.28$$

$$f' = 0.07.$$

« Cette distance focale de 0.07 est celle d'un objectif appartenant au
« service Géographique qui a été employé à la mission de la Gouade
« en 1888. On trouve :

« $n = 6.4$ $f = 0.44$ $L = 1.04$

« Pour un grossissement de 4x, on aurait

« $n = 13$ $f = 0.90$ $L = 1.96$

« Il n'y a pas lieu de dépasser ce grossissement qui est le plus
« fort de ceux adoptés pour les grandes lunettes destinées aux Commandants
« de corps d'armée ».

Dans la détermination des longueurs d'appareil, Monsieur
le Commandant Tribourg admettait comme minimum de la
distance focale de l'oculaire la valeur de 7 centimètres, parce qu'il
n'existe pas croyons nous, d'objectif photographique ayant une
distance focale moindre ; mais si l'on emploie comme nous l'avons
fait des oculaires astronomiques de très courts foyers, on peut avec
les longueurs d'appareil indiquées ci-dessus, obtenir des grossissements
beaucoup plus forts.

C'est ainsi que notre photographie N° 10 dont nous évaluons
le grossissement à 17x a été obtenue avec une longueur de chambre
inférieure à 1.80.

Remarquons que la formule (3) peut s'écrire :

$$L = \varphi \left(f + f' \frac{n+1}{n} \right) = \varphi \left[f + f' \left(1 + \frac{1}{n} \right) \right]$$

n'étant pour les forts grossissements grand par rapport à l'unité, on
peut retenir comme valeur approchée de la longueur de chambre
minimum la formule très simple :

$$L = \varphi (f + f')$$

La condition d'obtenir pour un grossissement donné une
longueur d'appareil minimum a son importance, mais elle ne doit
venir qu'en seconde ligne et être subordonnée aux conditions
primordiales d'établissement de l'appareil, qui comportent : 1° l'étude
de la valeur du pouvoir optique, celle de la clarté et celui de l'étendue
du champ embrassé.

Pouvoir optique de — En traitant des appareils à long foyer, nous avons dit
l'instrument quelque mots du pouvoir optique des objectifs, c'est la
propriété en vertu de laquelle un objectif peut séparer à grande
distance deux points lumineux voisins ; elle a d'autant plus d'importance,

que la distance à laquelle se font les observations est grande. On doit donc en tenir grand compte dans les longues-vues photographiques, comme on le fait dans les lunettes astronomiques. N'oublions pas le principe fondamental des instruments d'optique amplifiants. C'est l'objectif qui fait la qualité d'une lunette, l'oculaire ne fait que rendre visible l'image de l'objectif, il ne lui ajoute rien.

C'est donc, l'étude de l'objectif et particulièrement de son pouvoir optique qui doit précéder toutes les autres, dans l'établissement rationnel d'une lunette photographique.

Le pouvoir optique est comme nous l'avons dit, proportionnel au diamètre de l'objectif; un objectif de 13 centimètres de diamètre, dédouble à peu près la seconde. Plus exactement la loi de variations du pouvoir optique peut s'exprimer, pratiquement de la manière suivante: un objectif de 1 centimètre de diamètre dédouble $\frac{1}{25000}$ de la distance.

1	_____	$\frac{1}{25} \times \frac{1}{25000}$	_____
3	_____	$\frac{1}{3} \times \frac{1}{25000}$	_____
10	_____	$\frac{1}{10} \times \frac{1}{25000}$	_____

C'est-à-dire qu'à la distance de 5000 mètres qui est celle à laquelle ont été faites la plupart de nos observations (Fort St. Eyraud vu de Grenoble) l'objectif de 1 centimètre verra distinctement deux traits blancs tracés sur une mire noire qui seraient séparés par un intervalle de $\frac{5000}{25000} = 20$ centimètres, tandis qu'un objectif de 10 centimètres sépara deux traits distants de:

$$\frac{1}{10} \times \frac{5000}{25000} = 2 \text{ centimètres.}$$

Dans les photographies n° 10, 11, 12, 13, qui représentent à différentes échelles le fort St. Eyraud vu de Grenoble à 5 kilomètres, le paratonnerre du fort est parfaitement visible, c'est une conséquence du pouvoir optique de notre objectif; une ligne noire, mince, qui se détache sur le ciel, comme notre paratonnerre, peut être considérée comme analogue à l'intervalle noir de la mire dont nous parlions tout à l'heure. Cet intervalle noir sera perceptible quand les traits blancs qui l'encadrent seront eux-mêmes séparés. Le paratonnerre qui peut avoir 5 centimètres de diamètre est visible parce que notre objectif qui a 9 centimètres d'ouverture utile peut dédoubler à 5000^m une longueur de $\frac{1}{2} \times \frac{5000}{25000} = 4$ centimètres.

« Quelle que soit la variété de construction dont ils sont susceptibles
 « dit Monsieur Foucault, les instruments d'observation, à mesure
 « qu'ils approchent de la perfection, tendent à accuser des pouvoirs
 « optiques qui sont dans un rapport constant avec les diamètres des
 « faisceaux admis. On ne saurait donc refuser à considérer ce rapport
 « comme une constante physique, dont la valeur exprime l'aptitude de
 « la lumière à former des images plus ou moins détaillées. En prenant
 « pour unité de longueur le millimètre auquel on rapporte habituellement
 « l'ondulation lumineuse, on trouve d'après les mesures expérimentales
 « des pouvoirs optiques, pour la valeur de cette constante le nombre 1500.
 « Cette constante optique de la lumière est intimement liée à la longueur
 « d'onde et lui est inversement proportionnelle en sorte qu'elle varie
 « pour les rayons de différentes couleurs de manière à amener la plus grande
 « puissance de définition aux rayons les plus réfrangibles, ce que l'expérience
 « a confirmé bien des fois notamment par la netteté remarquable des
 « épreuves photographiques d'objets microscopiques qui s'engendrent sous
 « l'action prépondérante des rayons ultraviolets.

Nous avons tenu à citer in extenso, l'extrait ci-dessus du
 mémoire classique de M. Foucault sur les télescopes, pour justifier
 l'importance que nous attribuons à la valeur du pouvoir optique pour
 le choix de l'objectif de la longue-vue photographique. Nous devons noter
 tout spécialement dans cet extrait le passage qui assigne aux rayons
 chimiques un pouvoir optique supérieur à celui des autres radiations du
 spectre ; il en résulte que les pouvoirs optiques dont nous avons donné
 plus haut les valeurs numériques seront très certainement dépassés
photographiquement.

Quoiqu'il en soit, il nous semble que les pouvoirs optiques
 à demander à un objectif de longue-vue photographique destiné aux
 usages militaires pourraient être définis comme il suit d'après la
 destination de l'appareil.

1^o Longue-vue photographique N° 1. Grand appareil de place établi
 dans des Observatoires fixes.

doit pouvoir observer à 50 kilomètres des signaux de télégraphie optique
 ———— d' ———— à 10 kilomètres les effets des projectiles d'artillerie

et doubler à cette distance 5 centimètres ou ce qui revient au même,
 photographier linéairement une dépêche écrite en caractères de 30 centimètres ;

un objectif présentant une ouverture utilisable de 0.10, soit une ouverture totale de 0.12 doit être suffisant.

Pour conserver une clarté suffisante à l'objectif il conviendra de réduire autant que possible la longueur focale dans la limite compatible avec les aberrations. Le rapport $D = \frac{1}{12} f$ qui paraît admissible correspondrait à une distance focale de 1^m.50.

2^o Longue-vue photographique N^o 2 — Appareil de siège et de place, mobile sur pied de campagne,

doit pouvoir observer les signaux optiques à 4 Kilomètres et faire à 5 Kilomètres les autres observations prévues à 10 Kilomètres pour l'appareil N^o 1, l'ouverture totale de l'appareil serait de 0.08, son ouverture utile de 0.05, sa distance focale de 1^m.00, il correspondrait à peu près à l'appareil que nous avons essayé.

3^o Longue-vue photographique N^o 3 — Appareil léger de campagne, pouvant être employé en ballon, doit pouvoir observer à 15 Kilomètres les signaux optiques et faire à 18^m.5 les observations prévues pour les appareils précédents. En raison de la grande rapidité exigée d'un appareil agissant en ballon, il y aura lieu d'examiner, s'il ne conviendrait pas d'adopter un objectif double à grande ouverture, avec un indice de rapidité $d = \frac{1}{12}$; dans ces conditions l'appareil aurait 0.05 d'ouverture utile et 60 de distance focale.

Le premier apogée de la détermination des données de l'objectif, par la considération de la valeur du pouvoir optique exigible, pourra être modifié, par l'examen des autres conditions auxquelles doit satisfaire l'objectif sous d'autres points de vue.

Aberrations diverses — Les longues-vues photographiques doivent agir comme de l'objectif. Les lunettes, on leur demandera généralement peu de champ, mais une précision absolue. Il faut donc avant tout la réduction au minimum des aberrations principales de sphéricité et de réfrangibilité. Cette condition est d'autant plus difficile à remplir qu'on est conduit à rechercher une grande ouverture de lentilles pour augmenter le pouvoir optique et la clarté.

Nous n'aborderons pas le calcul laborieux des différents genres d'aberrations, nous contentant de renvoyer au traité de l'objectif photographique de M^r Wallon où la question est traitée avec le développement qu'elle comporte. Nous sommes d'avis comme lui,

qu'au point de vue de la finesse et de la clarté de l'image, les objectifs les plus simples sont les meilleurs, car si la complication du système réfringent rend plus facile le problème de la correction des aberrations, elle entraîne forcément l'accumulation de résidus d'aberrations qui altèrent la finesse de l'image. D'autre part les combinaisons simples auront l'avantage de donner lieu à moins de pertes de lumière par réflexion.

On résume un bon objectif simple achromatique, dont on utilise que les rayons centraux, est susceptible de donner de très-bonnes images.

Cependant, en raison de l'intérêt qu'il y aurait à augmenter la rapidité de l'objectif sans accroître l'aberration de sphéricité, il serait avantageux de donner aux lentilles une courbure s'écartant de la forme sphérique, en adoptant des formes qui permettent de concentrer en un foyer unique les rayons parallèles reçus par la surface entière de l'objectif.

Le Commandant du Génie Curie, dans un mémoire inséré au N° 35 du mémorial du Génie, a démontré qu'une lentille dans laquelle la face d'entrée des rayons serait un plan et la face de sortie une hyperbole concentrerait en un point unique tous les rayons tombant à sa surface. Une lentille de cette nature aurait des qualités précieuses au point de vue de la rapidité et de la netteté des images, à condition néanmoins que l'aberration de réfrangibilité fut corrigée.

D'ailleurs Messieurs Paul et Prosper Henry, dans la construction de l'objectif de 0.33 qui est actuellement employé à l'Observatoire pour la photographie stellaire, ont fait usage des lentilles à surface non sphérique, leur objectif est d'une rare perfection.

On ne saurait mieux faire, si l'on hésite à employer le système du Commandant Curie, que de s'adresser à Messieurs Henry pour la construction d'un objectif spécial destiné aux usages militaires; il serait intéressant de réaliser le système optique de l'appareil que nous avons désigné sous le nom d'appareil N° 1, afin de connaître quel est le maximum de précision que l'on peut attendre des observations photographiques à grande distance.

Par leur compétence hors ligne, Messieurs Henry sont plus que tous autres à même de réaliser un appareil aussi parfait que possible.

Choix de l'oculaire — La longueur totale d'une longue-vue photographique avec oculaire convergent⁽¹⁾ est exprimée par la formule: $L = f + \frac{(1+1)^2}{n} f'$

(1) Nous laissons de côté pour le moment, la discussion de la longue-vue avec oculaire divergent.

n est le grossissement donné par l'oculaire, c'est-à-dire le rapport entre l'image finale $A'B''$ et l'image $A'B'$ donnée par l'objectif.

$$n = \frac{f}{f'}$$

On peut considérer la longueur de l'appareil comme se composant de deux parties. Si une f distance focale de l'objectif sera déterminée par les conditions de pouvoir optique que l'on demande à l'objectif; la deuxième $\frac{(n+1)}{n} f'$ constitue à proprement parler la chambre d'agrandissement de l'oculaire, sa longueur croît avec le grossissement n et avec la longueur focale f' de l'oculaire; pour un grossissement n donné, elle est proportionnelle à f' .

En employant des oculaires de très-petits foyers, on peut donc avec une longueur de chambre d'agrandissement très réduite, obtenir une amplification considérable de l'image de l'objectif, mais il est évident que la réduction de la longueur focale de l'oculaire n'est pas indéfinie, et qu'il existe une limite qu'il convient de ne pas dépasser.

Mais avant d'étudier les conditions que doit remplir l'oculaire, nous examinerons quelle amplification doit supporter l'image $A'B'$ donnée par un objectif de pouvoir optique donné pour ne rien perdre de ses propriétés optiques.

Considérons un objectif dont le diamètre D a 10 centimètres et dont la distance focale est 1.50, son pouvoir optique P proportionnel à son diamètre lui permet de former des images distinctes de deux points AB qui en sont éloignés de 10000 mètres et qui sont distants entre-eux de 4 centimètres ($= \frac{1}{10} \times \frac{10000}{1.5000}$). Les deux images A' et B' ont entre-elles une distance de : $0.04 \times \frac{1.50}{10000} = 0,000006$ quantité infiniment trop petite pour être perceptible à la vision directe. Pour profiter complètement des qualités optiques de l'image, il faut que l'appareil amplifiant constitué par l'oculaire donne de $A'B'$ une image photographique $A'B''$ assez grande pour être vue nettement à l'œil nu.

En appliquant à l'œil envisagé comme appareil optique, des considérations théoriques identiques à celles qui ont servi à déterminer le pouvoir optique des lentilles, on trouve qu'un œil normal, dont la moindre distance de vision distincte est de 25 centimètres, peut distinguer des détails dont la dimension est de 5 centièmes de millimètres.

Dans la pratique nous admettrons que l'œil normal distingue $\frac{1}{10000}$ de millimètres. L'image $A'B'$ devra donc pour être rendue visible être amplifiée dans le rapport de :

$$\frac{0,0001}{0,000006} = 16,6.$$

Cette amplification de l'image $\frac{A''B''}{A'B'}$ est égale à 12.

En reprenant le raisonnement en y introduisant l'expression du diamètre D et de la distance focale f , on arrive à la formule générale :

$$n = \frac{A''B''}{A'B'} = \frac{D}{f} \times 250$$

Si on admet qu'on conserve pour tous les objectifs employés un rapport constant entre $\frac{D}{f}$, en prenant par exemple $\frac{D}{f} = \frac{1}{15}$, n devient égal 16.66 soit à 17.

On peut donc énoncer cette loi générale :

Dans une longue-vue photographique, dont l'objectif est diaphragmé au $\frac{1}{15}$, le grossissement par l'oculaire doit être au moins égal à 17 pour que la visibilité des détails sur l'image amplifiée soit en rapport avec le pouvoir optique de l'objectif.

Ce chiffre de 17 doit être considéré pour nous comme caractérisant l'amplification normale à faire subir à l'image de l'objectif. Les données théoriques qui ont conduit à le fixer, n'ont pas un caractère de précision tel qu'il puisse être regardé comme absolument rigoureux, il est tout au plus, une indication utile, comme l'expression approchée d'une loi qui est à vérifier par l'expérience.

Il importe d'ailleurs pour comprendre la portée de la loi elle-même, de ne pas confondre la netteté d'une épreuve photographique et la visibilité des détails qu'elle laisse percevoir; ce sont deux ordres de choses tout à fait distincts et souvent même opposés. Rien ne peut mieux faire juger de la différence qui les sépare que l'examen de nos photographies N°s 10, 12, 13 et 14; elles représentent toutes le fort St. Eynard vu de Grenoble à 5 Kilomètres; Les plus petites N° 14 et 13 qui correspondent respectivement à un grossissement total de 10 et de 16, soit un grossissement par l'oculaire de $\frac{10}{4} = 2.5$ et de $\frac{16}{4} = 4$ offrent un caractère de netteté assez grand, mais les détails très fins, paratonnerre et balustrade au-dessus de la caserne échappent à la vue. L'épreuve N° 12 au contraire, tout en présentant un peu plus de flou dans les contours, laisse apercevoir très nettement les mêmes détails. Le grossissement total est de 76, soit $\frac{76}{4} = 19$, nombre très voisin du chiffre 17 que nous avons signalé précédemment comme approprié au pouvoir optique de l'objectif.

Enfin la photographie N° 10 offre un exemple frappant du résultat que l'on obtient en déparant dans le tirage de la chambre d'agrandissement la position qui correspond à une amplification 17. L'image dont le grossissement total est de 175 n'a rien gagné à ce grossissement exagéré, les

détails sont restés visibles, mais ils sont devenus plus flous que dans la photographie N° 12.

Ces exemples nous semblent confirmer d'une façon péremptoire qu'il existe pour l'amplification de l'oculaire une valeur voisine de 17 dont il importe de ne pas trop s'écarter, en la dépassant on perd de la netteté, en restant en deça on sacrifie la visibilité des détails.

Étant admis, sauf vérification par l'expérience ce chiffre de 17, la longueur L que l'on peut appeler longueur normale de la longue-vue prend la forme :

$$L = f + \frac{18^2}{17} f' \\ = f + 19 f' \text{ (pour un objectif diaphragmé au } \frac{1}{15})$$

et plus généralement
$$L = f + \frac{(\frac{250}{f} + 1)^2}{250} f'$$

Notons de suite d'une façon expresse que dans les formules précédentes, en prenant pour point de départ de notre discussion, le pouvoir optique de l'objectif, nous avons eu en vue spécialement les longues-vues photographiques militaires, considérées comme instruments d'observation à longue portée. Les formules auxquelles nous sommes arrivés seraient bien moins justifiées pour des instruments amplifiants destinés aux usages ordinaires dans lesquels il conviendrait presque toujours de s'en tenir à une amplification moindre que 17.

Nous avons donné ci-dessus l'expression de la longueur de la longue-vue en fonction de la distance focale de l'oculaire, il reste à déterminer cette distance.

Dans les instruments d'optique destinés aux observations lointaines, les constructeurs emploient généralement des oculaires dont la puissance dioptrique est proportionnelle au pouvoir optique de l'objectif ; le rapport de proportionnalité est variable suivant qu'il s'agit d'oculaires terrestres ou célestes. Pour les premiers on prend d'ordinaire :

$$\frac{1}{f'} = \frac{D}{1000} \quad D \text{ étant le diamètre de l'objectif en millimètres.}$$

Pour les seconds on admet des grossissements beaucoup plus considérables, on les fait d'ailleurs varier suivant le grossissement total et le champ que l'on veut obtenir.

Bien que les considérations qui servent à déterminer les limites inférieures et supérieures de grossissement des oculaires des instruments d'optique, soient basées sur la contemplation des images virtuelles à la distance de la vue distincte et ne s'appliquent pas par conséquent aux longues-vues photographiques, on peut admettre dans ces derniers instruments les proportions admises pour les lunettes terrestres entre l'oculaire et l'objectif, pourvu toutefois que les conditions de

dimensions du champ n'obligent à s'en écarter.

Il est entendu d'ailleurs que pour diminuer les aberrations, les oculaires à court foyer sont toujours des oculaires composés, formés de plusieurs lentilles. La distance focale calculée est dans ce cas, la distance focale de la lentille simple équivalente au système composé.

La considération de l'amplitude du champ tenant une place importante dans le choix de l'oculaire de la longue vue photographique, nous devons dès à présent entrer dans quelques détails à ce sujet.

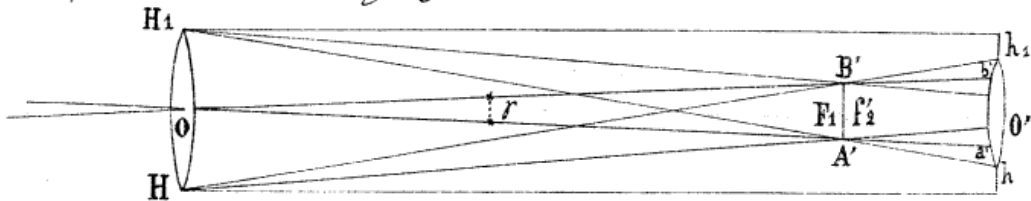


Fig. 17.

Soit O l'objectif, F sa distance focale, O' l'oculaire, F' sa distance focale, H, H_1, b, h , les extrémités de leur diamètre respectif, les deux faisceaux dont les axes secondaires sont OB', OA' passant par les points $A'B'$ de l'image donnée par l'objectif sont les derniers qui tombent entièrement sur l'oculaire. Si nous admettons que l'image $A'B'$ se forme dans le plan focal F' de l'objectif et que celui-ci coïncide avec le plan focal de l'oculaire l'angle $\frac{\gamma}{2}$ moitié de l'angle compris entre les directions OB', OA' est donné par la formule:

$$\text{Cp } \frac{\gamma}{2} = \frac{\frac{R'}{F'} - \frac{R}{F}}{1 + \frac{F'}{F}}$$

dans laquelle R, R' représentent les rayons d'ouverture de l'objectif et de l'oculaire. Pour éviter les aberrations exagérées $\frac{R}{F}, \frac{R'}{F'}$ ont généralement des valeurs déterminées en sorte que l'angle γ varie en sens inverse de $\frac{F'}{F}$, le champ varie donc en sens inverse du grossissement.

Nous verrons toutefois en étudiant les oculaires composés, qu'on peut, pour un grossissement donné augmenter le champ, en augmentant le rapport $\frac{R'}{F'}$.

Différentes espèces d'oculaires — Dans les instruments d'optique l'oculaire est presque toujours formé de deux lentilles et prend le nom d'oculaire composé. Un oculaire composé est dit positif quand l'image de l'objectif se forme en avant; négligé lorsque cette image se forme entre les deux verres.

Les oculaires positifs — L'oculaire positif le plus fréquemment employé dans les lunettes astronomiques est l'oculaire de Ramsden, constitué par des lentilles égales. Les objectifs doubles photographiques peuvent être assimilés à des oculaires positifs.

Les oculaires négatifs — L'oculaire négatif est désigné souvent sous le nom

d'objectif de Huygens.

On peut employer pour les lunettes photographiques ordinaires des oculaires composés prolongés ou réduits. Nous avons figuré dans les figures 18 et 19, ces deux genres d'oculaires en faisant subir aux images les déplacements nécessaires pour que l'image finale soit une image réelle agrandie.

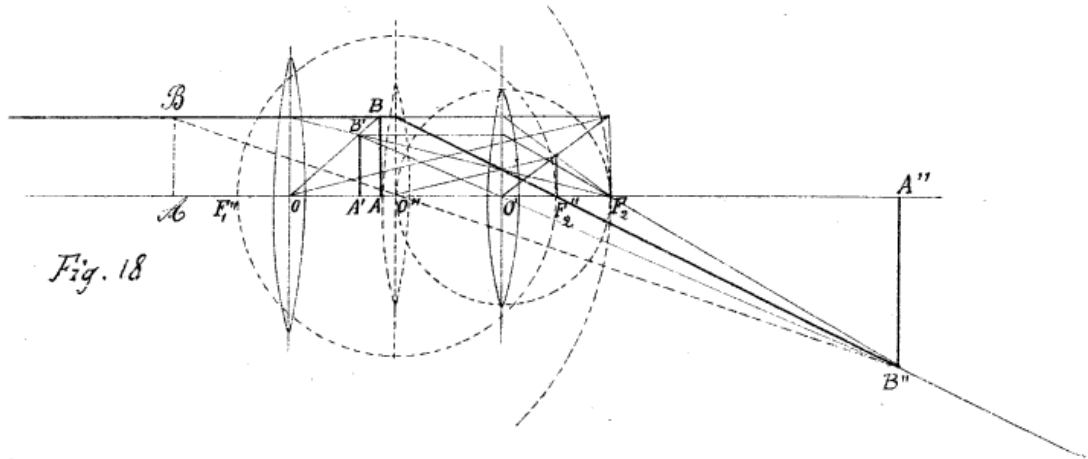


Fig. 18

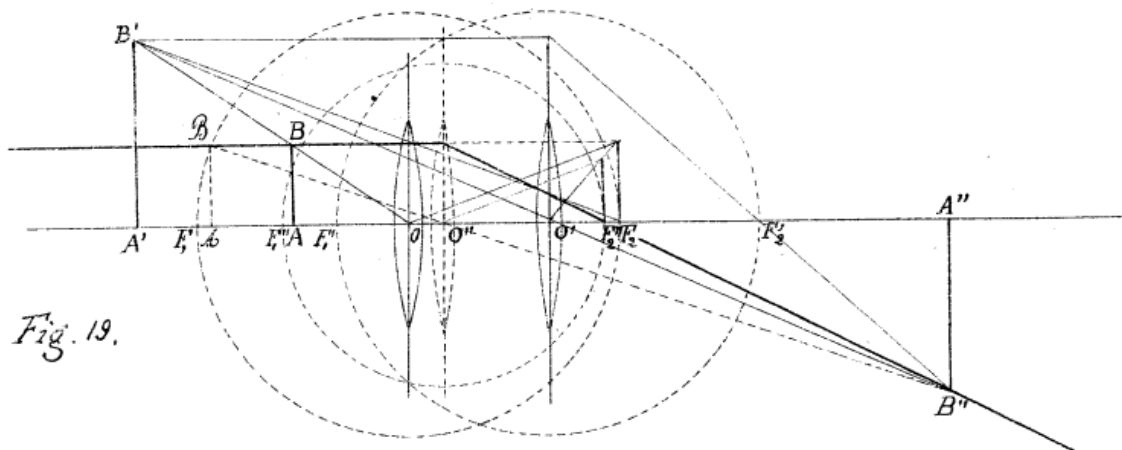


Fig. 19.

Nous avons représenté dans chacune des figures ci-dessus la lentille mince $0''$ équivalente au système, cette lentille occupe la position du point nodal d'émergence, en sorte que la distance $0''F_2''$ est bien la distance focale absolue de l'oculaire composé, celle qui entre dans la formule :

$L = f + \frac{(n+1)}{n} f'$. Toutes les images agrandies d'un objet de dimension AB se trouveront donc sur la droite $F_2''B''$.

La figure 18 s'applique à un oculaire de Huygens dont les données sont $f' = \frac{1}{3} f$ Distance des centres $= D = \frac{2}{3} f + f'$

on trouve pour la distance focale résultante :

$$F = \frac{ff'}{d} = \frac{ff'}{f + f' - D} = \frac{f}{2}$$

On appliquant à $f = 4$ centimètres

on trouve : $F = 2$ centimètres

La lentille d'avant reçoit le nom de lentille de champ, on voit tout de suite que cette lentille de champ donne une image réelle réduite $A'B'$ de l'image AB .

La figure 19 s'applique à un oculaire de Ramsden dont les données sont $f = f' = D = \frac{2}{3}f$. Il en résulte: $F = \frac{3}{4}f$.
si l'on fait $f = 2,66$, $F = 2$ centimètres et l'on a un système de même pouvoir amplifiant que le précédent.

La lentille d'avant fait fonction comme dans l'oculaire négatif de verre de champ.

Pour se rendre compte du champ embrassé dans une lunette photographique munie d'un oculaire composé, mettons la formule du champ sous la forme:

$$\text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = \frac{F'(\frac{R'}{F'} - \frac{R}{F})}{F + F'} = \frac{R' - \frac{F'}{F} R}{F + F'}$$

Dans cette formule on peut prendre pour R' la valeur du rayon d'ouverture de la lentille de champ de l'oculaire et pour F' la valeur F de la distance focale de la lentille simple équivalente au système composé, F est la distance focale de l'objectif.

Appliquons aux deux oculaires négatifs et positifs que nous venons d'étudier, en admettant 1° que le rayon d'ouverture de la lentille de champ soit égal à la moitié de la distance focale de cette lentille ce qui se trouve souvent réalisé dans les oculaires de lunettes de fort grossissement, 2° que le rapport $\frac{R}{F}$ de l'objectif soit égal à $\frac{1}{30}$; nous aurons:

$$1^\circ \text{ Oculaire négatif} - F' = F = 0,02$$

$$f' = R' = \frac{F}{2} = 0,01$$

$$\text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = \frac{0,01 - 0,02 \times \frac{1}{30}}{F + 0,02} = \frac{0,01 - 0,00066}{F + 0,02}$$

$$\text{Pour } F = 1,00 \quad \text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = 0,019 \quad \frac{\gamma}{2} = 1,5' \quad \gamma = 3,010'$$

$$F = 0,50 \quad \text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = 0,037 \quad \frac{\gamma}{2} = 2,7' \quad \gamma = 4,14'$$

$$2^\circ \text{ Oculaire positif} - F' = F = 0,02$$

$$R' = \frac{F}{2} = 0,0133$$

$$\text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = \frac{0,0133 - 0,02 \times \frac{1}{30}}{F + 0,02} = \frac{0,0133 - 0,00066}{F + 0,02}$$

$$\text{Pour } F = 1,00 \quad \text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = 0,0124 \quad \frac{\gamma}{2} = 0,43' \quad \gamma = 1,23'$$

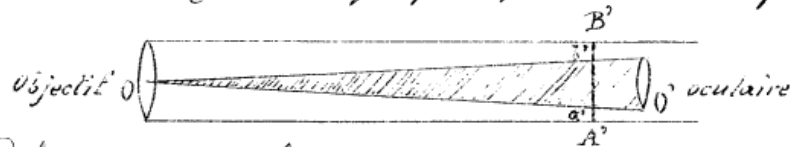
$$F = 0,50 \quad \text{Eq. } \frac{1}{2} \gamma = 0,0243 \quad \frac{\gamma}{2} = 1,24' \quad \gamma = 2,48'$$

Ces formules ne sont qu'approchées, elles suffisent pour donner une idée du champ embrassé dans les appareils munis d'oculaires d'un pouvoir amplifiant considérable.

Le champ tel qu'il y est défini est le champ d'égal éclaircissement, il comprend seulement les faisceaux lumineux complets qui rencontrent l'oculaire.

Il est toujours plus petit que le champ total d'illumination, lequel

peut être considéré comme limité par le faisceau conique qui a pour sommet le centre optique de l'objectif et pour base la surface de l'oculaire (Fig. 20).



Ce faisceau coupe l'image $A'B'$ suivant un cercle $a'b'$ dont le diamètre est sensiblement égal à celui de la lentille de champ de l'oculaire. (Ce cercle est représenté sur l'image agrandie, par un cercle de plus grand diamètre (voir photographie N° 12, par exemple). Le rapport entre le diamètre de ce dernier cercle et le diamètre de l'oculaire est très sensiblement égal au grossissement de l'oculaire, c'est-à-dire à la quantité que nous appelons n dans la formule $L = f + \frac{(n+1)^2}{n} f'$.

Le champ total d'illumination s'évalue en degrés par la formule approximative très simple :

$$\text{Cg} \Gamma = \frac{2R'}{F}$$

Pour $2R' = 1''$ $F = 1''_{00}$

$$\text{Cg} \Gamma = 0.04 \quad \Gamma = 90.90'.$$

Aberrations des oculaires. — Le champ total d'illumination est toujours achromatique. plus grand que le champ d'égal éclaircissement, celui-ci peut lui-même être plus grand que le champ exempt d'aberrations. Dans notre photographie N° 12, ce dernier a un diamètre à peine égal à la moitié du diamètre du champ total.

Les oculaires dont nous nous sommes servis, sont des oculaires astronomiques non achromatiques, ils paraissent remarquables au point de vue de la correction de l'aberration principale de sphéricité, ce qui est la qualité première pour les photographies à grande distances. Le défaut d'achromatisme ne semble pas avoir d'inconvénients sérieux en raison de la petitesse de la longueur focale. Un défaut d'achromatisme dans l'objectif aurait au contraire les conséquences les plus fâcheuses pour la netteté de l'image définitive.

Longueur et dimensions de la lunette photographique et de sa chambre d'agrandissement. — Maintenant que nous avons examiné, comment varient le grossissement et le champ, nous pouvons reprendre d'une manière plus complète l'étude des conditions que doit remplir une lunette photographique.

Clini que nous l'avons dit, la longueur focale de l'objectif sera pour nous une donnée, déterminée par le pouvoir optique que nous demandons à l'instrument.

Dans la formule $L = f + \frac{(n+1)^2}{n} f'$ faisons :

f distance focale de l'objectif = 1^m.00

f' distance de la lentille simple équivalente à l'oculaire = 0^m.02

et admettons comme limite supérieure de n , $n = 17$

$$L = f + \frac{18^2}{17} f' = 1.00 + 19 \times 0.02 = 1.38$$

la longueur totale de la longue-vue sera donc 1^m.38, en supposant pour l'objectif le rapport $\frac{D}{f}$ égal à $\frac{1}{15}$.

Quelle sera la dimension des épreuves correspondant au tirage total de la chambre ?

En prenant un oculaire composé, positif, donnant un champ d'égal éclairément de 1^m.23, le champ mesuré dans le plan focal de l'objectif correspond à un cercle de 0^m.024 de diamètre, lequel amplifié 17 fois aura 0^m.41. La longue-vue serait donc susceptible de couvrir largement une glace de $\frac{24}{27}$ avec le tirage total correspondant à un grossissement total de $17 \times 4 = 68$ et à une longueur d'appareil de 1^m.38.

Avec un tirage de 29 correspondant à $n = 12.5$, à un grossissement total de $12.5 \times 4 = 50$ et à une longueur d'appareil de 1^m.29, on couvrirait encore largement la plaque $\frac{13}{18}$.

Dans bien des circonstances, il sera commode d'avoir comme pour la lunette astronomique, un jeu d'oculaires plus ou moins forts, afin de pouvoir faire avec le même appareil, des photographies de champ et de grossissement variables.

Examen des résultats — Dans les premiers essais entrepris à l'École obtenus avec les appareils de Grenoble, nous ne disposions comme oculaires en essai que d'objectifs photographiques d'un foyer supérieur à

0^m.20. En réunissant aux extrémités d'un même tube, notre objectif d'un mètre de foyer et l'objectif de 0^m.20 et visant le tout en avant d'une chambre fixe, nous eûmes un premier appareil d'essai à grossissement variable (voir photographie 8) auquel on ne peut reprocher que sa grande longueur.

Grâce à l'emploi d'un objectif photographique de foyer aussi long comme oculaire, les diverses aberrations dans l'image sont faibles. La photographie 8^m9 montre des résultats de lecture de lettres à 2 kilomètres. Les lettres ont 18 centimètres, à côté de la pancarte se voit sur l'épreuve, un atelier de télégraphie optique et un signal lumineux.

La disposition de l'appareil rappelle celle qui fut employée par Messieurs Lacombe et Mathieu, avec de véritables longues-vues. Monsieur Jarret opticien à Paris, construit sous le nom de téléobjectif, un appareil tout à fait du même genre qui se vise sur une chambre

ordinaire. Il s'est borné à des objectifs de courts foyers (50 centimètres), l'oculaire est un oculaire astronomique; tel qu'il est, l'appareil est d'un maniement commode et peut rendre des services aux touristes; mais il manque de pouvoir optique et prêterait mal à des observations de précision exécutées à grande distance.

Nous n'avons fait qu'un très petit nombre d'expériences avec l'appareil représenté phot. 8. Quant spécialement en vue les reconnaissances militaires, nous avons cherché à réduire la longueur de l'appareil tout en augmentant le grossissement. Nous ne pourrions y arriver que par l'emploi d'oculaires de forts grossissements; avec ceux-ci, la longueur de la chambre d'agrandissement se réduit considérablement et au lieu d'être la partie principale de l'appareil n'en est plus que l'accessoire.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons pensé à utiliser pour constituer la longue-vue proprement dite, le corps de chambre fixe qui constitue notre appareil à long foyer (fig. 1); en substituant à la glace dépolie de cette chambre, une planchette porte-oculaire, on constitue à peu de frais avec une chambre fixe en bois, une excellente longue-vue, laquelle, suivant le tirage donné à l'oculaire, peut servir à l'observation directe, ou aux observations photographiques. Sans ce dernier cas, on adapte en arrière de la 1^{re} chambre, une deuxième chambre qui peut être à tirage et donner des épreuves de grossissements variables. La planchette porte-oculaire est susceptible de recevoir des oculaires plus ou moins forts. Les photographies N^{os} 11, 12, 13, ont été obtenues avec un appareil de ce genre construit d'une façon tout à fait sommaire. L'oculaire était à fort grossissement (2 centimètres de longueur focale environ.) Ainsi que nous l'avons fait remarquer déjà, la photographie N^o 12 qui présente un grossissement total de 76, soit ^{pour l'oculaire} un grossissement de $\frac{76}{4} = 19$ qui se rapproche du grossissement théorique que nous considérons comme le meilleur, laisse apercevoir des détails d'une grande ténuité; on y distingue à 5 kilom. le parapet et la balustrade en fer du fort laquelle a moins de cinq centimètres.

La photographie N^o 11 a le même grossissement, on y distingue assez nettement à 16 kilomètres, une croix au sommet de la montagne de Chanroux près de Grenoble.

La photographie N^o 13, lecture de mires à 50 mètres est particulièrement intéressante parce qu'elle permet d'apprécier avec précision le pouvoir optique de l'appareil. Les lignes noires les plus minces ont un millimètre sur la mire, elles sont assez visibles sur l'épreuve pour qu'il soit permis d'affirmer

qu'une ligne noire de $\frac{1}{4}$ de millimètre donnerait également une image visible.

Les lignes blanches sur fond noir se distinguent moins nettement, néanmoins on perçoit sur l'épreuve des croisillons blancs sur fond noir qui n'ont que quatre dixièmes de millimètres sur la mire.

Ce résultat est parfaitement d'accord avec la valeur du pouvoir optique que nous avons assigné à notre objectif de cinq centimètres d'ouverture lequel doit pouvoir séparer des lignes dont la largeur correspond à $\frac{1}{5} \times \frac{1}{55000}$ de D soit pour $D = 50$ mètres

$$\frac{1}{5} \times \frac{1}{55000} \times 50 = 0^{\text{m}}.4$$

La comparaison de la photographie N° 17 avec la photographie N° 18, lecture de mires avec la longue-vue petit modèle (télio-objectif Jarret) montre nettement combien le pouvoir optique diminue lorsqu'on emploie comme objectif de la longue-vue, des lentilles à foyer court et à petit diamètre. Tous les croisillons blancs sur fond noir sont devenus absolument invisibles sur l'épreuve.

Nous insistons tout particulièrement sur les expériences de lectures de mire avec les longues-vues photographiques, seules elles peuvent servir de base rationnelle pour la création d'un système de longues-vues photographiques de calibres et de portées variables, répondant aux diverses conditions des observations à la guerre.

L'appareil de 1.00 de foyer avec oculaire de 0.08 avec son pouvoir optique de 4 centimètres à 5000 mètres est suffisant pour l'observation des effets de l'artillerie.

Les photographies N° 13. 14 sont obtenues avec le même appareil, dans lequel on a substitué à l'oculaire de 0.08 de foyer, un oculaire de 0.06 de foyer et de 0.043 d'ouverture. La photographie N° 14, grossissement 10, mérite de fixer l'attention parcequ'elle est instantanée. On peut donc espérer employer en ballon la lunette photographique ^{avec} objectif de 1 mètre, jusqu'au grossissement de 10. Mais le champ utilisable est très restreint, le cercle total d'illumination a 10 centimètres sur l'épreuve et correspond à une longueur de 300^m environs à 5000 mètres. Le champ net est égal à peine à la moitié.

En réduisant la distance focale de l'objectif, on augmenterait le champ, et l'on se rapprocherait des données de l'appareil que vient de faire construire le commandant Tribourg pour le service aérostatique.

Cet appareil, si nos souvenirs sont exacts, donne nettement un cercle de 0.08 sur 0.08 avec un grossissement de 7 ou 8.

Disposition de l'appareil, — La disposition des appareils et le choix du pied. — du pied dépendent essentiellement des dimensions adoptées pour la longueur focale de l'objectif. Nous ne l'étudions pas dans le présent mémoire que nous voulons borner en ce que regarde les longues-mues photographiques aux considérations théoriques que nous avons développées et au ^{compte rendu des} résultats photographiques obtenus.

Résumé.

Nous avons rédigé le présent mémoire pour appeler l'attention sur les services que peut rendre la photographie au point de vue des observations et particulièrement des observations à grande distance.

Le Chapitre 1^{er} qui traite sommairement des appareils photographiques à faible portée, ne présente que peu d'intérêt de nouveauté, sauf peut-être en ce qui concerne les observatoires photographiques aériens instantanés qui sont susceptibles dans des circonstances toutes spéciales de la guerre de siège de rendre quelques services.

Le Chapitre 2^e, appareils photographiques à long foyer, signale les excellents résultats que l'on peut attendre des appareils à long foyer (0^m.60 à 1^m.00) soit pour les observations à faire en ballon, soit pour les reconnaissances. En réduisant l'appareil au calibre $\frac{1}{8}$, il est suffisamment portable et l'on obtient des épreuves instantanées présentant un champ de 10° environ parfaitement convenable pour figurer à 5000 mètres un fort avec ses abords.

Le Chapitre 3^e traite des longues-mues photographiques. Nous avons essayé de bien préciser les conditions que doivent remplir les appareils de ce genre suivant l'usage auquel elles sont destinées. Sans le calcul du système optique de l'appareil, on doit considérer :

Le pouvoir optique — le champ — le grossissement.

Les appareils destinés aux observations de détail à très grande distance ont besoin d'un pouvoir optique fort et d'un grossissement en rapport avec ce pouvoir optique ; ce qui entraîne un objectif à grande ouverture et à long foyer, et un oculaire à court foyer. Le champ sera très réduit, moindre qu'un degré. — (Grand appareil de place N° 1 de 1^m.50 de distance focale.)

Les appareils destinés à opérer à une grande distance, auront moins de pouvoir optique, un foyer plus court et plus de champ.

(1.30' environ, appareil N° 2 de siège et de place.)

Enfin si l'on veut limiter le grossissement et augmenter le champ jusqu'à l'on 3° en conservant l'instantanéité pour opérer en ballon, on emploiera des objectifs de moins de 1.00 de foyer. (appareil N° 3 léger de compagnie.)

Il est inutile d'insister sur l'importance militaire des longues-vues photographiques qui vont permettre de substituer aux observations fatigantes faites à la longue-vue, des documents indiscutables enregistrés automatiquement. Parmi les applications les plus immédiates et les plus intéressantes pour le service militaire citons :

- 1° Observations des effets du tir de l'artillerie.
- 2° Enregistrement des signaux lumineux de la télégraphie optique.
- 3° Lecture de lettres ou de signaux quelconques pour remplacer la télégraphie dans les postes improvisés où elle fait défaut.
- 4° Relevé des ouvrages de fortification.

Nous ferons remarquer toutefois, que les longues-vues photographiques quelque soient les services que l'on peut en attendre, ne remplaceront pas entièrement les appareils à long foyer, parceque à égalité de pouvoir optique, elles ont un champ beaucoup plus restreint.

Ceci nous fait penser que l'on doit comprendre dans le matériel photographique militaire, destiné aux observations à grande distance, un appareil simple de 1.00 de longueur focale qui peut rendre les plus grands services aussi bien en ballon que dans les reconnaissances de place.

Dans la pratique des reconnaissances, cet appareil donnerait l'ensemble des ouvrages, les longues-vues photographiques en révéleraient les détails.

La question des observations photographiques à grande distance est à l'ordre du jour depuis plusieurs années; elle présente quelques difficultés, nous n'avons pas la prétention de les résoudre toutes, nous nous bornons seulement à ramener l'attention sur un sujet qui nous paraît susceptible des applications militaires les plus utiles.

Mars 1892

Alfred Le Fay

