

Auteur ou collectivité : Bouttieaux, Victor-Paul

Auteur : Bouttieaux, Victor-Paul (1857-1918)

Titre : La téléphotographie

Adresse : [s.l.] : [s.n.], 1897

Collation : 1 vol. ([44] p.) : ill. ; 23 cm

Cote : CNAM-BIB 8 Tu 65 (P.14)

Sujet(s) : Téléphotographie (photographie)--19e siècle

Note : In : "Revue du génie militaire", septembre 1897, p. [193]-236

Langue : Français

Date de mise en ligne : 03/10/2014

Date de génération du PDF : 26/9/2017

Permalien : <http://cnum.cnam.fr/redir?8TU65.P14>

LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE

INTRODUCTION.



La téléphotographie, ou photographie à grande distance, a pour but de photographier les objets éloignés avec une netteté et des dimensions supérieures à celles qu'ils présentent à la vision directe. Elle se distingue de la photographie ordinaire par une différence analogue à celle qui existe entre la simple vue et la vision à travers les lunettes d'approche.

La téléphotographie ne constitue d'ailleurs qu'une solution particulière du problème de la télémétophographie, indiqué dès 1850 par le colonel Laussedat, alors capitaine du génie, et mis en pratique par lui pendant le siège de Paris ; cet officier avait installé, de la manière la plus ingénieuse, des observatoires munis de lunettes terrestres, derrière l'oculaire desquelles était disposée une chambre claire. Il était alors facile de dessiner, par champs de lunette successifs, des vues très nettes des travaux d'approche et des dispositions prises par l'armée allemande.

Ce n'est toutefois qu'en 1886 qu'un amateur, M. Lacombe, parvint à obtenir un cliché photographique satisfaisant en reproduisant, au moyen d'une chambre noire adjointe à une lunette terrestre, le donjon de Vincennes à la distance de 4 km et avec un grossissement de 10 à 12.

Depuis cette époque, des perfectionnements considé-

rables ont été apportés aux procédés des premiers expérimentateurs, et il est maintenant possible d'utiliser la téléphotographie pour les besoins de l'art militaire en employant comme points de station soit des aérostats, soit des lieux élevés.

La photographie a ceci d'avantageux qu'elle permet, avec une rapidité plus grande que tout autre procédé, de fixer, mieux que tous les croquis et plus clairement que tous les comptes rendus, l'état du terrain et la situation respective des troupes qui l'occupent.

La chambre noire enregistre d'un seul coup tout ce qui se trouve dans le champ de son objectif, et la plaque sensible a, sur la rétine, l'avantage de conserver la trace complète et ineffaçable des moindres détails. Le cliché photographique est un document précis qui peut être étudié à la loupe, et l'œil y découvre alors des détails inaperçus tout d'abord. C'est aussi, pour l'avenir, un témoignage certain, une véritable pièce à conviction, destinée à appuyer de preuves irréfragables les faits à citer dans l'histoire des batailles.

Nous nous proposons, dans cette étude¹, de montrer les résultats qu'on peut attendre de la téléphotographie avec les procédés et les méthodes actuels, et de résumer les expériences les plus récentes qui ont été entreprises à ce sujet, notamment celles effectuées à l'École de Grenoble en 1893 et à l'École de Versailles en 1896.

Nous rappellerons tout d'abord les conditions générales du problème de la photographie à grande distance, puis nous examinerons successivement les conditions d'emploi des appareils installés soit sur des appuis mobiles (ballons, cerfs-volants, etc.), soit sur des appuis fixes (mâts, tours, collines).

1. Publiée déjà en substance dans la *Revue d'aéronautique*.

CHAPITRE I^{er}.

APPAREILS A EMPLOYER.

L'observation ne portera, en général, pour les reconnaissances militaires, que sur un point déterminé de dimensions restreintes, une troupe ennemie, un fort, une localité. La grandeur et la netteté de l'épreuve photographique devront être assez grandes pour permettre d'apprécier à la loupe les détails les plus intéressants. Il faudra, par exemple, pouvoir compter le nombre de pièces en batterie dans un fort, voir si un ouvrage ou une localité sont occupés, apprécier l'importance d'une troupe ennemie, etc.

Les appareils susceptibles d'être employés dans ce but sont de deux sortes :

1° Les appareils simples à long foyer qui sont depuis longtemps d'un usage courant dans les observatoires pour obtenir les photographies des astres ;

2° Les appareils composés amplifiants (longues-vues photographiques ou téléobjectifs).

1° Appareils simples à long foyer.

Pour pouvoir examiner les conditions spéciales que doivent remplir ces appareils, il est indispensable de rappeler les propriétés essentielles des lentilles.

Foyer principal. — Un point lumineux placé sur l'axe d'une lentille, à une grande distance, émet vers la lentille un faisceau de rayons parallèles à l'axe.

Si la lentille est *convergente* (fig. 1), ces rayons se concentrent en un même point F, qui est le *foyer principal* de la lentille, image réelle du point lumineux.

Si, au contraire, la lentille est *divergente* (fig. 2), les

rayons s'écartent, au sortir de la lentille, il n'y a plus d'image réelle ; mais les prolongements des rayons viennent concourir en un point F_1 qui est le *foyer principal virtuel*.

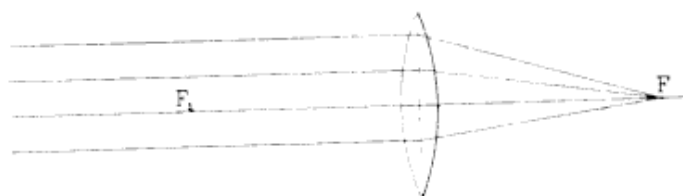


Fig. 1. — Foyers principaux réels d'une lentille convergente.

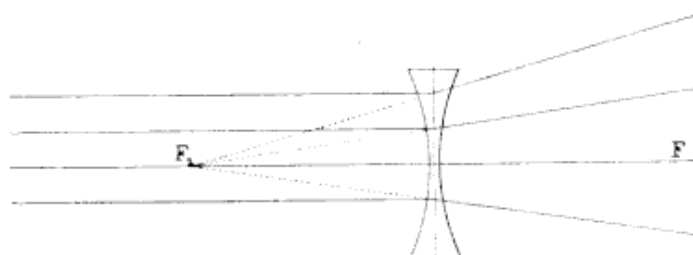


Fig. 2. — Foyers principaux virtuels d'une lentille divergente.

Si, au lieu d'un point lumineux, on considère une droite lumineuse AB perpendiculaire à l'axe optique et très éloigné, on aura une image renversée $B'A'$ passant par le foyer principal (fig. 3), et cette image pourra être projetée sur un écran.

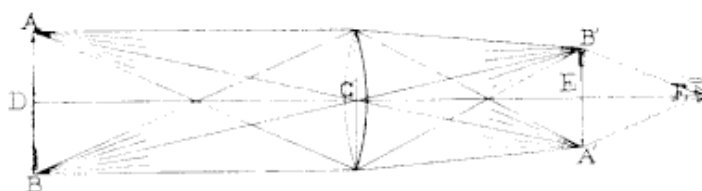


Fig. 3. — Formation des images au travers d'une lentille convergente.

Lorsque le point lumineux se rapproche de la lentille, son image s'éloigne du foyer, et il est nécessaire, pour obtenir une image nette, de déplacer plus ou moins l'écran : c'est ce qui constitue la *mise au point*.

On désigne sous le nom de *distance hyperfocale* la distance à partir de laquelle il n'est plus nécessaire de modifier la mise au point. D'après le capitaine Houdaille,

pour la netteté¹ de 1/10 mm, la distance hyperfocale L_{10} est donnée par la formule

$$L_{10} = 2,5 \times d \times F,$$

d étant l'ouverture du diaphragme exprimée en millimètres et F la distance focale, exprimée en mètres comme L_{10} . Ainsi, pour l'objectif de 1 m de foyer et 60 mm d'ouverture de diaphragme, la distance hyperfocale est

$$L_{10} = 2,50 \times 60 \times 1 = 150 \text{ m.}$$

De même, pour la netteté de 1/20 mm, indispensable à obtenir si on veut pouvoir faire des agrandissements, il vient

$$L_{20} = 5 \times 60 \times 1 = 300 \text{ m,}$$

et enfin, pour la netteté de 1/50 mm, limite qu'il n'est guère possible de dépasser, même avec les meilleurs objectifs,

$$L_{50} = 12,5 \times 60 \times 1 = 750.$$

A partir de 750 m jusqu'à l'infini, tous les points forment pratiquement leur image au foyer principal; on dit alors que la profondeur de champ est infinie.

Grossissement. — Le grossissement, ou pouvoir amplifiant de la lentille, est le rapport de la grandeur apparente de l'image à la grandeur apparente de l'objet. Ce grossissement est proportionnel à la distance focale principale F .

En effet, on a (fig. 3), en désignant par Δ la distance de vision distincte :

$$G = \frac{A'B'}{ACB} = \frac{\frac{A'B'}{EF}}{\frac{AB}{CD}} = \frac{\frac{I}{\Delta}}{\frac{O}{D}} = \frac{I}{O} \times \frac{D}{\Delta} = \frac{F}{D} \times \frac{D}{\Delta} = \frac{F}{\Delta},$$

et, comme Δ a pour valeur moyenne 0,25 m,

$$G = \frac{F}{0,25} = 4F.$$

Ainsi l'objectif de 0,25 m de foyer correspond au grossissement 1 ;

1. On verra plus loin ce qu'il faut entendre par netteté.

L'objectif de 0,50 m de foyer correspond au grossissement 2 ;

L'objectif de 1 m de foyer correspond au grossissement 4 ;

Et, d'une manière générale, le grossissement aura pour expression $4F$ (F , distance focale principale de l'objectif, évaluée en mètres).

L'objectif de 0,25 m de foyer peut être considéré comme donnant l'image en grandeur naturelle des objets éloignés ; pour un objet de 20 m de hauteur situé à 1 000 m, par exemple, l'image aura 0,005 m de longueur. Cette dimension sera celle qu'intercepteraient sur un écran transparent placé à 0,25 m de l'œil les rayons visuels aboutissant aux extrémités de l'objet. L'œil distinguera donc sur la photographie ce qu'il perçoit directement ; mais, en outre, un agrandissement ou un examen à la loupe pourront révéler des détails non appréciables à la vision directe.

Aberration de sphéricité. — Nous avons dit tout à l'heure que les rayons parallèles à l'axe émanant d'un point lumineux éloigné concouraient au foyer principal. Ce n'est là qu'une approximation ; dans la réalité, les rayons qui tombent sur les bords de la lentille (rayons marginaux) forment leur image en un point plus rapproché que les rayons centraux (fig. 4).

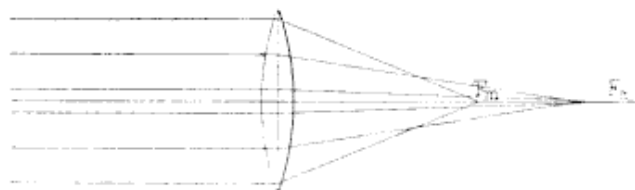


Fig. 4. — Aberration de sphéricité.

Cet écart, qui s'appelle l'*aberration longitudinale de sphéricité*, a pour résultat de nuire à la netteté des images ; aussi est-il nécessaire de le faire disparaître, et on emploie pour cela, au lieu d'une lentille simple, un système

formé de deux lentilles accolées, dont les courbures sont calculées en conséquence.

L'ensemble ainsi obtenu s'appelle un *objectif aplanétique* ; il permet de corriger l'aberration de sphéricité pour les rayons parallèles à l'axe principal.

Pour éviter, ou du moins atténuer, les aberrations qui se produiraient sur les axes secondaires, on emploie un *diaphragme*, de manière à réduire les dimensions de l'ouverture d'admission des rayons lumineux et à écarter ainsi les rayons trop obliques.

Aberration chromatique. — L'objectif ainsi constitué donne une image nette, pour une lumière monochrome seulement ; or, on sait que la lumière blanche n'est pas simple et qu'elle est composée des sept couleurs de l'arc-en-ciel : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Les teintes élémentaires ont des indices de réfraction différents, et, en traversant une lentille, forment leur image en des points tels que V, I, ..., R (fig. 5).

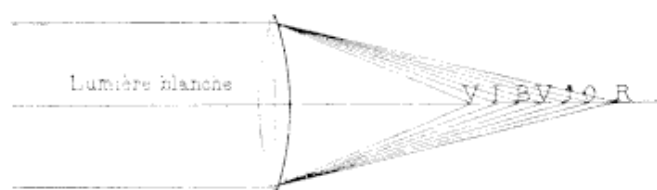


Fig. 5. — Aberration chromatique.

Il en résulte que l'image, au lieu d'être nette sur toute son étendue, est formée d'une série d'anneaux colorés.

La distance VR s'appelle l'*aberration chromatique*, et elle augmente avec la distance focale de l'objectif.

On arrive à la corriger en composant l'objectif comme il a été dit précédemment, mais à la condition de choisir pour les lentilles deux espèces de verres, le crown-glass et le flint-glass, ayant des pouvoirs dispersifs différents.

Il n'est pas possible d'annuler complètement l'aberration chromatique ; on se contente de faire coïncider les foyers principaux de deux couleurs convenablement choi-

sies, en accouplant deux lentilles formées des verres précédents; on détermine d'autre part les courbures de ces lentilles, de manière à faire disparaître en même temps l'aberration de sphéricité.

Les couleurs choisies ne sont d'ailleurs pas les mêmes, suivant qu'il s'agit d'instruments d'optique ou d'instruments photographiques.

Pour les premiers (objectifs des lunettes) on cherche à concentrer les rayons les plus lumineux du spectre et on réunit le bleu à l'orangé.

Pour les seconds (objectifs photographiques) on fait coïncider le foyer des rayons brillants et le foyer des rayons chimiques, c'est-à-dire le jaune et le violet.

Champ. — Le *champ* est le plus grand angle que peuvent faire entre eux les axes secondaires, sans cesser de donner des images nettes. Il ne faut pas confondre le champ avec l'*ouverture* de la lentille, qui est l'angle sous lequel elle est vue du foyer principal.

Si on veut avoir une image nette, il ne faut admettre, comme nous l'avons vu, que des rayons fort peu inclinés sur l'axe et, dans ce cas, le champ est très faible, il ne correspond qu'à la partie centrale de l'image.

Si, au contraire, on désire avoir un champ étendu, on est forcé d'admettre des rayons plus obliques, et il faut alors corriger les aberrations avec de petits diaphragmes, au détriment de la clarté de l'image *centrale*.

Pour la photographie à grande distance, c'est la première solution qui doit être préférée, car il faut rechercher avant tout la clarté de l'image alliée à une netteté suffisante.

Au lieu d'employer des objectifs simples achromatiques, on peut employer des objectifs doubles qui permettent, à distance focale égale, l'emploi d'un plus grand diaphragme, grâce à la compensation des aberrations que réalise l'accouplement des lentilles. Ces objectifs donnent peut-être moins de brillant et de finesse pour les images, mais ils

fournissent plus de lumière et conséquemment plus de rapidité.

Rapidité. — Pour un même objet, nous avons vu que les dimensions de l'image étaient proportionnelles à la distance focale principale, mais la quantité de lumière envoyée par l'objet étant toujours la même si l'objectif concerne une ouverture égale, il en résulte que l'accroissement des dimensions de l'image a pour corollaire l'accroissement du temps de pose, et ce dernier croît, comme l'image, proportionnellement au carré de la distance focale.

Il devient donc nécessaire, si on veut conserver l'instantanéité dans les opérations photographiques, ce qui est absolument indispensable en ballon, par exemple, d'augmenter, en même temps que la distance focale, le diamètre de l'objectif, ou plus exactement du diaphragme, dans la même proportion.

La rapidité d'un objectif est donc déterminée, toutes choses égales, d'ailleurs, par le rapport $\frac{d}{F}$ du diamètre du diaphragme (autrement dit ouverture utile de l'objectif) à la distance focale, et le temps de pose est proportionnel à $\left(\frac{F}{d}\right)^2$.

Pour caractériser un objectif, on dit qu'il est diaphragmé au $1/5$, au $1/10$, au $1/20$. Pour obtenir l'instantanéité, ce rapport $\frac{d}{F}$ ne doit pas pratiquement descendre au-dessous de $1/25$, et, dans les appareils destinés aux opérations en ballon, l'indice de rapidité le plus convenable doit être compris entre $1/10$ et $1/20$ ($1/15$ en moyenne, soit un objectif de 6 cm d'ouverture utile pour une distance focale de 1 m).

Il convient d'ajouter que le fonctionnement mécanique de l'obturateur instantané devient plus difficile à mesure que l'ouverture augmente ; c'est une des raisons qui

viennent compliquer l'obtention des clichés instantanés pour les forts grossissements.

Le champ ne s'obtient qu'avec de petits diaphragmes, il est donc incompatible avec la rapidité comme il l'est avec la perfection de l'image.

C'est là un deuxième motif pour lequel il convient de réduire au minimum le champ des appareils destinés à être employés en ballon; cette réduction a d'ailleurs une limite, à cause de l'incertitude de la visée.

Pouvoir optique. — En dehors des qualités que nous venons de rechercher, la puissance d'investigation d'un instrument réside tout entière dans le *pouvoir optique* de l'objectif, absolument analogue à l'acuité visuelle de l'œil.

On appelle *pouvoir optique*, ou *pouvoir séparateur*, le plus petit angle sous lequel deux points lumineux apparaissent distincts sur l'image. Il doit être tel que l'œil puisse distinguer, sur le négatif, les objets d'une dimension réelle de 1 m et au-dessus; pour cela il faut que le mètre soit représenté par une longueur d'un dixième de millimètre environ.

Le pouvoir séparateur varie donc suivant la distance d'observation; il est, d'autre part, d'après Foucault, proportionnel au diamètre de l'objectif, et on peut admettre pratiquement qu'un objectif

$$\begin{array}{ccccccc} \text{de} & 1 & 2 & & d & \text{cm de diamètre} \\ \text{dédouble} & \frac{1}{25\,000} & \frac{1}{2 \cdot 25\,000} & \dots & \frac{1}{d \cdot 25\,000} & \text{de la distance.} \end{array}$$

Ainsi, par exemple, à 5 000 m un objectif de 6 cm d'ouverture dédouble

$$5\,000 \times \frac{1}{6} \times \frac{1}{25\,000} = 0,033 \text{ m.}$$

Le pouvoir optique sera donc suffisant pour rendre visible un paratonnerre dont la tige mesure 0,04 m de diamètre.

D'après les règles pratiques admises pour la construction des lentilles, le diamètre de l'objectif est propor-

tionnel à la distance focale et on peut dire que le pouvoir optique est également proportionnel à cette distance focale.

Si on veut, par exemple, obtenir l'image d'un objet de hauteur à 5 000 m de distance, il faudra choisir une distance focale telle que

$$\frac{I}{O} = \frac{F}{D}, \quad \text{ou} \quad \frac{0,0001}{1} = \frac{F}{5\,000};$$

d'où

$$F = 0,50 \text{ m.}$$

On aura d'ailleurs tout avantage à se tenir au-dessus de cette limite inférieure et il ne faut pas hésiter à employer des objectifs de 0,80 m à 1 m de foyer; cette dernière longueur semble d'autre part un maximum qu'il paraît difficile de dépasser, si on veut conserver aux instruments une certaine mobilité.

Netteté. — La netteté des images est une propriété assez 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.

« La netteté de l'objectif proprement dit est la propriété de conserver à l'image les dimensions exactes qui sont déterminées par la grandeur de l'objet, sa distance et la longueur focale de l'objectif¹. »

On mesure cette netteté en évaluant sur le cliché la grosseur du plus petit trait perceptible; la netteté type est celle du 1/10 de millimètre qui correspond à la limite de perception de l'œil humain à la distance de la vision distincte; un objectif possède cette netteté lorsqu'on peut distinguer sur le cliché l'image de deux points ou de deux traits ayant 1/10 de millimètre d'épaisseur et laissant entre eux 1/10 de millimètre d'intervalle.

1. Capitaine HOUDAILLE. — *Sur une méthode d'essai scientifique et pratique des objectifs photographiques et des instruments d'optique*. 1894. Paris, Gauthier-Villars.

Pour un même objectif, les surfaces couvertes avec la netteté de 1/10 de millimètre sont inversement proportionnelles aux carrés ~~des~~ diamètres des diaphragmes ; l'angle nettement couvert dépend du rapport du diamètre couvert D à la distance focale F, et il est donné par la formule

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \omega = \frac{D}{2F}.$$

En résumé, l'objectif destiné à être employé pour la photographie à grande distance doit être à long foyer, avec un diamètre proportionnel et un grand diaphragme pour permettre l'instantanéité ; le champ sera forcément réduit et le grossissement ne dépassera pas 4 pour des appareils de dimensions pratiques (1 m de foyer).

2° Longues-vues photographiques et téléobjectifs.

Les objectifs que nous venons d'étudier ne peuvent donner, dans les conditions habituelles de la pratique, que des images grossies 4 fois au plus.

Si l'on veut profiter de tout le pouvoir optique de l'objectif, c'est-à-dire distinguer sur l'image les longueurs plus petites que 1/10 mm, il faut examiner l'épreuve à la loupe ou, plus commodément, opérer le grossissement de l'image.

Ce grossissement peut s'effectuer sur le cliché et c'est alors l'opération appelée agrandissement ; dans ce cas l'examen à la loupe permet de reconnaître à l'avance si l'opération sera fructueuse.

Il peut aussi s'opérer sur l'image elle-même par l'emploi d'un oculaire amplifiant, et les appareils ainsi constitués, analogues aux lunettes terrestres, sont les appareils *téléphotographiques composés* et portent plus particulièrement le nom de longues-vues photographiques ou de téléobjectifs suivant que les oculaires sont convergents ou divergents.

Ces appareils, pour un grossissement donné, ont une longueur beaucoup moins grande que les appareils simples à long foyer ; inversement, pour des longueurs identiques, ils donnent un grossissement beaucoup plus fort.

Mais on voit, *a priori* et avant toute discussion, que le grossissement ainsi obtenu doit donner des images peu éclairées, qui nécessitent par conséquent un temps de pose plus considérable. Dans la pratique, comme nous le verrons plus loin, il est difficile, pour des vues instantanées prises en ballon, de dépasser des grossissements de 8 à 10 qui correspondent à une instantanéité théorique de $1/20$ de seconde environ, par beau temps et avec un vent moyen dont la vitesse est de 25 km à l'heure ou 6 m par seconde.

Les longues-vues photographiques et les téléobjectifs sont organisés comme des lunettes : il suffit d'augmenter le tirage pour obtenir une image réelle en arrière de l'oculaire, et d'adapter en ce point une chambre photographique de longueur convenable pour avoir l'image.

Les figures 6, 7, 8, 9 montrent la formation des images dans les deux cas.

Grossissement. — Il est facile d'établir qu'un système de deux lentilles est équivalent à une lentille unique ayant pour foyer

$$F = \frac{F \times F'}{\delta}.$$

en posant $\overline{F_1 F'_2} = \delta$.

Le grossissement d'un pareil système est donc égal à

$$G = \frac{F}{0,25} = \frac{F \times F'}{\delta \times 0,25}.$$

Or, $\frac{F}{0,25}$ représente le grossissement g de l'objectif ; $\frac{F'}{\delta}$, le grossissement g' de l'oculaire comme nous le verrons plus loin ; on a donc

$$G = g g'.$$

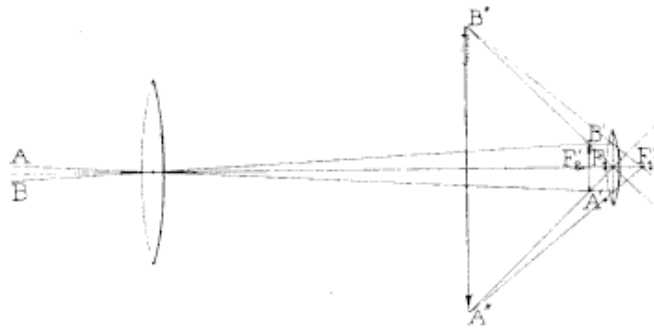


Fig. 6. — Longue-vue ordinaire : image virtuelle.

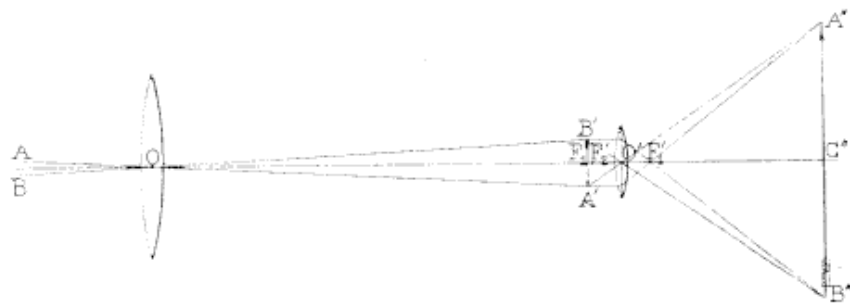


Fig. 7. — Longue-vue photographique : image réelle

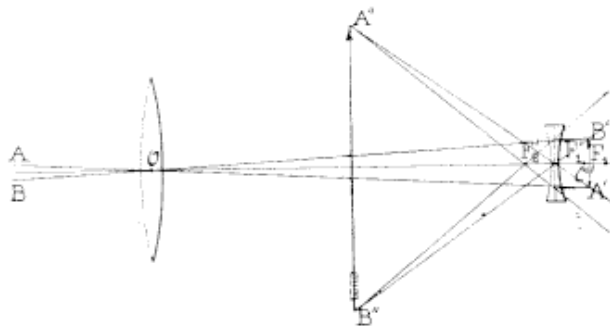


Fig. 8. — Lunette de Galilée : image virtuelle.

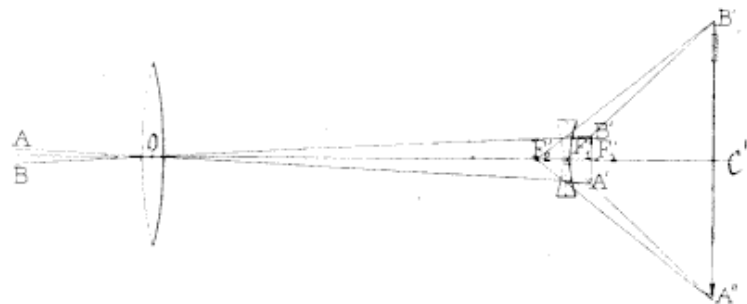


Fig. 9. — Téléobjectif : image réelle.

Le grossissement limite est d'ailleurs lié au pouvoir optique de l'objectif; il suffit, en effet, que l'oculaire rende visibles à l'œil les détails séparés par l'objectif; aussitôt que ce résultat est atteint, un agrandissement plus fort n'ajouterait rien et donnerait du flou.

« C'est donc 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 rien¹. »

Soit, par exemple, un objectif dont le diamètre utilisable $L = 6$ cm et la distance focale $F = 1$ m; son pouvoir optique, proportionnel à son diamètre, lui permet de séparer à la distance de 5 km deux points distants de

$$\frac{1}{6} \times \frac{1}{25\,000} \times 5\,000 = 0,033 \text{ m.}$$

Sur l'image, cette épaisseur de 33 mm se réduit à

$$33 \times \frac{1}{5\,000} = 0,006 \text{ mm.}$$

Il faut, pour que cette quantité soit visible sur l'épreuve, que l'oculaire l'amplifie à 1/10 mm, ce qui suppose un grossissement de

$$\frac{0,1}{0,006} = 17 \text{ environ.}$$

Et, d'une manière générale, le grossissement maximum à adopter pour l'oculaire est donné par la formule

$$g' = \frac{d}{F} \times 250.$$

On peut donc énoncer la loi suivante :

Dans une longue-vue photographique dont l'objectif est diaphragmé à $\frac{d}{F}$, le grossissement de l'oculaire doit être sensiblement égal à $\frac{d}{F} \times 250$ pour que la visibilité des détails sur l'image soit en rapport avec le pouvoir optique

1. Lieutenant-colonel ALLOTTE DE LA FÈVE.

de l'objectif. Nous venons de voir que, pour un objectif diaphragmé au $1/15$, le grossissement maximum est de 17.

La formule du grossissement :

$$G = \frac{F \times F'}{\delta \times 0,25}, \quad (1)$$

montre que, théoriquement, pour un appareil donné, le pouvoir amplifiant est illimité, parce qu'il croît à mesure que δ diminue; toutefois, comme ce pouvoir augmente en même temps que la distance de l'image $A''B''$ à l'oculaire, il y a une limite pratique imposée au grossissement par la condition de ne pas dépasser une trop grande longueur de chambre.

Longueur de l'instrument à oculaire convergent — La longueur de la longue-vue à oculaire convergent se compose de deux termes : le premier est la distance focale F de l'objectif; le second correspond à la longueur de la chambre d'agrandissement de l'oculaire, et il est proportionnel au grossissement g' et à la longueur focale F' de cet oculaire.

En effet on a (fig. 6) :

$$L = \overline{OC''} = \overline{OF_1} + \overline{F_1F'_2} + \overline{F'_2F'_1} + \overline{F'_1C''}$$

ou

$$L = F + \delta + 2F' + \overline{F'_1C''}.$$

Or, d'après la formule des lentilles, $\overline{F'_1C''} = \frac{F'^2}{\delta}$; d'autre part on a

$$g' = \frac{\frac{\overline{A''B''}}{\Delta}}{\frac{\overline{A'B'}}{\Delta}} = \frac{\overline{A''B''}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{O'C''}}{\overline{O'F_1}} = \frac{F' + \frac{F'^2}{\delta}}{F + \delta} = \frac{F'}{\delta},$$

d'où

$$\overline{F'_1C''} = F' g'.$$

Il vient alors

$$L = F + \delta + 2F' + F' g' = F + F' \frac{(g' + 1)^2}{g'}. \quad (2)$$

Les formules (1) et (2) permettent de déterminer la longueur totale de l'appareil pour un grossissement donné; soient, par exemple,

$$F = 1 \text{ m}, \quad F' = 0,02 \text{ m}, \quad g' = 17,$$

il vient

$$G = g g' = 4 \times 17 = 68,$$

et

$$L = 1 + \frac{18^2}{17} \times 0,02 = 1,38.$$

La longueur totale de la longue-vue sera donc de 1,38 m.

On voit que, pour un grossissement donné, le tirage est proportionnel à la longueur focale de l'oculaire. On a donc intérêt, pour réduire le plus possible les dimensions de la chambre, à employer des oculaires à très courts foyers.

Longueur de l'instrument à oculaire divergent. — Les mêmes considérations donnent pour la longueur totale du téléobjectif à oculaire divergent :

$$L = F + \delta - 2F' + F' g',$$

ou

$$L = F + F' \frac{(g' - 1)^2}{g'}. \quad (2')$$

Pour un grossissement donné, le téléobjectif à oculaire divergent a une longueur moindre que le téléobjectif à oculaire convergent; la différence est égale à $4F'$.

Champ. — Le champ d'une lunette est constitué par le cône ayant son sommet au centre de l'objectif et pour contour le cercle du diaphragme. La surface de ce cône, prolongée au delà de l'objectif, délimite donc l'espace contenant tous les points visibles. Approximativement on

définit souvent le champ : l'espace limité par le cône ayant pour base le contour de l'oculaire et pour sommet le centre de l'objectif.

Pour augmenter le champ il faut :

1° Augmenter l'ouverture de l'oculaire et, par suite, sa longueur focale ;

2° Réduire la longueur focale de l'objectif.

Le champ, pour une longueur donnée d'appareil, varie par conséquent en sens inverse du grossissement.

Il y aura donc, pour les appareils de téléphotographie, deux catégories distinctes, comme pour les instruments d'observation.

Les premiers appareils, à fort grossissement et à faible champ, sont analogues, comme propriétés, aux lunettes célestes et aux grandes longues-vues ; ils auront des objectifs à long foyer et des oculaires à très court foyer. Ces appareils, en raison du temps de pose qu'ils nécessitent, par suite du peu d'éclairement de l'image, ne peuvent être employés en ballon.

Les seconds, à faible grossissement et à champ moyen, sont analogues aux jumelles ; la distance focale de l'objectif est plus faible que dans les précédents, la distance focale de l'oculaire plus grande et il y a avantage à constituer ce dernier, par une lentille divergente, pour réduire le plus possible la longueur de l'instrument.

Ces appareils peuvent être employés pour les opérations instantanées en ballon avec un grossissement ne dépassant pas 8 à 10, comme nous l'établirons ci-après.

NATURE DES PLAQUES A EMPLOYER.

Il y a tout intérêt, au point de vue de la réussite des opérations photographiques, à employer les plaques les plus rapides, mais ces plaques ne suffisent pas toujours pour obtenir des clichés nets, et les épreuves qu'elles donnent sont souvent voilées, pour des objets éloignés.

Recherchons les causes qui produisent ce voile, et le moyen d'y porter remède.

La lumière du soleil agit de deux façons sur les particules solides ou liquides qui se trouvent en suspension dans l'air : 1^o elle se réfléchit à leur surface, tandis qu'une certaine partie est absorbée dans l'intérieur du liquide ou du solide ; 2^o elle traverse ces particules en s'affaiblissant plus ou moins d'intensité suivant l'épaisseur de la couche traversée.

Dans les deux cas, la lumière, en arrivant jusqu'à notre œil, nous donne la sensation de la couleur des corps, mais souvent la couleur vue par réflexion n'est pas la même que celle vue par transparence. Ainsi, la vapeur d'eau en suspension dans l'atmosphère est composée d'un nombre infini de gouttelettes de très petit diamètre ; lorsqu'elle est éclairée obliquement par le soleil, de manière que les rayons réfléchis par les gouttelettes arrivent jusqu'à nous, cette vapeur d'eau prend une teinte bleue, c'est pourquoi les objets éloignés nous paraissent estompés d'une teinte laiteuse blanc bleuâtre.

Au contraire, la vapeur d'eau vue par transparence prend une teinte rouge. Hassenfratz a mis ce fait en évidence en faisant passer les rayons solaires à travers un tube plein d'eau, dont il augmentait progressivement la longueur ; il put constater que la lumière transmise paraissait jaune, puis orangée, puis rouge.

Donc, l'eau partage les rayons en deux parts, l'une qu'elle transmet, qui est jaune et passe au rouge, l'autre qu'elle diffuse et qui est complémentaire. C'est celle-là que nous renvoient les eaux profondes des lacs ou de la mer, et c'est pour cela qu'elles sont vertes ou bleues¹.

De même l'atmosphère est bleue par diffusion et rouge par transparence ; la différence est surtout sensible lorsque la lumière traverse une couche d'air de grande épaisseur,

1. JAMIN. *Cours de physique*.

c'est ce qui explique notamment les teintes rougeâtres du ciel le matin et le soir lorsque le soleil est près de l'horizon.

Lorsque l'image d'un objet éloigné vient se former sur une plaque sensible, celle-ci reçoit en même temps les rayons bleus réfléchis par la vapeur d'eau, comme il vient d'être dit ci-dessus. Ces rayons bleus, étant plus photogéniques que les autres rayons colorés de l'objet, impressionnent de préférence le bromure d'argent et l'image obtenue est indécise et floue.

Il résulte de là que si l'on veut obtenir une image nette d'un objet lointain, il faudra nécessairement intercepter ces rayons bleus dus à la vapeur d'eau; on y arrive en plaçant devant l'objectif un verre jaune (teinte complémentaire du bleu).

Mais l'emploi de ce verre jaune a pour résultat d'intercepter aussi la majorité des rayons bleus émis par l'objet; la plaque sensible reçoit donc principalement des rayons rouges (qui, parmi tous les rayons colorés, sont ceux qui traversent le plus facilement l'atmosphère) et aussi quelques-uns des autres rayons du spectre, plus ou moins affaiblis par leur passage à travers le verre jaune.

Ces rayons étant les moins photogéniques, nécessitent pour leur impression une pose très prolongée, ce qui rend fort difficile l'emploi des plaques ordinaires.

La découverte de l'orthochromatisme a permis de rendre les plaques sensibles à toutes les couleurs par le mélange de certaines substances colorées avec le bromure d'argent; ainsi, par exemple, en ajoutant au bromure d'argent de l'éosine et de l'érythrosine, on rend la plaque sensible au jaune et au vert et on diminue sa sensibilité au bleu.

Il est dès lors fort avantageux d'employer avec l'écran jaune des plaques orthochromatiques sensibles au rouge, ou mieux, au rouge et au vert, pour tenir compte de la

prédominance de cette dernière teinte dans la coloration habituelle du paysage.

Malheureusement, dans l'état actuel de la préparation des plaques sensibles, les plaques orthochromatiques avec écran jaune nécessitent une pose 20 à 30 fois plus longue que les plaques ordinaires, de sorte que les instantanés sont difficiles ; l'emploi de ce cliché ne sera donc tout à fait avantageux que lorsqu'on aura pu augmenter dans les limites convenables la sensibilité des plaques orthochromatiques.

CHAPITRE II.

TÉLÉPHOTOGRAPHIE EN BALLON¹.

Les ballons des parcs aérostatiques militaires, dont sont actuellement pourvues toutes les grandes puissances, peuvent être employés aux reconnaissances soit comme ballons libres, planant par-dessus les positions ennemies, soit comme ballons captifs placés à une distance suffisante pour n'avoir rien à craindre du tir de l'infanterie et de l'artillerie et pouvant s'élever à la hauteur nécessaire pour dominer le terrain et découvrir l'ennemi derrière les masques naturels du sol. Mais, dans ce dernier cas, c'est le problème de la photographie à grande distance qu'il faut résoudre, problème d'autant plus ardu qu'on opère dans une nacelle des plus mobiles, laquelle, d'autre part, ne saurait admettre des instruments ou trop volumineux ou trop lourds.

Malgré ces difficultés, les études récentes, dont la photographie à grande distance en ballon a fait l'objet, permettent d'espérer des résultats favorables, et les expériences

1. Voir Téléphotographie en ballon, *Revue d'aéronautique*, 7^e année.

faites en France dans un but exclusivement militaire ont déjà montré tout ce qu'il était possible d'attendre de ce puissant moyen d'investigation. Il convient de rechercher tout d'abord :

1° L'influence de l'éclairage et de la pureté de l'air sur la qualité des épreuves photographiques ;

2° Les conditions d'emploi, à la guerre, des ballons et des appareils photographiques qu'ils peuvent emporter ;

3° L'influence des mouvements de l'aérostat sur les opérations photographiques.

En second lieu nous étudierons les divers appareils employés et les moyens les plus propices pour les utiliser dans les opérations de la guerre.

1° *Influence de l'éclairage et de la pureté de l'air.* — En temps ordinaire et même par beau soleil, la terre est recouverte d'une légère brume qui rend les lointains des paysages difficiles à saisir.

Dès qu'on s'élève à une hauteur de 500 m ou 1 000 m, on aperçoit entre le sol et la nacelle une buée translucide qui voile à l'observation la surface terrestre. Elle est plus opaque le matin et le soir que vers le milieu du jour et elle disparaît presque complètement pendant les quelques instants qui suivent les grosses pluies d'orage.

Cette brume, occasionnée par la vapeur d'eau de l'atmosphère, a un effet des plus nuisibles sur la finesse et la netteté des images des objets éloignés. Elle affaiblit l'éclairage, revêt les lointains d'une teinte bleuâtre qui diminue les effets d'ombre et de lumière et rend confuses les lignes du paysage ; dans ces conditions un léger voile semble recouvrir les clichés et les détails sont noyés.

Au voisinage et dans l'intérieur des grandes villes, l'atmosphère est en outre souillée par une quantité innombrable de corpuscules qui enveloppent les objets éloignés d'une teinte grisâtre et produisent des images sans relief. Dans de tels milieux, c'est immédiatement après

une pluie nocturne, qui aura purifié l'air, qu'il sera le plus facile d'obtenir de bonnes épreuves.

Enfin, par les temps chauds, certaines couches de l'atmosphère sont animées de mouvements ascendants par suite de leur échauffement au contact du sol ; il semble alors que les objets éloignés éprouvent comme une sorte de trépidation. En particulier, la présence de rivières ou de marais au milieu de terrains fortement échauffés par le soleil fait naître des courants verticaux de vapeurs dont le pouvoir absorbant considérable a été mis en évidence par Tyndall.

Toutes ces causes tendent à affaiblir les images. Pour compenser cette insuffisance de lumière, l'aéronaute doit employer des objectifs très lumineux donnant des images parfaitement éclairées, choisir, grâce à un obturateur réglable, le temps de pose maximum compatible avec les mouvements du ballon, et enfin employer des plaques très rapides dont la gélatine ait un grain très fin, de manière à permettre ultérieurement les agrandissements.

2° *Conditions d'emploi à la guerre de la photographie en ballon.* — Les distances et les altitudes auxquelles doit se trouver la nacelle de l'aérostat, par rapport au terrain à reproduire, sont déterminées par la nécessité de mettre le ballon et son personnel à l'abri des effets du tir de l'infanterie et de l'artillerie.

De nombreuses expériences ont été entreprises pour déterminer le degré de vulnérabilité des aérostats.

Les premières ont eu lieu en Angleterre en 1880, où des shrapnels de 13 livres ont atteint un ballon situé à 260 m d'altitude et à une distance de 1 800 m. A Cummersdorf¹, en 1889, on a procédé à une série plus complète de tirs, sur deux ballons placés à 5 km de la batterie et dont la hauteur a varié entre 100 et 200 m. L'un fut atteint au 10^e coup, le second tomba au 25^e. Ils étaient

1. *Neue militärische Blätter.*

percés l'un et l'autre de vingt à trente trous qui s'élargissaient par la fuite du gaz.

La même année, en France, des expériences analogues eurent lieu au camp de Châlons.

En Russie, dans un tir exécuté au polygone de Krasnoé-Sélo sur un ballon placé à la distance de 3 700 m, 8 coups furent employés au réglage du tir, puis on tira par salves de deux pièces : aux 11^e et 12^e coups, la partie inférieure du ballon fut atteinte et devint rapidement flasque ; l'aérostât, ballotté par un assez fort vent du sud-ouest, commença à descendre lentement. On continua alors à tirer 7 ou 8 projectiles, mais aucun d'eux n'atteignit l'aérostât, bien que le tir pût être considéré comme réglé, puisque le but avait été atteint une première fois.

Dans les tirs du même genre qui eurent lieu au polygone de Oust-Ijora, en 1890, 30 projectiles furent tirés à 3 200 m. Le ballon ne fut atteint qu'au 27^e coup ; il présentait 5 déchirures provenant d'éclats et 25 trous produits par les balles des shrapnels.

Enfin, une dernière série d'expériences a été faite à Bourges en 1892 ; elle a montré qu'au delà de 5 000 m il est presque impossible d'atteindre un ballon captif.

Toutes ces expériences, n'ayant pu se faire dans les conditions véritables de la guerre, ne permettent pas de conclure d'une façon positive sur le temps qu'il faudrait à l'ennemi pour régler son tir et atteindre l'observateur aérien, mais elle ont donné des résultats assez concordants au point de vue de la méthode à employer et de la distance où un aérostât peut être facilement atteint.

Le tir à shrapnels est le seul vraiment dangereux, parce qu'il est le seul réglable, grâce à la visibilité du point d'éclatement en l'air. Ce n'est pas à dire toutefois que ce réglage soit des plus faciles et que l'observation directe y suffise ; on ne peut affirmer en effet avec certitude qu'un coup est trop court, que si, au moment de l'éclatement, on voit la gerbe se projeter sur le ballon lui-même.

Dans tout autre cas on ne peut apprécier la distance du point d'éclatement au but, faute de points de comparaison, et il est nécessaire d'avoir recours soit à des télémètres instantanés pour mesurer l'éloignement du ballon, soit à deux postes d'observation placés aux extrémités d'une base mesurée.

Le nombre des coups nécessaires est assez variable, mais, sauf le cas d'un projectile heureux, il en faut en général une douzaine pour régler le tir.

Tels sont les effets produits par le tir de l'artillerie.

Quant au feu de l'infanterie, il n'a de chances de produire un résultat appréciable, c'est-à-dire une avarie susceptible de provoquer la chute du ballon, qu'à une distance inférieure à 1 000 m, et cela quelle que soit l'altitude.

Bien qu'en campagne les résultats doivent évidemment être moins favorables, on admet qu'un ballon devra généralement se tenir à une distance de 4 à 5 km des batteries ennemies.

Il résulte de ces considérations que les photographies en ballon captif devront pouvoir être prises à une distance de 5 km environ.

Au point de vue de l'altitude à choisir pour l'aérostat, il y aura presque toujours intérêt à ce qu'elle soit la plus élevée possible, étant donnée la force du vent. En effet, pour les lointains, les différences d'altitude, faisant varier très faiblement les distances à l'aérostat, influenceront peu sur les dimensions des détails; d'autre part, les positions respectives des objets ressortiront d'autant mieux que l'altitude sera plus grande, car, à faible hauteur, les images se masquent les unes les autres. Enfin, une grande altitude aura encore l'avantage de n'interposer, entre l'objet à photographier et la plaque sensible, que l'épaisseur la plus petite possible de la couche de brume qui, en temps ordinaire, recouvre, comme nous l'avons vu, la surface du sol, le rayon visuel la traversant alors

sous une incidence plus grande (fig. 10; BO est plus petit que AO).

Cette hauteur maxima est de 500 m avec les câbles actuels de nos ballons militaires. Elle vient d'être portée à 1 000 m au moyen du nouveau câble métallique expérimenté avec succès en 1895 et 1896.

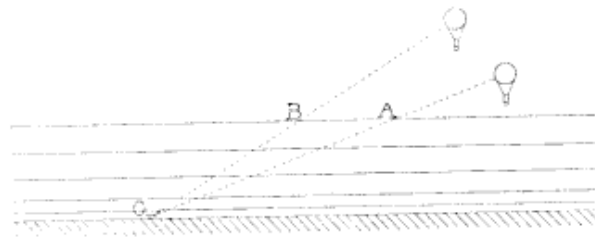


Fig. 10. — Influence de la brume.

Quant aux ballons libres, il leur suffit de s'élever à une hauteur de 1 500 à 2 000 m pour être complètement hors d'atteinte des projectiles ennemis.

3° *Influence des mouvements de l'aérostat sur les opérations photographiques.* — L'aérostat, flottant dans un milieu essentiellement mobile, est soumis à des déplacements constants qui nécessitent l'emploi de la photographie instantanée, c'est-à-dire d'un temps de pose d'une fraction de seconde ($1/50$ en moyenne).

Ces déplacements peuvent se ramener à trois :

Un mouvement de translation ;

Un mouvement de rotation ;

Un mouvement de trépidation.

a) Le *mouvement de translation* a pour effet de déplacer l'aérostat parallèlement à lui-même, son centre de gravité décrivant une courbe quelconque ; si on suppose ce mouvement rectiligne pendant la durée du temps de pose (ce qui est parfaitement permis, étant donné le peu de durée de ce dernier), l'étude géométrique de la question montre que la netteté de l'image ne peut pas être sensiblement altérée par le mouvement de translation, à condition toutefois que le temps de pose soit réglé d'après la vitesse de

marche de l'aérostat, laquelle produit sur la plaque sensible le déplacement, avec une vitesse apparente équivalente, de l'image à photographier.

Parfois, lorsque la photographie doit être prise dans le sens du mouvement, le déplacement relatif de l'image est très faible et le temps de pose peut être notablement augmenté.

Cette vitesse de marche du ballon, qui est celle du vent, est des plus variables ; en général, elle augmente avec la hauteur, au fur et à mesure que les obstacles du sol opposent une résistance moindre à la marche du courant aérien.

Les ascensions libres permettent de constater les variations considérables de cette vitesse.

Parfois le ballon plane pendant de longs moments au-dessus du même point du sol ; c'est ce qui nous est arrivé le 28 juin 1895, où nous sommes restés de 8^h à 9^h du matin au-dessus du village d'Angiville (Loiret).

Parfois la vitesse atteint celle d'un train express (nous avons personnellement observé une vitesse de 75 km à l'heure dans la nuit du 7 mai 1895) ; enfin, dans les tempêtes, la vitesse dépasse 100 km.

Les ascensions en ballon captif deviennent impossibles et mêmes dangereuses, lorsque la vitesse du vent dépasse 10 m par seconde, soit 36 km par heure.

Cette même vitesse est courante pendant les ascensions libres, dans les zones supérieures à 1 000 m.

Pour nos climats, la vitesse moyenne est de 25 km à l'heure, et elle correspond à un temps de pose que nous allons calculer.

Soient un ballon et sa nacelle M se mouvant de gauche à droite et portant un appareil photographique dont la lentille L donne une image I d'un certain objet O (fig. 11).

Pendant la durée du temps de pose $\frac{1}{N}$, la nacelle s'est déplacée de M en M' et l'image de l'objet de I en I'. Les

triangles semblables $L O O'$, $L I I'$ donnent la relation

$$\frac{O O'}{I I'} = \frac{L O'}{L I}.$$

Appelons D la distance $\overline{L O'}$ de l'objet, v la vitesse du vent par seconde, F la distance focale de la lentille, qui

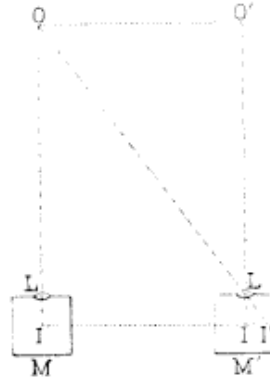


Fig. 11. — Influence du déplacement de la chambre noire.

correspond très sensiblement à la distance $\overline{L I}$, si l'objet est suffisamment éloigné ; il vient

$$\frac{v \times \frac{1}{N}}{\overline{I I'}} = \frac{D}{F}.$$

Pour que l'image I soit nette, il faut que les deux points I , I' soient confondus ou, plus exactement, comme nous l'avons vu, que la distance $\overline{I I'}$ soit au plus égale à un dixième de millimètre. On a donc :

$$\frac{v}{N \times 0,0001} = \frac{D}{F},$$

ou

$$\frac{1}{N} = \frac{D \times 0,0001}{v \times F}.$$

Pour un vent moyen, $v = 6$ m/s environ ; prenons un objet à 1000 m et une lentille de 0,25 m de distance focale, on aura :

$$\frac{1}{N} = \frac{1000 \times 0,0001}{6 \times 0,25} = \frac{1}{15} \text{ de seconde.}$$

Avec une vitesse de vent de 10 m on aura :

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{25} \text{ de seconde,}$$

et avec une vitesse de vent de 20 m :

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{50} \text{ de seconde.}$$

Ces temps de pose sont des minima qu'il convient tout au moins de doubler pour tenir compte de toutes les causes accessoires qui viennent compliquer l'opération ;

b) Le *mouvement de rotation*, dans lequel l'aérostat tourne autour d'un axe en général voisin de la verticale a, lorsqu'il est rapide, une influence générale sur la netteté de l'image et toute photographie nette est impossible pendant sa durée.

En effet, son amplitude atteint souvent en ballon captif plusieurs degrés par seconde et nous avons même mesuré des oscillations de 5 et 6 degrés par seconde ; cette vitesse, pour un objectif de 1 m de foyer, produit sur la plaque sensible le déplacement relatif de l'image avec une rapidité de 0,10 m par seconde. Pour obtenir une netteté de 1/10 de mm, il faudrait donc que la durée du temps de pose ne dépassât pas 1/1 000 de seconde, et il n'existe pas actuellement de plaques assez sensibles pour être impressionnées en un laps de temps aussi court lorsqu'on photographie des objets éloignés.

Mais, en ballon captif, ce mouvement est toujours oscillatoire ; l'aérostat tourne dans un certain sens, subit un léger temps d'arrêt, puis tourne en sens contraire ; l'opérateur doit alors utiliser l'instant du point mort pour prendre la vue et, avec une vitesse d'obturation suffisante, l'image sera nette.

c) Le *mouvement de trépidation* est la conséquence des mouvements de l'aéronaute et de tous les événements amenant un ébranlement de la nacelle ; mais, dans les ballons captifs, il est surtout dû au câble d'attache. Il est

très considérable pendant tout le temps que le câble se déroule sous l'action du treuil à vapeur, et il reste encore sensible quand la machine a stoppé. Les trépidations sont accrues lorsque la voiture à laquelle est fixé le ballon est en marche, même sur une bonne route. Le meilleur moyen pour atténuer cette cause de trouble de l'image consiste à constituer la chambre noire d'une boîte en bois très massive, et de doubler sa partie inférieure d'un capitonnage, destiné à éteindre les vibrations lorsqu'on appuie l'appareil sur le rebord de la nacelle. Il faudra, de plus, éviter tout mouvement au moment de déclancher l'obturateur.

En résumé, les appareils destinés à la photographie en ballon doivent remplir les conditions suivantes :

1° Être munis d'un viseur (et une simple alidade suffit pour cet effet), en raison des mouvements auxquels est soumis l'aérostat ;

2° Être munis d'un obturateur réglable pour permettre de choisir convenablement le temps de pose ;

3° La chambre noire sera en bois massif et doublée, en dessous, d'un capitonnage pour amortir les vibrations ;

4° Enfin, l'opérateur devra choisir l'instant d'un temps mort dans les mouvements tournants du ballon et garder l'immobilité absolue en déclanchant l'obturateur ; il choisira autant que possible la seconde moitié du jour et emploiera des plaques très rapides et d'un grain très fin.

Si les appareils à employer sont de la première sorte (chambres à long foyer), ils devront comporter des objectifs très lumineux et d'un grand pouvoir optique, capables de donner des images nettes à la distance de 5 km et même au delà.

Si les appareils sont de la deuxième sorte (téléobjectifs), leur grossissement sera assez limité. En effet, pour que les détails de l'image soient nets, il faut deux conditions :

1° Que l'obturateur soit assez rapide pour que la netteté

ne soit pas perdue par le déplacement relatif de l'image, pendant la durée du temps de pose ;

2° Que le temps de pose soit suffisant pour impressionner convenablement la plaque sensible.

Première condition. — Soit un objectif situé à une distance de 5 000 m, et une vitesse v de vent moyen de 6 m par seconde ; nous avons trouvé, pour la valeur minima du temps de pose d'un objectif simple, l'objet étant placé à la distance D ,

$$\frac{1}{N} = \frac{D \times 0,0001}{v \times F},$$

ou, dans le cas actuel,

$$\frac{1}{N} = \frac{0,5}{6F} = \frac{1}{12F}.$$

Si l'image est grossie g' fois par l'oculaire, le temps de pose devra être g' fois moindre, puisque le déplacement relatif de l'objet est g' fois plus rapide, soit

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{12Fg'}. \quad (3)$$

Deuxième condition. — Un objectif simple diaphragmé à 1/15 peut impressionner les plaques les plus sensibles par grand soleil et, dans les conditions les plus favorables, avec une pose de 1/100 de seconde. Si cette image est grossie g' fois par l'oculaire, la pose devra être g'^2 fois plus longue, ou

$$\frac{1}{N} = \frac{g'^2}{100}. \quad (4)$$

En égalant les deux valeurs (3) et (4) de $\frac{1}{N}$, on a

$$\frac{1}{12Fg'} = \frac{g'^2}{100},$$

d'où

$$g'^3 = \frac{100}{12F}, \quad \text{puis} \quad G = gg'.$$

Par exemple, on aura les groupes de valeurs :

F	g^{13}	g'	$\frac{1}{N}$	$G = gg'$
1,00 m	$\frac{100}{12}$	2	$\frac{1}{25}$	8
0,50 m	$\frac{100}{6}$	2,5	$\frac{1}{19}$	5
0,25 m	$\frac{100}{3}$	3,3	$\frac{1}{16}$	3,3

Telles sont les conditions d'établissement des téléobjectifs susceptibles d'être employés en ballon.

On voit qu'en opérant dans les meilleures conditions possibles, avec un vent moyen et par grand soleil, il est difficile de dépasser le grossissement de 8, à moins d'employer des longueurs d'appareils exagérées.

Appareils à employer en ballon captif.

En résumé, il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'appareils pouvant donner à la fois le grossissement convenable, le champ et l'instantanéité.

Les appareils à employer, susceptibles de donner séparément le champ et le grossissement, sont :

1° Les objectifs simples de 1 m de foyer ; avec un diaphragme de $\frac{F}{15}$ et même de $\frac{F}{20}$ par très beau temps, ils donnent, dans un champ de 10° environ, des épreuves 13×18 cm², instantanées, d'un grossissement de 4.

Les longueurs comprises dans le champ aux différentes distances sont :

Distance m	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Champ . m	180	360	540	720	900	1080	1260	1440	1620	1800

On voit qu'à 5 000 m le champ pourra embrasser sur le cliché une longueur de 900 m, parfaitement convenable lorsqu'il s'agit de prendre la vue d'un fort et de ses abords.

Ces épreuves sont susceptibles d'être agrandies de 2 à 3 fois, ce qui porte à 8 ou 10 le grossissement définitif.

2° Les longues-vues photographiques et les téléobjectifs avec un grossissement maximum de 8 à 10 pour des appareils de dimensions pratiques; la longue-vue avec objectif de 1 m de foyer et oculaire de 2 cm dont nous avons examiné les conditions d'établissement, peut fournir des épreuves instantanées, avec un champ d'illumination de 10° environ, donnant sur l'épreuve un cercle de 10 cm de diamètre qui correspond à une longueur de 300 m à 5 km; mais le champ net atteint à peine la moitié de cette valeur. Sa longueur totale, donnée par la formule (2), est 1,10 m; la visée est difficile, même par un vent moyen, en raison de l'étroitesse du champ.

Pour les diverses raisons énoncées ci-dessus (étroitesse du champ, difficultés de pointage, faible éclaircissement des images, etc.), il semble donc en définitive qu'il y a lieu de donner la préférence aux appareils à long foyer, qui, grâce au grand pouvoir séparateur de leur objectif, donnent des clichés contenant, à l'état latent, tous les détails dont on a besoin; on peut alors produire ultérieurement l'agrandissement qui doit révéler ces détails à notre œil.

« Nous pensons, dit à ce sujet le lieutenant-colonel Allotte de la Fuye, que les appareils téléphotographiques composés sont surtout appelés à rendre des services pour les forts grossissements. Si on limite le grossissement à 8 ou 10, on peut se demander s'il ne serait pas préférable, dans la plupart des cas (et en particulier pour les reconnaissances militaires), d'obtenir des images plus petites, mais plus parfaites comme netteté au moyen d'un appareil simple à long foyer, et de faire subir, après coup, au cliché un agrandissement de 3 à 4. »

Les précautions à prendre pour obtenir de bons clichés sont, comme nous l'avons vu :

1° Opérer autant que possible l'après-midi, pour avoir

la quantité de lumière maxima, et rechercher de préférence un éclairage venant d'arrière en sens oblique;

2° Choisir l'altitude d'après l'état de pureté de l'air et la position des nuages;

3° Régler l'obturateur à la vitesse convenable, étant donnés les mouvements de l'aérostat et la vitesse du vent;

4° Choisir le moment du temps mort dans les mouvements tournants du ballon et de sa nacelle;

5° Exiger l'immobilité complète à bord de l'aérostat au moment de presser le déclic de l'obturateur.

Quant à la manière de placer la chambre, le mieux est de l'appuyer simplement sur le bord de la nacelle, de la maintenir de la main gauche et de déclancher avec la main droite, au moment voulu, le ressort de l'obturateur. Les divers modes d'attache que nous avons mis à l'essai (étrier à pivot, suspension aux cordages, etc.) nous ont paru peu commodes, étant donné l'espace restreint dont on dispose dans la nacelle du ballon normal, et nous y avons finalement renoncé, même pour les grandes chambres du format de 21×26 cm² avec objectif de 1 m de foyer.

Appareils à employer en ballon libre.

L'obtention des clichés photographiques en ballon libre est infiniment plus simple; on peut, le plus souvent, opérer à petite distance, ou même dans la verticale du ballon, à une hauteur ne dépassant pas 2000 m, et de simples appareils instantanés ordinaires de 0,25 à 0,30 m de foyer donnent de bons résultats.

L'appareil doit être pourvu d'un viseur (comme dans le cas du ballon captif) en raison des mouvements auxquels est soumis l'aérostat; la chambre doit être robuste, tout d'une pièce, sans parties saillantes, les organes de l'obturateur très rustiques, afin de n'être pas détériorés par les chocs lors de l'atterrissage.

Emploi de ballons non montés et de cerfs-volants.

A défaut d'aérostats de grande capacité, on a cherché à utiliser la photographie aérienne en employant des petits ballons captifs non montés, munis d'appareils à déclenchement automatique permettant d'obtenir des vues verticales de tout le terrain parcouru.

Des expériences ont été faites, en 1884, à Chatham, par le major anglais Eleslade¹, avec une chambre photographique fonctionnant automatiquement dès que le ballon atteignait une hauteur déterminée.

En 1885, M. Cassé, en France, a repris ces expériences et obtenu des vues assez nettes de la butte Montmartre, avec un obturateur à guillotine muni d'une mèche à temps.

Enfin, on a aussi fait usage d'appareils munis d'obturateurs à électro-aimant, dont le déclenchement fonctionnait de terre par l'intermédiaire d'un fil conducteur contenu dans le câble de retenue du ballon. Ces divers procédés ont été essayés, dans ces dernières années, à l'École du génie de Versailles, avec un ballon de 50 m³, gonflé à l'hydrogène pur.

Citons enfin le dispositif intéressant de M. Triboulet, qui permet, au moyen d'appareils disposés en hexagone dans une nacelle, de relever tout le tour d'horizon; une dernière chambre noire, située dans la partie inférieure, est destinée à donner une vue du terrain situé directement au-dessous de l'aérostat. Tous les obturateurs sont commandés électriquement et peuvent être déclenchés de terre d'une façon simultanée.

Ces appareils divers ont l'avantage d'employer des ballons fort peu volumineux, par conséquent d'une manœuvre facile; mais, par cela même, ces ballons ne peuvent servir que par les temps tout à fait calmes, leur prise au vent

1. *Revue de l'aéronautique*, janvier 1888.

étant proportionnellement beaucoup plus grande que pour les gros ballons. L'action du vent varie, en effet, avec la surface, c'est-à-dire comme le carré du rayon, tandis que la force ascensionnelle diminue comme le cube, par conséquent beaucoup plus rapidement.

On a cherché aussi à utiliser les cerfs-volants comme engins porteurs de la chambre noire; M. Batut s'est particulièrement occupé de cette question et a fait usage d'un cerf-volant doublé en soie ponghée de Chine et mesurant 2,50 m sur 1,75 m, qui porte à son centre une chambre rigide faisant corps avec lui; l'obturateur est constitué par une guillotine munie d'une mèche à temps que l'on allume au moment du départ. M. Wenz a repris cette question avec un certain succès; il s'est attaché à rendre le cerf-volant démontable pour en faciliter le transport et a placé la chambre dans une sorte de suspension trapézoïdale, ce qui permet de l'incliner à volonté et de dégager complètement le champ.

Tous ces essais sont intéressants et méritent d'être mentionnés, mais ils n'ont guère pu fournir jusqu'ici que la vue, prise à faible hauteur, du terrain situé au-dessous de l'engin porteur de la chambre noire.

Il est évident que si, au lieu de prendre des vues verticales, on voulait, par ces procédés, chercher à photographier les lointains, on aurait à surmonter toutes les difficultés ordinaires de la photographie en ballon; en outre, le manque de visée et les hasards de l'opération du déclenchement, pouvant souvent avoir lieu au moment qui n'est pas le plus favorable pour l'obtention d'un bon cliché, donneraient les résultats les plus aléatoires.

CHAPITRE III

TÉLÉPHOTOGRAPHIE SUR APPUIS FIXES.

La photographie à grande distance sur appuis fixes présente sur la photographie en ballon l'avantage énorme de l'immobilité de la chambre noire et, par suite, la possibilité d'obtenir des clichés posés; par contre, elle ne permet d'opérer que sur les points précis où se trouvent des stations ayant un commandement suffisant.

L'emploi des plaques orthochromatiques avec écran jaune est tout indiqué; il permet d'obtenir des clichés extrêmement nets, tels celui des casernes alpines, obtenu par le lieutenant-colonel Allotte de la Fäye, du sommet de la Moucherotte, près de Grenoble, et celui du quartier du Panthéon que nous avons obtenu, en 1896, de la 4^e plate-forme de la tour Eiffel.

Les divers genres d'observatoires à employer sont :

1^o Les mâts formés de perches de sapin pouvant se dresser bout à bout à l'aide de cordes et de poulies, comme ceux qui ont été utilisés, en 1890, à l'École de Grenoble, jusqu'à une hauteur de 35 m, pour obtenir des vues plongeantes sur le terrain des attaques, pendant le simulacre de guerre souterraine; le pointage sur un but donné s'effectue alors au moyen d'un miroir réflecteur calé sur la chambre et l'appareil photographique fonctionne au moyen d'un déclanchement pneumatique ou électrique;

2^o Les sommets de montagnes ou de collines qui, dans les régions accidentées, fournissent immédiatement à l'opérateur un commandement suffisant;

3^o La partie supérieure des édifices ou des monuments; la tour Eiffel se prête particulièrement à ce genre d'observations, et nous avons pu y obtenir en 1896 toute une série de clichés fort intéressants dont les similigravures

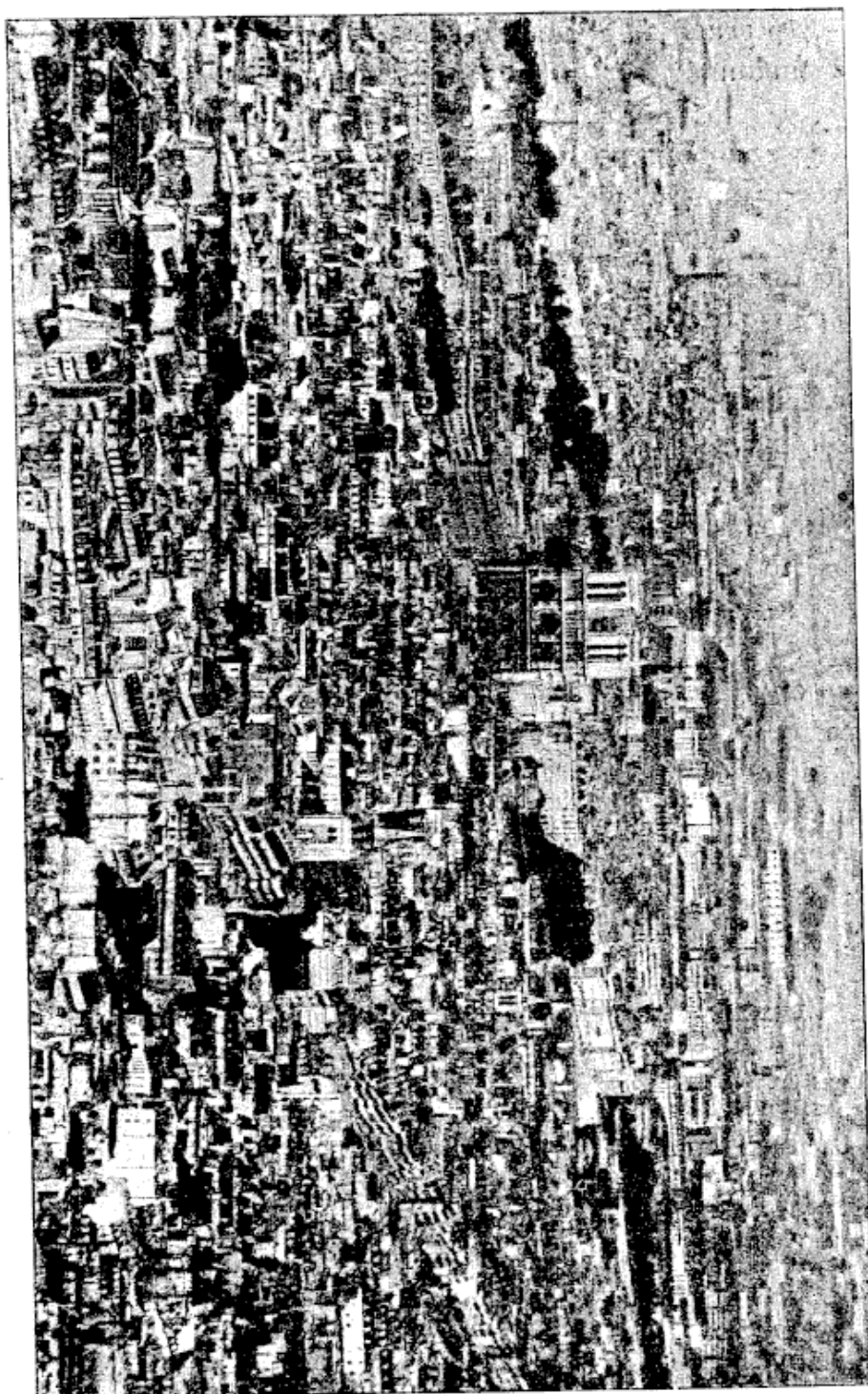


Fig. 12. — NOTRE-DAME DE PARIS.
 Vue instantanée au 1/100 de seconde prise de la 4^e plate-forme de la tour Eiffel.
 (D'après un cliché obtenu avec un objectif de 1 m de foyer.)

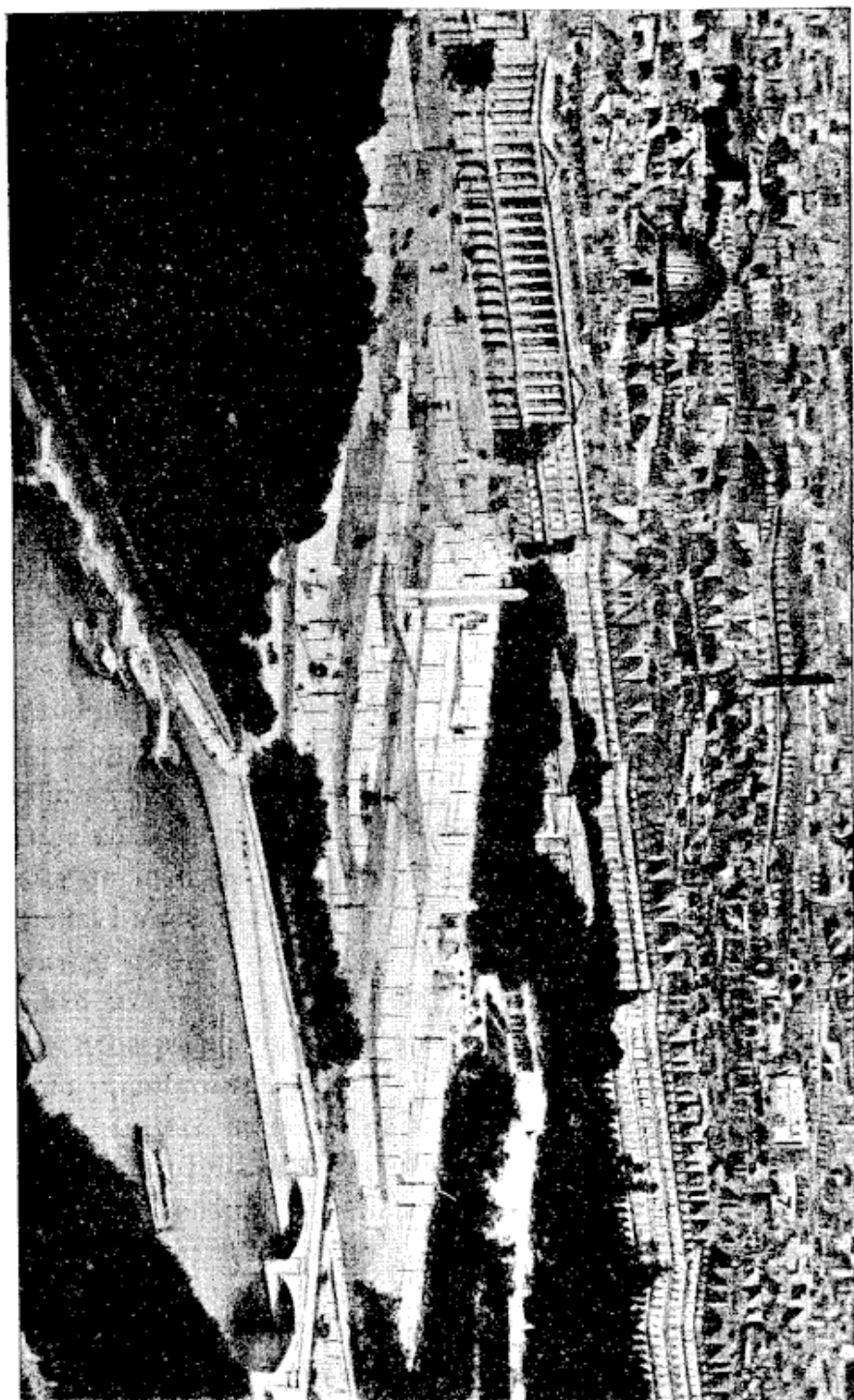


Fig. 13. — LA CONCORDIE.

Vue instantanée au 1/100 de seconde prise de la 4^e plate-forme de la tour Eiffel.
(Déprécié un cliché obtenu avec un objectif de 1 m de foyer.)

ci-jointes (fig. 12 et 13) ne peuvent donner qu'une faible idée. Il convient toutefois de remarquer que les ouvrages métalliques tels que la tour Eiffel ne permettent l'obtention des clichés posés que par vent faible ; dès que la vitesse du vent atteint 8 à 10 m par seconde, il est nécessaire de recourir à l'instantané, à cause des balancements et des vibrations produites par les rafales.

Contrairement à ce qui se passe en ballon, il est possible d'employer sur les appuis fixes les téléobjectifs à fort grossissement qui fournissent immédiatement une image très amplifiée des objets. La seule difficulté réside dans la mise au point, à cause du peu d'éclairement des images ; aussi convient-il de graduer à l'avance les appareils de manière à obtenir automatiquement la mise au point correspondant à un grossissement donné, pour un objet situé à une distance connue.

La chambre doit avoir, de plus, une stabilité parfaite ; la moindre vibration de celle-ci est multipliée par le grossissement et donne une image floue.

Si on observe soigneusement toutes ces précautions, il devient possible d'opérer à des distances considérables et nous citerons à ce propos la magnifique épreuve obtenue à Genève par M. Boissonnas et représentant le massif du Mont-Blanc à la distance de 70 km. La relation suivante donne d'ailleurs une idée des difficultés à vaincre lorsqu'il s'agit d'appliquer la téléphotographie à de telles distances.

« Les premiers essais furent commencés en mai et ce n'est qu'après quatre mois de tâtonnements, tant pour chercher la station la plus convenable que pour déterminer le temps de pose et l'heure la plus favorable, qu'il fut possible d'obtenir l'épreuve définitive, le 25 septembre 1892, avec une exposition de dix minutes et en employant des plaques orthochromatiques avec écran jaune très foncé. Il était six heures du soir et le soleil se cachait derrière la montagne environ vingt minutes plus tard. L'expérience avait prouvé que c'était le moment le plus favorable pour

obtenir une épreuve harmonieuse en même temps que le maximum de modelé et de détails dans les neiges, qui se teintent peu à peu de jaune pâle, ce qui augmente beaucoup l'effet produit. Les diverses épreuves obtenues au cours de ces expériences montrent, d'une manière fort nette, les mouvements de déplacement des glaciers qui provoquèrent la terrible catastrophe de Saint-Gervais. »

CHAPITRE IV

APPLICATIONS DE LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE.

1° *Reconnaissances de frontières.* — Le lieutenant-colonel Allotte de la Fuye a exécuté avec succès une reconnaissance de la frontière italienne, en avant de Briançon, avec des appareils à long foyer et des téléobjectifs en se plaçant sur des positions dominantes, capables de donner des vues plongeantes sur les ouvrages voisins.

Les ballons peuvent être employés aux mêmes reconnaissances dans les pays plats ou peu accidentés dépourvus d'observatoires naturels permettant de dominer le terrain de l'adversaire.

2° *Opérations de la guerre de siège.* — Dans la guerre de siège on pourra obtenir des vues de la place et de ses abords, compter le nombre des pièces en batterie, suivre jour par jour les travaux effectués dans les ouvrages, les effets du bombardement et les résultats du tir en brèche sur les maçonneries. C'est ainsi que, pendant les manœuvres d'artillerie au camp de Châlons en août 1896, nous avons utilisé en ballon captif un appareil de 1 m de foyer pour obtenir le repèrément des batteries en construction dont un grand nombre étaient absolument invisibles pour l'observateur placé au niveau du sol.

Après les opérations de l'investissement, l'assiégeant, maître de tout le terrain environnant, lancera des ballons libres en amont de la place et choisira le point de départ et la direction de vent favorables pour passer à une hauteur convenable au-dessus des ouvrages assiégés. L'aérostat redescendra en aval aussitôt après avoir exécuté la traversée, et le photographe rapportera des vues complètes et détaillées des travaux et des armements de la défense, beaucoup mieux que ne pourrait le faire à simple vue, et en passant ainsi rapidement, l'officier le plus expérimenté.

L'opération est assez facile et nous avons pu la réaliser avec succès pendant les manœuvres de forteresse de Paris, en 1894. Le ballon, parti du village du Pin, à l'est de la position de Chelles-Vaujours, est passé au-dessus du fort de Chelles, lequel a pu être photographié dans d'excellentes conditions, et l'atterrissage a eu lieu près de Nogent-le-Roi, de l'autre côté des lignes de Paris supposé complètement investi.

3° *Emploi dans les levés.* — Le colonel Laussedat a, le premier, étudié les applications de la photographie aux levés des places ; après lui, le commandant Javary a repris la question et obtenu de nombreux relevés de terrains divers. Plus récemment, le commandant Legros et le D^r Le Bon ont imaginé, pour les opérations topographiques, des appareils fort ingénieux ; enfin, le commandant Moëssard, inventeur du cylindrographe, a fait construire un appareil panoramique spécialement disposé pour l'obtention des levés exacts.

Ajoutons qu'à l'étranger la téléphotographie a particulièrement été étudiée en Italie et que l'état-major italien s'est servi du photothéodolite pour obtenir le lever des régions les plus accidentées des Alpes. Tous ces appareils ont été employés sur des stations fixes.

L'obtention de levés exacts au moyen de la photographie en ballon est beaucoup plus compliquée et ne peut

être considérée comme vraiment pratique, mais le procédé peut être employé pour obtenir rapidement des vues de régions nouvellement explorées pour lesquelles il n'existe encore aucune carte.

L'audacieuse expédition de M. Andree au Pôle Nord fournira peut-être un exemple de cette utilisation de la photographie.

CONCLUSION

De l'étude qui vient d'être faite, il ressort que la téléphotographie sera utilisée surtout dans la guerre de siège.

En dehors des observatoires naturels possédant un commandement suffisant et qui ne se présentent qu'exceptionnellement dans des conditions favorables, il faudra avoir recours aux aérostats qui, seuls, pourront placer l'observateur au point voulu, avec l'éclairement convenable et à l'altitude nécessaire pour dominer le terrain et percer la brume qui le recouvre.

L'augmentation graduelle de la sensibilité des plaques photographiques et, par suite, la diminution du temps de pose, favoriseront peu à peu une solution meilleure en permettant d'employer des appareils téléphotographiques à grossissements de plus en plus considérables ; les plaques orthochromatiques avec écran jaune, lorsque leur sensibilité aura été suffisamment accrue pour qu'elles puissent donner facilement des instantanés, permettront alors de photographier les lointains avec une netteté incomparable. Enfin, un ballon dirigeable, seul, pourra autoriser la photographie à rendre, dans toutes les circonstances de la guerre, les services que l'on ne peut guère aujourd'hui lui demander que dans un cas spécial, celui de la guerre de forteresse.

BOUTTIEUX,
Capitaine du génie.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Introduction	193
I. Appareils à employer.	195
Appareils simples à long foyer.	195
Foyer principal.	195
Grossissement	197
Aberration de sphéricité	198
Aberration chromatique	199
Champ	200
Rapidité	201
Pouvoir optique.	202
Netteté	203
Longues-vues photographiques et téléobjectifs.	204
Grossissement	206
Longueur de l'instrument à oculaire convergent.	208
— — — — — divergent	209
Champ	209
Nature des plaques à employer	210
II. Téléphotographie en ballon.	213
Éclairage et pureté de l'air.	214
Conditions d'emploi à la guerre.	215
Influence du mouvement de l'aérostat sur les opérations photographiques.	218
Appareils à employer en ballon captif	224
— — — — — libre.	226
Emploi de ballons non montés et de cerfs-volants	227
III. Téléphotographie sur appuis fixes.	229
IV. Applications de la téléphotographie	233
Reconnaissances de frontières.	233
Opérations de la guerre de siège	233
Emploi dans les levers	234
Conclusion	235