

CHAPITRE VII.

DU TEMPS DE POSE.

§ 1^{er}. — OBJETS EN REPOS.

190. Définition. — Lorsque l'on a convenablement choisi l'objectif, la chambre noire, le sujet à photographier et la surface sensible, il faut déterminer la durée d'action des radiations lumineuses. Cette détermination exacte est théoriquement difficile; il est cependant fort utile, pour la facilité des opérations ultérieures, de connaître, avec une certaine approximation, la durée du temps de pose. Les opérations photographiques auront été bien conduites si nous obtenons une image *fidèle* de l'objet à reproduire; il y aura alors proportionnalité entre les éclats des diverses parties de l'objet et les éclats des parties correspondantes de l'épreuve.

On n'obtient pas généralement une image positive dans la chambre noire; on passe par l'intermédiaire d'un *cliché négatif* présentant des transparences variables. Nous admettons que l'impression de l'épreuve positive donnera des tons sensiblement proportionnels aux transparences du cliché. Le problème de la détermination du temps de pose se réduit à celui-ci : *déterminer la durée de la pose de manière que les transparences des diverses parties du cliché soient inversement proportionnelles aux éclats des parties correspondantes de l'objet*¹.

Un objet à photographier est composé d'un nombre quelconque d'éléments :

$$p_1, p_2, p_3, \dots p^n,$$

1. De la Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*. Paris, Gauthier-Villars, 1889.

qui présentent chacun un éclat différent et donnent sur la glace dépolie des images dont les illuminations lumineuses sont :

$$l_1, l_2, l_3, \dots l_n,$$

et les illuminations actiniques :

$$a_1, a_2, a_3, \dots a_n,$$

illuminations actiniques qui dépendent : 1° des éclats intrinsèques actiniques $A_1, A_2, \dots A_n$ des divers éléments de l'objet quand le faisceau éclairant de composition déterminée a une intensité actinique totale égale à l'unité ; 2° de l'intensité actinique I du faisceau éclairant ; 3° de la distance D de l'objet à l'objectif ; 4° des angles $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots \alpha_n$ que font les axes secondaires des éléments $p_1, p_2, p_3, \dots p_n$ avec l'axe principal de l'objectif ; 5° de la distance focale principale de l'objectif ; 6° de la clarté décimale C de l'objectif. Ces quantités étant déterminées, on démontre que les illuminations actiniques $a_1, a_2, \dots a_n$ seront déterminées par une série d'équations de la forme

$$a_n = A_n I \frac{(D - F)^2}{D^2} C \frac{\pi}{40} \cos^4 \alpha_n.$$

Après développement et fixage, on obtient sur le cliché un dépôt d'argent réduit, dépôt qui donne des transparences

$$\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \mathbf{T}_3, \dots \mathbf{T}_n.$$

Or, ces transparences sont fonction de diverses quantités parmi lesquelles les plus importantes sont : 1° l'illumination actinique des divers éléments $a_1, a_2, \dots a_n$; 2° la durée d'action lumineuse ou temps de pose t ; 3° la sensibilité de la plaque s ; 4° l'épaisseur ε de la couche sensible ; 5° le coefficient d'absorption μ de ladite couche ; 6° le coefficient d'absorption de cette même couche saturée de métal réduit ν . Ces diverses quantités étant déterminées, on trouve par le calcul que les transparences $\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \dots \mathbf{T}_n$ sont données par des équations de la forme

$$\mathbf{T}_n = e^{-ta_n \frac{s\nu}{\mu}} (1 - e^{-\mu\varepsilon}),$$

e étant la base des logarithmes népériens. En posant

$$\frac{\nu}{\mu} (1 - e^{-\mu\varepsilon}) = k,$$

les équations précédentes prennent la forme

$$\mathbf{T}_n = e^{-ta_n ks}$$

et, en prenant les logarithmes des deux nombres,

$$L \mathbf{T}_n = - t a_n k s .$$

Nous voulons que les transparences

$$\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \mathbf{T}_3, \dots \mathbf{T}_n$$

soient inversement proportionnelles aux illuminations actiniques

$$a_1, a_2, a_3, \dots a_n .$$

Il faudra donc que l'on ait

$$\frac{\mathbf{T}_1}{\mathbf{T}_2} = \frac{a_2}{a_1}, \quad \frac{\mathbf{T}_2}{\mathbf{T}_3} = \frac{a_3}{a_2}, \quad \frac{\mathbf{T}_3}{\mathbf{T}_4} = \frac{a_4}{a_3}, \quad \dots \quad \frac{\mathbf{T}_{n-1}}{\mathbf{T}_n} = \frac{a_n}{a_{n-1}},$$

ou bien

$$\mathbf{T}_1 a_1 = \mathbf{T}_2 a_2 = \mathbf{T}_3 a_3 \dots = \mathbf{T}_n a_n ,$$

et, en prenant les logarithmes,

$$L \mathbf{T}_1 + L a_1 = L \mathbf{T}_2 + L a_2 = L \mathbf{T}_3 + L a_3 \dots = L \mathbf{T}_n + L a_n ,$$

ou bien

$$L a_1 - t a_1 k s = L a_2 - t a_2 k s \dots = L a_n - t a_n k s .$$

On a donc $n - 1$ équation déterminant en général $n - 1$ temps de pose t pour reproduire fidèlement les $n - 1$ éléments p . En pratique, on peut admettre que le nombre des éléments d'éclat différent se réduit à deux, et pour ces deux éléments on choisit les deux parties les plus importantes du sujet à photographier. Dans cette hypothèse, la valeur de t sera déterminée par la condition que ces deux parties seront reproduites avec leurs valeurs relatives; l'équation qui donnera le temps de pose sera alors

$$L a_1 - t a_1 k s = L a_2 - t a_2 k s ,$$

d'où

$$t = \frac{L a_1 - L a_2}{k (a_1 - a_2) s} ;$$

mais les illuminations actiniques a_1, a_2 sont données par des équations telles que

$$a_n = A_n I \frac{(D - F)^2}{D^2} C \frac{\pi}{40} \cos^4 \alpha_n ;$$

par conséquent,

$$t = \frac{L A_1 \cos^4 \alpha_1 - L A_2 \cos^4 \alpha_2}{A_1 \cos^4 \alpha_1 - A_2 \cos^4 \alpha_2} \frac{1}{k} \frac{40}{\pi} \frac{1}{I} \frac{1}{C} \frac{1}{s} \frac{D^2}{(D - F)^2} .$$

Pour simplifier, désignons par

$$\frac{1}{E} = \frac{L A_1 \cos^4 \alpha_1 - L A_2 \cos^4 \alpha_2}{A_1 \cos^4 \alpha_1 - A_2 \cos^4 \alpha_2} \frac{1}{h} \frac{40}{\pi}$$

La formule du temps de pose est donc :

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

On obtiendra donc le temps de pose en faisant le produit de ces cinq facteurs ou coefficients.

191. Détermination numérique des coefficients. — 1^o On pourrait déterminer pratiquement les diverses quantités qui entrent dans l'expression du coefficient d'éclat $\frac{1}{E}$. Cette détermination est pratiquement inutile; on se borne à chercher la valeur de ce coefficient dans quelques circonstances qui se présentent habituellement. On a trouvé les nombres suivants pour la valeur de $\frac{1}{E}$.

Nuages blancs.	0,0005
Mer.	0,001
Neige.	0,001
Glaciers (glace bleue dans les Pyrénées).	0,002
Bateaux en mer.	0,003
Vue panoramique, paysage ordinaire.	0,004
Verdure avec monuments blancs.	0,005
Verdure rapprochée seule, sujets animés, etc.	0,01
Reproduction de traits noirs sur fond blanc.	0,02

192. Coefficient d'éclairage. — Le coefficient d'éclairage $\frac{1}{I}$ est l'inverse de l'intensité actinique du faisceau qui éclaire l'objet. On prend pour unité l'intensité maxima que peut acquérir à Paris un faisceau de rayons solaires. Le tableau des coefficients d'éclairage **192 — A** montre que si ce coefficient est 1 en plein soleil, il est égal à 4 à l'ombre par un ciel serein, et qu'il peut varier de 4 à 40 si le ciel est couvert. Dans un atelier, le coefficient est 12 en moyenne, etc. Nous avons supposé que la source de lumière était placée à 1 mètre de l'objet éclairé.

Les coefficients d'éclairage de la lumière solaire varient avec l'époque de l'année. Bunsen et Roscoë ont fait des mesures qui ont permis d'établir la variation du coefficient d'éclairage. La table des coefficients (**192 — B**) et facteurs d'éclairage en fonction de la hauteur du soleil donnera donc ces coefficients quand on connaîtra la hauteur du soleil, hauteur qui varie suivant les circonstances. Désignons par λ la latitude du lieu où l'on opère, δ la déclinaison du soleil et α son angle horaire le jour et à l'heure considérée, la hauteur h sera donnée par la formule

$$\sin h = \cos \alpha \cos \lambda \cos \delta + \sin \lambda \sin \delta.$$

Coefficients d'éclairage

(D'après Eder, Abney et Vogel).

192 — A

SOURCES DE LUMIÈRES	COEFFICIENTS d'éclairage.
Lumière directe du soleil, le 21 juin, à midi, à Paris.	1
Lumière diffusée par un ciel serein.....	4
Lumière diffusée par un ciel couvert.....	4 à 10
Lumière tamisée par les feuilles (sous bois).....	270
Lumière d'un atelier.	12
Dans un appartement à un mètre d'une fenêtre.....	70
Dans une église bien éclairée.	200
Lampe électrique à arc (*).	36
Lampe électrique à incandescence d'Edison ou de Swan.....	1,800
Lampe électrique alimentée par une batterie Grove de 14 éléments.	50,000
Lampe électrique alimentée par une batterie Grove de 20 éléments.....	4,700
Lampe électrique alimentée par une batterie Grove de 24 éléments.....	1,600
380 lampes à incandescence alimentées chacune par 24 éléments Grove produisent le même effet que la lumière diffusée par un ciel serein. ...	4
Lumière oxhydrique ordinaire.....	50
Lumière oxhydrique alimentée par de l'oxygène, sous une pression de $5^{\text{at}} \frac{1}{2}$	7
Fil de magnésium plat de 0 ^{mm} 3 de largeur.....	14
Fil de magnésium plus fort.....	5
Lampe à huile ordinaire.....	2,250
Lampe à huile alimentée par un courant d'oxygène.....	400
Bec de gaz papillon.....	1,000
Lampe à pétrole à mèche ronde.	2,250
Bougie de paraffine ou de stéarine.	18,000
Chandelle.	26,000

(*) Nous supposons toujours que la source de lumière est placée à un mètre de l'objet éclairé.

Coefficients et facteurs d'éclairage en fonctions de la hauteur du Soleil

(D'après les expériences de Bunsen et de Roscoë).

192 — B

HAUTEUR du Soleil au-dessus de l'horizon.	SOMME des forces chimiques du Soleil et de la lumière diffusée par le ciel.	COEFFICIENTS d'éclairage.	FORCE chimique de la lumière diffusée par le ciel.	FACTEURS d'éclairage.
0°	3,1	55,5	3,1	14,0
10	17,1	9,4	15,1	2,7
20	52,6	3,1	24,7	1,6
30	91,9	1,7	31,7	1,3
40	122,8	1,3	36,1	1,1
50	145,5	1,1	38,1	1,1
60	160,7	1,0	39,1	1,0
70	170,8	0,9	39,6	1,0
80	176,4	0,9	39,7	1,0
90	178,1	0,9	39,7	1,0

Coefficients d'éclairage en fonction du jour de l'année, de l'heure de la journée.

192 — C

↓	JANVIER		FÉVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		Soir.
	1-15	15-31	1-15	15-29	1-15	15-31	1-15	15-30	1-15	15-31	1-15	15-30	
h. m.													h. m.
4,00													8,00
30													30
5,00													7,00
30													30
6,00													6,00
30													30
7,00													5,00
30													30
8,00	30	30	15	12	6	4	3,5	3	2,5	2	1,8	1,7	4,00
30	15	12	7	4	3	2	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6	30
9,00	10	6	4	3,5	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	3,00
30	7	5	3	2,5	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	30
10,00	5	4	3	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	2,00
30	4	3,5	2,5	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	30
11,00	4	3,5	2,5	1,8	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,00
30	3,5	3	2,5	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1	1	1	30
midi	3,5	3	2,5	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1	1	1	1	midi
Matin.	15-31	1-15	15-30	1-15	15-31	1-15	15-30	1-15	15-30	1-15	15-31	1-15	↑
	DÉCEMBRE		NOVEMBRE		OCTOBRE		SEPTEMBRE		AOÛT		JUILLET		

Facteurs d'éclairage en fonction du jour de l'année et de l'heure de la journée.

192 — D

↓	JANVIER		FÉVRIER		MARS		AVRIL		MAI		JUIN		Soir.
	1-15	15-31	1-15	15-29	1-15	15-31	1-15	15-30	1-15	15-31	1-15	15-30	
h. m.													h. m.
4,00													8,00
30													30
5,00													7,00
30													30
6,00													6,00
30													30
7,00													5,00
30													30
8,00	7,5	7,5	6,2	3,8	3	2	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	4,00
30	4	3,5	3	2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	30
9,00	3,5	3	2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	3,00
30	2,5	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1	1	30
10,00	2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1	1	1	2,00
30	1,9	1,8	1,6	1,5	1,2	1,2	1,1	1	1	1	1	1	30
11,00	1,8	1,7	1,6	1,4	1,2	1,2	1,1	1	1	1	1	1	1,00
30	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1	1	1	1	1	30
midi	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1	1	1	1	1	midi
Matin.	15-31	15-31	15-30	1-15	15-31	1-15	15-30	1-15	15-31	1-15	15-31	1-15	↓
	DÉCEMBRE		NOVEMBRE		OCTOBRE		SEPTEMBRE		AOÛT		JUILLET		

M. de la Baume-Pluvinel a calculé pour Paris les coefficients d'éclairage pour toutes les époques de l'année et pour les heures de la journée pendant lesquelles le soleil reste sur l'horizon, en supposant que les rayons solaires tombaient normalement sur l'objet à photographier (tableau 192 — C). Il n'en est généralement pas ainsi. On doit alors multiplier les coefficients d'éclairage par le cosinus de l'angle que fait la normale à l'objet avec la direction des rayons incidents.

L'intensité de la lumière diffuse et l'intensité de la lumière directe ne décroissent pas suivant la même loi avec la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

La valeur des facteurs d'éclairage a été calculée par M. de la Baume-Pluvinel; les divers nombres du tableau (192 — D) qu'il a dressé donnent les coefficients d'éclairage corrigés de la hauteur du soleil.

Soit par exemple à photographier un modèle à trois heures du soir le 20 février, dans un atelier.

Dans la liste des coefficients d'éclairage nous trouvons 12; dans le tableau des facteurs d'éclairage nous trouvons 1,7; par suite $12 \times 1,7 = 2,04$, soit 2 pour coefficient d'éclairage corrigé.

193. Coefficient de clarté. — Nous avons vu (162) ce que nous entendions par coefficient décimal de clarté et comment on le déterminait facilement.

Coefficients de sensibilité des diverses couches sensibles.

(D'après Eder).

194 — A

	COEFFICIENTS de SENSIBILITÉ	DURÉES comparées des temps de pose.
Plaque au gélatino-bromure d'argent marquant 25 au sensitomètre Warnerke.....	1	1 ^s
» au collodion humide.....	30	30 ^s
» au gélatino-chlorure d'argent développée au citrate de fer.....	30 à 200	30 ^s à 3 ^m 20 ^s
» au collodio-bromure d'argent.....	50 à 250	50 ^s à 4 ^m
» au collodion sec développée à l'acide pyrogallique.....	300	5 ^m
» de daguerréotype.....	500 à 1500	8 ^m 20 ^s à 25 ^m
Papier au platine.....	50.000	27 ^h
» au charbon.....	25.000 à 90.000	7 ^h à 25 ^h
» albuminé sensibilisé.....	75.000 à 300.000	20 ^h à 80 ^h

194. Le coefficient de sensibilité absolu $\frac{1}{s}$ d'une couche sensible est mesuré par la quantité de lumière que doit recevoir une tranche infiniment

mince de cette couche pour que la matière sensible qu'elle contient puisse être intégralement décomposée par le révélateur (tableaux **194 — A** et **B**). La *sensibilité s* d'une préparation sensible est l'inverse de son coefficient de sensibilité. Le coefficient de sensibilité relatif de deux couches sensibles est égal au rapport de leurs coefficients de sensibilité absolus. Nous verrons plus tard comment, à l'aide d'instruments appelés *sensitomètres*, on peut mesurer les coefficients de sensibilité relatifs des plaques photographiques, pour comparer la sensibilité des plaques préparées au gélatino-bromure d'argent. Le sensitomètre le plus employé est celui de Warnerke, instru-

Coefficients de sensibilité déterminés à l'aide du sensitomètre Warnerke.

194 — B

NUMÉRO marqué par la plaque.	COEFFICIENT de sensibilité : $\left(\frac{4}{3}\right)^{25-N}$	NUMÉRO marqué par la plaque.	COEFFICIENT de sensibilité : $\left(\frac{4}{3}\right)^{25-N}$
10	75,0	18	7,5
11	56,2	19	5,6
12	42,2	20	4,2
13	31,6	21	3,2
14	23,7	22	2,4
15	17,8	23	1,8
16	13,3	24	1,3
17	10,0	25	1,0

ment que nous décrirons en traitant de la préparation des plaques au gélatino-bromure. M. de la Baume-Pluvinel a dressé un tableau (**194 — C**) indiquant les coefficients de sensibilité relatifs de deux plaques lorsqu'on connaît le degré qu'elles marquent au sensitomètre Warnerke. Par exemple, si l'on veut avoir le coefficient de sensibilité de la plaque B marquant 19 par rapport à la plaque A marquant 23, on cherchera à l'intersection de la colonne 19 par la ligne 23; on trouve 3,2. Ce nombre indique que si l'on pose 1 seconde avec la plaque A, il faudra 3^s,2 avec la plaque B. Inversement, si l'on pose 1 seconde avec la plaque B, on trouve à l'intersection de la colonne 23 et de la ligne 19 le nombre 0^s,32 indiquant dans ce cas le temps de pose nécessité par la plaque A.

195. Coefficient de distance. — Le coefficient de distance

$$\frac{D^2}{(D - F)^2}$$

peut s'écrire

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{F}{D}\right)^2}.$$

Rapport des coefficients de sensibilité de deux plaques.

194 — C

NUMÉRO INDIQUÉ PAR LA PLAQUE A	NUMÉRO INDIQUÉ PAR LA PLAQUE B															
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
25	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3	17,8	23,7	31,6	42,2	56,2	75,0
24	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3	17,8	23,7	31,6	42,2	56,2
23	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3	17,8	23,7	31,6	42,2
22	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3	17,8	23,7	31,6
21	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3	17,8	23,7
20	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3	17,8
19	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0	13,3
18	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5	10,0
17	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6	7,5
16	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2	5,6
15	0,056	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2
14	0,042	0,056	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4	3,2
13	0,032	0,042	0,056	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8	2,4
12	0,023	0,032	0,042	0,056	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3	1,8
11	0,018	0,023	0,032	0,042	0,056	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0	1,3
10	0,013	0,018	0,023	0,032	0,042	0,056	0,075	0,1	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42	0,55	0,77	1,0

On voit que si D augmente, le coefficient de distance, et par suite le temps de pose, diminuent ; donc, les objets éloignés demandent un temps de pose plus court que celui nécessité par les objets rapprochés, résultat conforme à l'expérience. Lorsque D est très grand par rapport à F, le coefficient de distance devient sensiblement égal à l'unité. On négligera le coefficient de distance pour des objets placés à une distance de l'objectif supérieure à dix fois la distance focale de l'objectif ; on en tiendra compte au contraire lorsque l'objet sera plus près de l'objectif. Les coefficients de distance ont été calculés par M. de la Baume-Pluvinel (tableau 195 — A).

196. Application. — Formule abrégée du temps de pose. — Les divers tableaux que nous avons reproduits permettent de calculer le temps de pose dans des cas en apparence très compliqués. Supposons qu'il s'agisse d'obtenir une épreuve agrandie d'une image photographique placée à 0^m20 de l'objectif : l'objectif a 0^m15 de foyer, son rapport de clarté est $\frac{1}{32}$.

L'objet à reproduire placé en plein air reçoit la lumière diffusée par un ciel serein le 20 septembre, à trois heures du soir.

La plaque sensible marque 23^o Warnerke.

1 ^o Coefficient d'éclat (traits noirs sur fond blanc).....	0,02
2 ^o Coefficient d'éclairage (lumière diffusée par un ciel serein).	4.
3 ^o Facteur d'éclairage	1,4
4 ^o Coefficient de clarté	102,4
5 ^o Coefficient de sensibilité	1,8
6 ^o Coefficient de distance.....	1,6

Tableau des coefficients de distance.

195 — A

		DISTANCES DE L'OBJET A L'OBJECTIF, EN MÈTRES													
		0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	2,0	2,50	3,0	4,0	5,0
Distances focales principales en centimètres.	10	9,0	4,0	2,2	1,8	1,6	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
	15	»	16,0	4,0	2,6	2,0	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0
	20	»	»	9,0	4,0	2,8	1,9	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1
	25	»	»	36,0	7,1	4,0	2,2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1
	30	»	»	»	16,0	6,2	2,8	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
	35	»	»	»	64,0	11,1	3,5	2,4	1,9	1,7	1,5	1,3	1,3	1,2	1,1
	40	»	»	»	»	25,0	4,6	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2
	45	»	»	»	»	100,0	6,2	3,3	2,4	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2
	50	»	»	»	»	»	9,0	4,0	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2
	55	»	»	»	»	»	14,1	4,9	3,2	2,5	1,9	1,6	1,5	1,3	1,3
	60	»	»	»	»	»	25,0	6,2	3,5	2,8	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3

Le temps de pose sera donc

$$0,02 \times 4 \times 1,4 \times 102,4 \times 1,8 \times 16 = 330^s,22 = 5^m30^s,22.$$

La valeur ainsi déterminée donnera de bons résultats. Mais la nature du développement d'une part, les quantités qui entrent dans la formule d'autre part et qui échappent à une mesure précise font qu'en prenant des nombres exacts, la précision obtenue est pratiquement illusoire. C'est pourquoi il convient en pratique d'employer une formule abrégée du temps de pose.

Nous avons vu (176) que si l'on voulait admettre que toutes les plaques aient le même coefficient de sensibilité et que si l'on opérât à plus de dix fois la distance focale principale de l'objectif, les coefficients de sensibilité et de distances n'intervenaient pas sensiblement. Les coefficients d'éclat et d'éclairage peuvent être réunis en seul, qui sera le *coefficient intrinsèque* L de l'objet. La formule se réduit alors à

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

Le tableau des coefficients intrinsèques (196 — A) permettra de calculer très rapidement la valeur du temps de pose quand on connaîtra le coefficient de clarté.

197. Détermination expérimentale du temps de pose.

— M. Dessoudeix a construit, sur les indications de M. L. Vidal, un

appareil peu volumineux, qui permet de faire des essais sur l'objet à photographier en employant des plaques identiques à celles qui serviront à obtenir l'image définitive.

Coefficients intrinsèques.

196 — A

DÉSIGNATION DES SUJETS	SOLEIL		LUMIÈRE DIFFUSE		TEMPS gris et sombre
	Plein du jour	Matin et soir.	Plein du jour	Matin et soir.	
Grande vue panoramique, glaciers, vues marines.....	0,005	0,01	0,01	0,02	0,03
Grande vue panoramique avec masses de verdure.....	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06
Vue avec premiers plans bien éclairés et vue avec monuments blancs.....	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06
Vue avec premiers plans peu éclairés et vue avec monuments sombres.....	0,015	0,03	0,03	0,06	0,09
Dessous de bois, bords de rivières ombragés, excavations de rochers, etc.....	0,05	0,1	0,12	0,2	0,3
Sujets animés, groupes et portraits en plein air.....	0,02	0,04	0,06	0,12	0,2
Sujets animés, groupes et portraits, très près d'une fenêtre ou sous un abri.....	0,04	0,08	0,12	0,24	0,4
Reproductions et agrandissements de photographies, gravures, etc.....	0,03	0,06	0,06	0,12	0,25

Le plein du jour se compte, en été, de 9 heures à 4 heures; en hiver, de 11 heures à 2 heures.

On peut sans appareil spécial et à la condition d'employer quelques plaques sensibles déterminer expérimentalement le temps de pose nécessité par un objet quelconque. Après avoir remplacé la glace dépolie par le châssis contenant la glace sensible, on ouvre en partie le volet, de manière à ne découvrir que le cinquième de la plaque; on démasque l'objectif pendant une seconde, puis on tire de nouveau le volet de manière à découvrir les deux cinquièmes de la plaque; on ouvre encore l'objectif pendant une seconde et l'on continue ainsi de suite jusqu'à ce que toute la plaque ait été exposée: elle présente alors cinq bandes qui ont été impressionnées pendant 1 à 5 secondes. On reconnaîtra au développement quelle est la bande qui donne l'image la plus satisfaisante. Pour compter le temps lorsque la durée de la pose doit être prolongée pendant quelques secondes, le moyen le plus simple consiste à prononcer un certain nombre de syllabes pendant que l'objectif reste ouvert. L'expérience apprend que l'on peut en moyenne prononcer distinctement quatre syllabes, à la suite l'une de l'autre, dans un espace de 1 seconde. Si donc on veut poser 4 secondes par exemple, on prononcera distinc-

tement, sans interruption, seize syllabes, soit quatre fois le mot « pho-to-gra-phie¹ ». Pour des temps de pose très longs, on observe, soit une montre à seconde, soit un pendule, soit un métronome.

M. L. Vidal, dans ses *Tables photométriques*², a donné l'un des premiers des indications assez précises pour calculer le temps de pose. Dans ces derniers temps, M. Clément³ a décrit une méthode empirique très suffisamment exacte pour la pratique. M. de la Baume-Pluvinel⁴, dont nous venons de résumer les travaux, est, croyons-nous, le premier auteur qui ait analysé d'une façon complète les conditions multiples qui interviennent dans l'appréciation du temps de pose. Enjalbert⁵, Decoudun⁶ et plusieurs autres constructeurs ont imaginé des appareils qui donnent d'une manière approchée la valeur du temps de pose. Certains auteurs, parmi lesquels il convient de citer M. le Dr Le Bon, trouvent qu'il n'y a aucun intérêt à donner des tables de temps de pose suivant la nature des objectifs⁷. Il est clair que si l'on se contente d'un cliché auquel on ne demande que des documents scientifiques, ou bien si le développement des plaques doit être fait par un opérateur extraordinairement habile, on peut, à l'aide des *plaques au gélatino-bromure*, obtenir aujourd'hui des clichés passables avec des temps de pose quinze fois plus longs qu'il n'est utile. Il y a longtemps que H. Vogel⁸ a appelé l'attention sur ce fait en montrant, de plus, comment il convenait de conduire les opérations lorsqu'il n'était pas possible d'apprécier la durée du temps de pose, ou bien lorsque l'on manquait d'indications sur la durée d'exposition d'une plaque. Avec les révélateurs actuels, l'opération est assez facile; mais il est certain que, si la durée d'exposition de la plaque sensible a été exacte, le cliché sera plus beau que si la durée de la pose a été dépassé et surtout que si cette durée a été trop courte. En pratique, pour la photographie d'objets qui ne sont pas en mouvement, il vaut mieux dépasser le temps de pose nécessaire si l'on emploie des plaques au gélatino-bromure de bonne fabrication; il vaut mieux opérer ainsi que de recourir à la méthode empirique qui consiste à juger par habitude, par routine. Ce procédé peut donner de bons résultats, mais ne saurait satisfaire l'opérateur scrupuleux qui veut se rendre un compte exact de toutes les opérations qu'il exécute et qui se considère comme autre chose qu'une simple machine.

1. De la Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*.
2. *Calcul du temps de pose*.
3. *Méthode pratique pour déterminer exactement le temps de pose en photographie*.
4. *Le temps de pose*.
5. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, p. 129.
6. *Ibid.*, juin 1888.
7. *Les levers photographiques et la photographie en voyage*, p. 85.
8. *British journal of Photography*, 1884, n° 1265.

§ 2. — PHOTOGRAPHIE DES OBJETS EN MOUVEMENT.

198. Temps de pose effectif, temps de pose utile, durée d'impressionnement, rendement. — Quelle que soit la durée du temps de pose, on peut la diviser en trois périodes : la période d'*ouverture* pendant laquelle l'objectif est découvert graduellement ; la période d'*ouverture totale* pendant laquelle l'objectif reste complètement découvert, et enfin la période de *fermeture*. C'est pendant cette dernière que l'objectif se recouvre peu à peu. L'ensemble de ces trois périodes constitue le *temps de pose effectif* que nous désignerons par T.

Pendant les trois périodes comprises dans l'intervalle de temps T une certaine quantité de radiations L traverse l'objectif. Il est clair que cette même quantité de radiations pourrait être introduite dans l'appareil, quelle que soit la durée des phases d'ouverture et de fermeture. En particulier, si l'on supposait que les périodes d'ouverture et de fermeture étaient nulles, la quantité de lumière L serait introduite en un temps τ tel que $\tau < T$; τ est le *temps de pose utile*.

Le rapport $\frac{\tau}{T}$ du temps de pose utile au temps de pose effectif est le *rendement* de l'obturateur.

Nous avons établi une formule indiquant le temps de pose nécessaire pour obtenir une image harmonieuse ; ce temps est :

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

Nous avons supposé que l'objectif restait ouvert pendant la durée t de la pose : le temps de pose t est donc un temps de pose utile.

L'expérience montre que, au début de la période d'ouverture et à la fin de la période de fermeture d'un objectif, l'image lumineuse reçue par la plaque est trop peu intense pour laisser sur la couche sensible une impression capable d'être développée. On peut donc, à un autre point de vue, diviser le temps de pose effectif en trois périodes : 1^o au début, pas d'action sur la plaque sensible ; 2^o production d'image qui apparaît sous l'influence du révélateur ; 3^o pas d'action. La seconde période est ce que l'on peut appeler la *durée d'impressionnement*. Cette durée est inférieure à celle du temps de pose

effectif; elle s'en rapproche cependant à mesure que l'objet à photographier devient de plus en plus lumineux, pour des plaques de même sensibilité.

199. Objets en mouvement. — La formule précédente a été établie en supposant que pendant la durée de la pose la surface de diffusion tolérée ω restait constante et agissait sur la même portion de la plaque sensible; en d'autres termes, nous avons admis que l'objet à photographier était immobile. Dans cette hypothèse, nous avons pu fixer la durée t d'exposition de la plaque, de manière que les divers tons de l'objet soient représentés avec leurs valeurs relatives.

Il n'en est plus de même si nous supposons l'objet en mouvement. Quelle que soit la durée du temps de pose, à un déplacement d'un

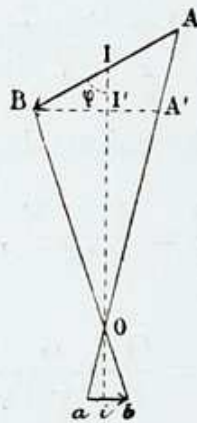


Fig. 357.

point de l'objet correspondra un déplacement d'un point de l'image : au lieu d'avoir sur la plaque sensible un point, nous aurons une petite ligne, ou une trainée plus ou moins longue. Il en sera de même pour les divers points de l'image : ces trainées empiétant les unes sur les autres, les contours de l'image ne seront pas définis, l'objet ne sera pas reconnaissable, à moins que la trainée laissée par ces petites lignes puisse être considérée comme un point.

Il faut donc que l'impression laissée sur la plaque sensible par un point en mouvement soit vue sous un angle égal au plus à $1'$; l'effet produit sur l'œil de l'observateur sera le même que celui produit par un point. Dans ces conditions, l'image pourra être considérée comme nette.

200. Conditions de netteté. — Nous distinguerons deux cas : 1^o l'image

doit être examinée à distance de la vision distincte; 2^o l'image doit être agrandie.

1^o Si l'image doit être examinée à distance de la vision distincte, on peut admettre pour longueur de la trainée laissée par un point de l'image $\omega = 0^m0002$.

Soit un objet se déplaçant de A en B (*fig. 357*) pendant le temps T que l'objectif reste découvert. La vitesse de translation de l'objet est V, la direction du mouvement dont il est animé fait un angle φ avec l'axe de l'objectif, la longueur focale principale est F et sa distance à l'objet D. Soit *ab* le déplacement de l'image correspondant au déplacement AB de l'objet, on a

$$\frac{A'B}{ab} = \frac{OI'}{Oi}.$$

On peut admettre que l'on a très sensiblement

$$A'B = AB \sin \varphi = VT \sin \varphi, \quad OI' = D, \quad Oi = \frac{DF}{D-F}, \quad ab = \omega.$$

On en déduit

$$(1) \quad T = \frac{D-F}{F} \frac{\omega}{V \sin \varphi}.$$

En désignant par O et I les dimensions de l'image et de l'objet, on a (172)

$$\frac{O}{I} = \frac{D-F}{F},$$

par suite

$$(2) \quad T = \frac{O}{I} \frac{\omega}{V \sin \varphi}.$$

En général, la distance D est considérable par rapport à F : *le temps de pose est donc proportionnel à la distance de l'objet*; il est proportionnel à la longueur de la trainée tolérée ω et inversement proportionnel à F, V, $\sin \varphi$.

L'importance de cette formule est considérable pour la photographie des objets en mouvement. Elle montre que pour avoir une image *nette* il faut employer des objectifs dont la longueur focale soit aussi réduite que possible; l'axe de l'objectif doit être placé dans une direction oblique par rapport à la direction du mouvement du sujet.

Il est nécessaire, pour appliquer cette formule, de connaître la vitesse de translation des divers sujets à photographier. Le tableau 200 — A donne ces diverses vitesses pour l'ensemble de l'objet à photographier, mais non pour chacune de ses parties qui peuvent être animées de mouvements beaucoup plus rapides, et dont la vitesse maxima est au moins double de la vitesse de translation de l'objet. Considérons, par exemple, un véhicule roulant attelé d'un cheval : la vitesse de translation du véhicule est égale à la vitesse de déplacement du corps du cheval; mais la vitesse de déplacement d'un point d'une roue est égale à la vitesse de translation du véhicule augmentée ou diminuée de la vitesse de rotation de ce point. La

roue s'appliquant sur le chemin qu'elle parcourt, un point quelconque de sa périphérie possède une vitesse de rotation égale à la vitesse de translation du véhicule. Au point de contact de la roue et du sol, les vitesses de translation et de rotation étant dirigées en sens inverses, la vitesse de déplacement du point de contact est nulle. Ce point de contact est alors *un centre instantané de rotation*. Au contraire, au point de la roue diamétralement opposé, les deux vitesses sont dirigées dans le même sens : elles s'ajoutent, et le déplacement est égal au *double de la translation*. Donc, pour avoir l'image de la roue suffisamment nette dans toutes ses parties, il faudra, dans la formule, doubler les valeurs de V^1 .

Vitesses de déplacement de divers sujets photographiques

(D'après M. James Jackson).

200 — A.

DÉSIGNATION DES SUJETS	VITESSE mètres en une seconde
Piéton gravissant une montagne.....	0,1
Homme au pas faisant 4 kilomètres à l'heure.....	1,11
Homme au pas faisant 6 kilomètres à l'heure.....	1,66
Coureur à pied.....	5,77
Homme à la nage.....	1,10
Vélocipédiste.....	9
Patineur exercé.....	12
Cheval au pas faisant 6 kilomètres à l'heure.....	1,66
Cheval au trot faisant 16 kilomètres à l'heure.....	3,9
Cheval au galop faisant 30 kilomètres à l'heure.....	8,3
Cheval de course.....	18
Tramway.....	3
Chameau.....	5
Lévrier.....	25
Pigeon voyageur.....	27
Hirondelle.....	67
Martinet.....	89
Train express faisant 75 kilomètres à l'heure.....	20,83
Train omnibus faisant 25 kilomètres à l'heure.....	6,9
Bateau à l'aviron.....	6
Bateau à vapeur filant 9 nœuds à l'heure.....	4,63
Bateau à vapeur filant 17 nœuds à l'heure.....	8,75
Torpilleur à vapeur filant 21,76 nœuds à l'heure.....	11,19
Rivière à cours rapide.....	4
Vague de 30 mètres d'amplitude par une profondeur de 300 mètres.....	7
Vague de tempête dans l'Océan.....	20
Pierre lancée avec force.....	16
Corps tombant après 2 secondes de chute.....	19,62
Balle de fusil.....	385
Explosion de coton-poudre (Abel et Nobel).....	5.500

Le tableau 200 — B donne la réduction des fractions ordinaires de seconde en fractions décimales.

L'angle φ , formé par l'axe principal de l'objectif avec la direction de l'objet se mesure approximativement; voici les diverses valeurs de $\sin \varphi$ pour les valeurs de l'angle φ :

$$\begin{array}{lll} 15^\circ \dots 0,26, & 45^\circ \dots 0,71, & 75^\circ \dots 0,97, \\ 30^\circ \dots 0,50, & 60^\circ \dots 0,87, & 90^\circ \dots 1,00, \end{array}$$

1. De la Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*, p. 72.

La formule et les tableaux que nous donnons servent à déterminer soit la limite supérieure de durée du temps de pose, soit la distance, la position plus ou moins oblique du modèle par rapport à l'axe de l'objectif, la netteté réalisable dans certains cas, etc.

200 — B

FRACTIONS ordinaires.	FRACTIONS décimales.	FRACTIONS ordinaires.	FRACTIONS décimales.	FRACTIONS ordinaires.	FRACTIONS décimales.	FRACTIONS ordinaires.	FRACTIONS décimales.
$\frac{1}{2}$	0,5000	$\frac{1}{45}$	0,0222	$\frac{1}{90}$	0,0111	$\frac{1}{170}$	0,0059
$\frac{1}{5}$	0,2000	$\frac{1}{50}$	0,0200	$\frac{1}{95}$	0,0105	$\frac{1}{180}$	0,0056
$\frac{1}{10}$	0,1000	$\frac{1}{55}$	0,0182	$\frac{1}{100}$	0,0100	$\frac{1}{190}$	0,0053
$\frac{1}{15}$	0,0667	$\frac{1}{60}$	0,0167	$\frac{1}{110}$	0,0091	$\frac{1}{200}$	0,0050
$\frac{1}{20}$	0,0500	$\frac{1}{65}$	0,0154	$\frac{1}{120}$	0,0083	$\frac{1}{250}$	0,0040
$\frac{1}{25}$	0,0400	$\frac{1}{70}$	0,0143	$\frac{1}{130}$	0,0077	$\frac{1}{300}$	0,0033
$\frac{1}{30}$	0,0333	$\frac{1}{75}$	0,0133	$\frac{1}{140}$	0,0081	$\frac{1}{350}$	0,0029
$\frac{1}{35}$	0,0286	$\frac{1}{80}$	0,0125	$\frac{1}{150}$	0,0067	$\frac{1}{400}$	0,0025
$\frac{1}{40}$	0,0250	$\frac{1}{85}$	0,0118	$\frac{1}{160}$	0,0062	$\frac{1}{500}$	0,0020

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'obtenir l'image nette d'un cheval au galop; combien devra durer le temps de pose effectif T , en supposant : 1^o que l'axe de l'objectif fasse un angle de 45° avec la direction du mouvement du cheval; 2^o que l'image du cheval ait 0^m01 de hauteur? Nous supposons que la hauteur du cheval à photographier soit égale à 1^m60.

Pour appliquer la formule (2), nous avons

$$\frac{O}{I} = 160, \quad V = 8^m, \quad \sin \varphi = 0,7, \quad \omega = 0^m0002,$$

$$T = 160 \frac{0,0002}{8 \times 0,7} = \frac{1}{185}.$$

Donc, l'obturateur pourra rester ouvert pendant $\frac{1}{185}$ de seconde.

2^o Si l'image doit être agrandie, il faudra faire $\omega \leq 0^m0001$.

Pizzighelli a calculé le tableau **200 — C** pour la distance approximative de l'objet à l'objectif, la netteté étant $\omega = 0^m0001$.

201. Conditions d'harmonie. — Il ne suffit pas que l'image photographique soit nette; il faut, de plus, que les demi-teintes de l'objet soient fidèlement reproduites, en un mot, qu'il y ait harmonie dans l'image. Ceci n'aura lieu que lorsque les transparences des diverses parties du cliché seront inversement proportionnelles aux éclats des parties correspondantes

ÉLOIGNEMENT de l'objet exprimé en longueurs focales.	TRANSLATION DE L'OBJET EN MÈTRES																					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
	Durée d'exposition de l'obturateur pour $\omega = 0m,0001$.																					
50.	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
100.	0,1	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
200.	0,2	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
300.	0,3	0,15	0,10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»	»	»	»	»
400.	0,4	0,20	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»	»	»	»
500.	0,5	0,25	0,16	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»	»	»
600.	0,6	0,30	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»	»
700.	0,7	0,35	0,23	0,17	0,14	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	»	»	»	»
800.	0,8	0,40	0,26	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,08	0,08	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	»	»	»
900.	0,9	0,45	0,30	0,22	0,18	0,15	0,12	0,11	0,10	0,09	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	»	»
1000.	1,0	0,50	0,33	0,25	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1100.	1,1	0,55	0,37	0,27	0,22	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1200.	1,2	0,60	0,40	0,30	0,24	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,08	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1300.	1,3	0,65	0,43	0,32	0,26	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
1400.	1,4	0,70	0,47	0,35	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,14	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
1500.	1,5	0,75	0,50	0,37	0,30	0,25	0,21	0,18	0,16	0,15	0,10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01

de l'objet. D'après les définitions que nous avons données, il faudra donc que le temps de pose utile τ soit au moins égal au temps de pose donné par la formule

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

Dans ces conditions, l'image sera : 1^o nette; 2^o harmonieuse, qualité qu'on ne rencontre pas toujours dans les épreuves dites *instantanées*.

Si la quantité de lumière qui tombe sur la plaque sensible est trop faible, le résultat ne sera pas satisfaisant, l'image sera sous-exposée. Le *manque de pose* est un défaut fréquent dans les épreuves dites instantanées. Ce manque de pose n'a pas grande importance s'il s'agit d'une photographie scientifique pour laquelle on ne demande que la netteté des contours; c'est un défaut qui, sous le rapport artistique, rend inacceptable le plus grand nombre d'images.

Certains des coefficients du temps de pose ne sont pas invariables, en particulier le coefficient de clarté et le coefficient de sensibilité. Admettons que nous ayons déterminé τ en fonction de T et cherchons la valeur convenable de C' qui satisfait à l'équation

$$C' = \frac{1}{E} \frac{1}{I} \frac{1}{\tau} \frac{1}{s} \frac{D^2}{(D-F)^2}.$$

Si cette valeur de C' est acceptable, c'est-à-dire si l'objectif comporte cette clarté, nous aurons une image *nette et harmonieuse*. Il n'en est pas toujours ainsi parce que les objectifs dont on dispose ne sont pas assez lumineux. Nous pourrions de même, en réduisant la clarté de l'objectif, si cela ne compromet pas l'harmonie de l'épreuve, diminuer la valeur de τ et obtenir la netteté suffisante.

202. Mesure expérimentale du temps de pose effectif. — La seule méthode qui permette de mesurer avec précision le temps de pose effectif d'un obturateur est la méthode physique; elle a été appliquée pour la première fois par M. Janssen¹ pour mesurer la vitesse de fonctionnement d'un obturateur à guillotine. Soit un diapason qui exécute N vibrations en une seconde; l'instrument est armé d'un stylet pouvant tracer sur la lamelle obturatrice en mouvement une trace sinusoïdale dont chaque ondulation indique l'espace parcouru par la lame pendant une durée égale à celle d'une vibration du diapason. Il suffira de compter sur la lamelle le nombre n des vibrations correspondantes à la longueur l de l'ouverture pour avoir la durée du temps de pose effectif :

$$T = \frac{n}{N}.$$

M. le colonel Sébert, dont les travaux sur le mouvement des projectiles sont universellement connus, a appliqué la méthode chronographique à la

1. *Annuaire du bureau des longitudes*, 1874.

mesure du temps de pose effectif. Les appareils dont il se sert varient avec la nature des obturateurs à étudier. Leur emploi nécessitant des connaissances physiques assez étendues, nous renverrons le lecteur au mémoire original du colonel Sébert¹, nous bornant à indiquer les résultats auxquels il est arrivé.

La mesure du temps de pose effectif ne donne qu'une notion imparfaite sur la quantité de lumière qui a pu impressionner réellement la plaque sensible.

Il faut, pour avoir une idée nette de l'effet produit par un obturateur, déterminer la durée d'ouverture à plein objectif qui laisserait passer la même somme de lumière que celle qui traverse réellement l'orifice constamment variable laissée par le fonctionnement de l'appareil. Nous verrons comment on peut y parvenir soit par le calcul, soit par une construction graphique.

M. de la Baume-Pluvinel² a imaginé un dispositif très simple, qui, tout en donnant la loi du mouvement d'un obturateur, permet de déterminer

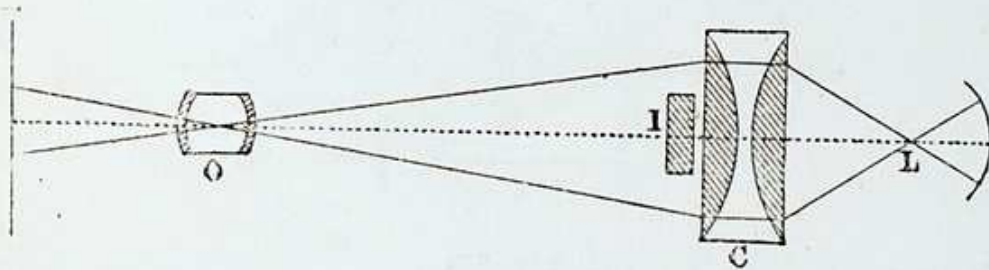


Fig 358.

facilement la durée du temps de pose effectif. Il fixe devant l'obturateur un diaphragme dont l'ouverture consiste en une fente étroite dirigée dans le sens du mouvement des lamelles obturatrices. Si le mouvement des lamelles est rectiligne, la fente doit être droite; si les lamelles ont un mouvement circulaire, la fente doit être curviligne. L'obturateur, muni de ce diaphragme, est placé dans un appareil de projection qui peut donner sur un écran E une image réduite de la fente du diaphragme (fig. 358). Il dispose en E une plaque sensible animée d'un mouvement de sens perpendiculaire à la direction de la fente, et il fait fonctionner l'obturateur pendant que la plaque est en mouvement. L'image de la fente laisse sur la plaque sensible une trainée dont la forme dépend de la combinaison des mouvements de la plaque et de l'obturateur. Avec un obturateur Thury et Amey, par exemple, la trainée a la forme *AaBb* (fig. 359). La longueur AB représente la durée du temps de pose effectif, et les différences des ordonnées des courbes *AaB*, *AbB* permettent de calculer la fraction de la surface de l'objectif découverte à une époque donnée de la durée de la pose. On peut, comme l'a indiqué M. A. Cornu³, compléter cette méthode en plaçant contre la fente un diapason muni d'un stylet et le faisant vibrer pour avoir l'inscription du temps.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1883, p. 166.

2. *Congrès international de photographie*, juillet 1889.

3. *Ibid.*, août 1889.

L'étude de l'image produite sur la plaque sensible donne donc la loi du mouvement des lamelles obturatrices. Le calcul permettra de déduire de cette loi la quantité de lumière introduite dans l'appareil et par suite le *rendement* de l'obturateur.

Le temps de pose effectif se déduit aisément de la vitesse de déplacement de la plaque sensible et de la largeur AB de la trainée. Quelquefois, les points A et B sont mal déterminés, parce que la durée d'impressionnement est un peu plus courte que le temps de pose effectif; mais on peut toujours par la pensée prolonger les côtés de l'image et fixer ainsi très exactement les extrémités qu'aurait eu la trainée si la plaque eût été infiniment sensible et la fente infiniment lumineuse. La figure 359, obtenue dans une expérience faite avec l'obturateur Thury et Amey, montre que la période de fermeture de cet obturateur est plus courte que sa période d'ouverture, résultat que les mesures du colonel Sébert avaient entièrement démontré¹.

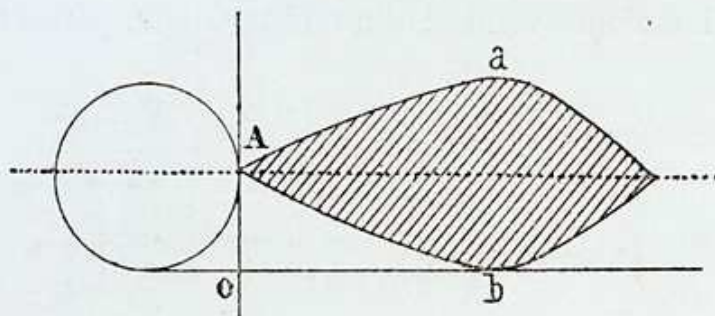


Fig. 359.

Cette méthode, très ingénieuse, donne des résultats précis pourvu que l'on opère avec soin : ces résultats ne dépendent ni de l'intensité de la lumière, ni de la clarté de l'objectif, ni de la sensibilité des plaques, ni de l'énergie du révélateur.

D'autres méthodes ont été proposées pour mesurer le temps de pose effectif d'un obturateur; si nous les signalons ici, c'est pour en déconseiller l'emploi. Ces méthodes consistent, en effet, à photographier un objet en mouvement. On conclut de la longueur de la trainée qu'il laisse sur le cliché le déplacement réel de cet objet pendant la durée de la pose; connaissant la vitesse de l'objet, on en déduit le temps qu'il emploie à se déplacer de la longueur mesurée : on a ainsi la *durée d'impressionnement* et non la durée du temps de pose effectif, comme cela a été écrit bien des fois. Ces deux durées ne sont jamais rigoureusement égales; elles ne le deviendraient que si l'on pouvait réaliser un obturateur idéal, obturateur dans lequel la période d'ouverture et celle de fermeture seraient nulles.

Le Dr Eder² photographie un fil de magnésium incandescent auquel il imprime un mouvement de rotation de façon à lui faire décrire une circonférence en une seconde. Au développement de la glace sensible, on obtient un segment de cercle; on peut construire le cercle auquel il appartient : la circonférence de ce cercle étant supposée décrite en une seconde, on peut, à

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1883, p. 163.

2. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1882, p. 285.

l'aide du rapporteur, déterminer la durée de l'impressionnement. Il est fort difficile d'obtenir un mouvement uniforme.

M. Pickering¹ se sert d'un diapason portant un miroir fixé à l'une de ses branches. Le diapason est placé devant la chambre noire (*fig. 360*), de façon que le miroir réfléchisse sur l'objectif un rayon solaire rendu horizontal. Si l'on met le diapason en vibration, ce point se transformera en une ligne horizontale fine et courte; si l'on fait tourner le diapason dans le sens de son axe, la ligne droite se transformera en une ligne sinusoïdale. En faisant fonctionner l'obturateur, une partie de la ligne sinusoïdale sera photographiée : on obtiendra la durée de l'impressionnement d'après le nombre des vibrations reproduites sur la surface sensible. Le miroir employé doit être un peu plus grand que le diamètre de l'objectif dont on

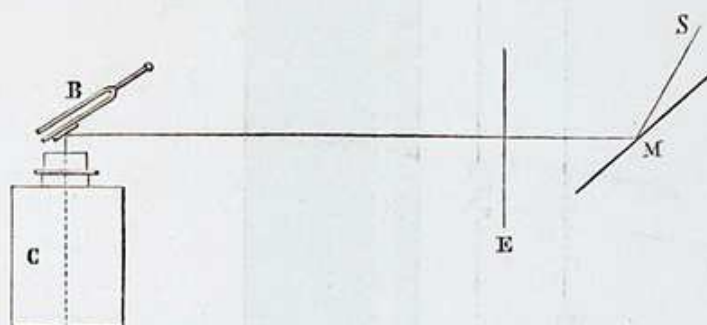


Fig. 360.

se sert, de façon que les bords soient couverts pendant toute la durée de l'exposition. Cette méthode présente des difficultés d'exécution considérables.

M. A. Londe² enregistre les vibrations d'un diapason placé à une *faible distance* de l'objectif : la plaque sensible, placée dans un châssis, peut glisser de haut en bas dans deux rainures et recevoir l'image d'un point lumineux (lumière électrique). Ce point lumineux est projeté sur un écran de papier dioptrique fixé à un diapason. M. A. Londe a reconnu³ le fait suivant que confirme la théorie : malgré un fonctionnement mécanique constant, un obturateur pourra donner des temps de pose différents suivant la nature des glaces sensibles et suivant l'intensité lumineuse.

M. L. Vidal a modifié la méthode du Dr Eder et proposé de photographier une aiguille animée d'un mouvement de rotation. Cette aiguille brillante se meut sur un cadran noir portant des divisions blanches et fait un tour en une seconde. Pendant la pose, elle se déplace d'un certain nombre de divisions, suivant la vitesse de l'obturateur. Au développement, on obtient l'image du cadran et un secteur blanc correspondant au déplacement de l'aiguille; de la surface de ce secteur on ne peut que déduire la durée de l'impressionnement pour la plaque et l'éclairage employés.

M. Warnerke se sert d'un cercle opaque mobile autour de son centre et parcourant des espaces égaux en des temps égaux. Ce cercle est percé près

1. *Philadelphia Photographer*, 1885, janvier.

2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, p. 209.

3. *La Photographie instantanée, théorique et pratique*, p. 106, Gauthier-Villars, 1886.

de sa circonférence d'une ouverture destinée à laisser passer les rayons lumineux. On dirige cet appareil vers le ciel; on photographie le cercle pendant son mouvement de rotation : au développement, on trouve sur la plaque une portion de secteur correspondant à la durée d'impressionnement.

M. le Dr Le Bon¹ utilise d'une manière très simple la méthode du cadran. Il a constaté que si l'on enlève d'un réveille-matin ordinaire l'échappe-

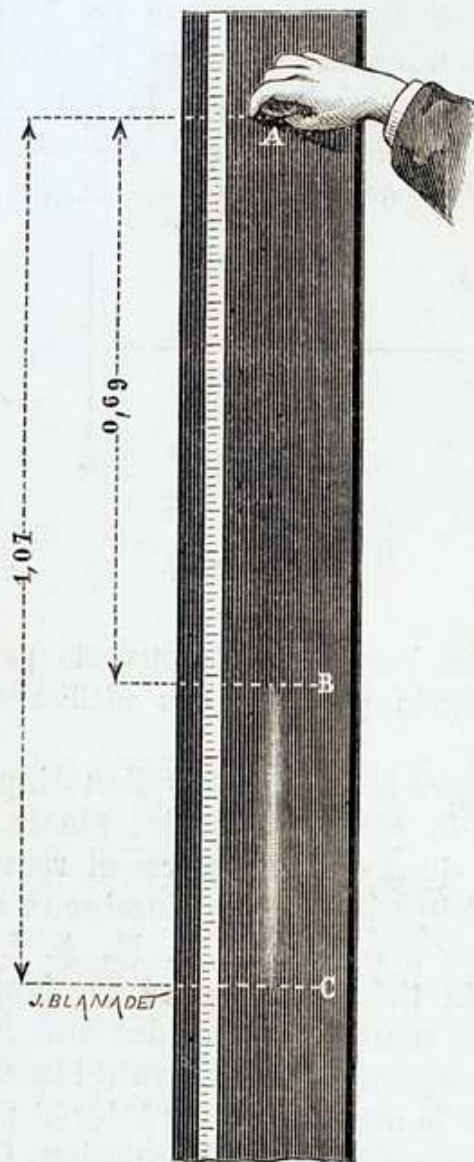


Fig. 361.

ment et que si l'on remonte l'instrument, le ressort se déroule régulièrement au début de l'expérience, c'est-à-dire pendant les vingt ou vingt-cinq premiers tours de l'aiguille des minutes; cette aiguille est animée d'un mouvement douze fois plus rapide que celui de l'aiguille des heures : il suffira donc de mesurer le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de l'aiguille des heures à midi pour connaître la vitesse de rotation de l'aiguille des minutes. On remplace cette dernière par une longue tige (une aiguille à tricoter par exemple) que l'on fait mouvoir devant un grand cadran de

1. *Les levers photographiques et la photographie en voyage*, p. 106.

carton; on peut graduer ce cadran suivant la précision que l'on désire obtenir.

M. Jubert¹ a proposé le premier de photographier une petite sphère brillante tombant à l'air libre le long d'une échelle graduée. Il se sert d'une planche noire, portant une bande étroite de papier blanc, divisé en centimètres par des traits et des chiffres noirs. La planche est placée verticalement en face de l'appareil photographique muni de l'obturateur. Tout étant disposé pour l'expérience, on laisse échapper la sphère brillante qui tombe par son simple poids sans impulsion et sans arrêt; on fait fonctionner l'obturateur. Quand on développe l'image, le cliché montre la graduation, et, à côté, la trainée BC (*fig. 361*) formée par la masse pesante qui se déplaçait. En désignant par e l'espace AC, par e' l'espace AB, par t et t' les temps employés à parcourir ces deux espaces, par g l'intensité de la pesanteur,

$$t = \sqrt{\frac{2e}{g}}, \quad t' = \sqrt{\frac{2e'}{g}}.$$

En désignant par T le temps employé à parcourir l'espace BC on aura

$$T = t - t';$$

avec les données indiquées sur la figure, on trouvera $T = 0^s,09$, soit environ 0,1.

M. de la Baume-Pluvinel a perfectionné cette méthode. Il fixe à la masse pesante qui sert d'objet se déplaçant un fil de magnésium de quelques centimètres de longueur. Un fil de coton-poudre pouvant être allumé facilement maintient tout le système à l'origine des divisions; on enflamme le magnésium, la masse tombe et aussitôt après on déclenche l'obturateur, de manière à photographier le fil incandescent au moment où il passe devant l'objectif. Il faut en outre, pour avoir l'image du décimètre, découvrir l'objectif pendant quelques secondes, soit avant, soit après avoir laissé tomber le corps lumineux. Le cliché étant terminé, il suffit 1° de mesurer la longueur de la trainée; 2° de déterminer la distance de cette trainée à l'origine de la division. Le diagramme (*fig. 362*) permet de trouver immédiatement la durée de l'impressionnement; à cet effet, on parcourt l'échelle verticale tracée à gauche du diagramme, et l'on s'arrête à la division qui correspond au commencement de la trainée. On suit la ligne horizontale passant par cette division jusqu'à ce que l'on rencontre la courbe à l'extrémité de laquelle figure la longueur de la trainée. L'abscisse du point de rencontre de l'horizontale et de la courbe donne la durée de l'impressionnement.

Si l'on opère à une distance de l'objectif supérieure à dix fois sa longueur focale principale, en employant comme point lumineux la lumière du magnésium, la durée de l'impressionnement diffère fort peu de celle du temps de pose effectif.

M. W.-G. Levison² fait réfléchir sur un miroir fixé à l'une des branches

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1880, p. 135.

2. *Brooklyn Academy Association*, 1888.

d'un diapason un point lumineux très brillant; l'image de ce point lumineux va se former, grâce à un objectif, sur la lamelle de l'obturateur que l'on veut étudier. Si l'on fixe sur cette lamelle une pellicule sensible d'un

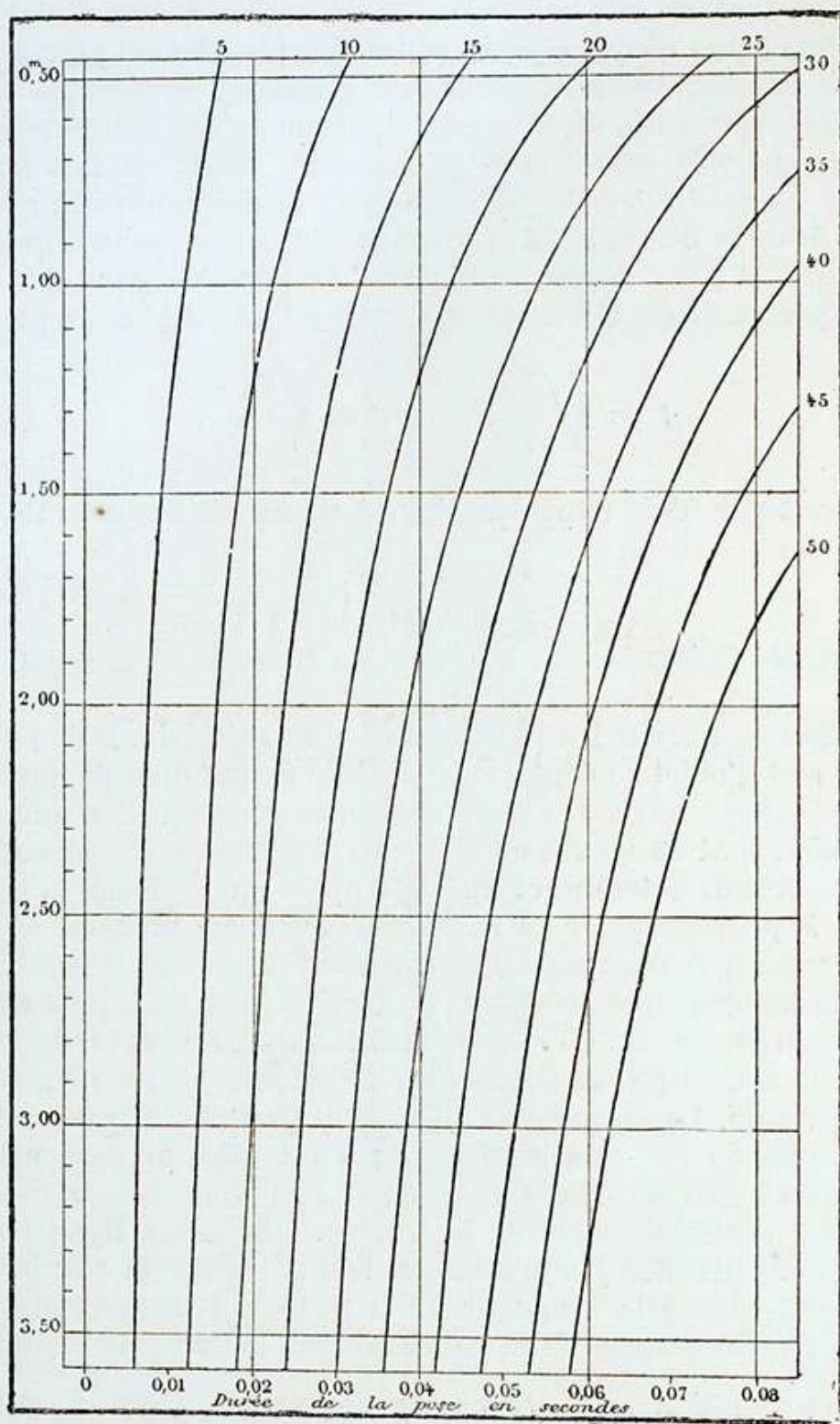


Fig. 362.

poids très léger et qu'au moyen d'un archet on mette le diapason en vibration, le point lumineux oscillera suivant une ligne droite qui s'imprimera sur la surface sensible; mais si l'obturateur est mis en mouvement, le point lumineux tracera une ligne sinusoïdale sur la couche sensible jusqu'à ce que l'obturateur ait atteint l'extrémité de sa course; alors une seconde ligne

droite apparaîtra. Après développement de la plaque, ces lignes se montrent avec une netteté et une précision qui dépendent de la petitesse du point lumineux et du soin apporté en exécutant l'expérience.

Pour enregistrer la durée de fonctionnement dans les obturateurs instantanés, Champion et Pellet se sont servis d'un papier au ferro-prussiate et à l'azotate d'ammoniaque. Quand l'obturateur est fermé, le courant ne passe pas; aussitôt que l'obturateur est démasqué, le courant passe et marque un trait plus ou moins long sur un tambour qui porte le papier chimique; de la longueur du trait on déduit la durée de fonctionnement¹.

Thouroude² a montré que par la méthode graphique on peut constater le rebondissement de l'obturateur.

Éric Gérard et Larmoyer³ se servent de l'enregistrement des vibrations d'un diapason qui fait office d'interrupteur d'une bobine Ruhmkorff; ils photographient sur une plaque animée d'un mouvement de translation l'image de l'étincelle. Cette dernière méthode peut fournir des résultats exacts.

203. Rendement d'un obturateur. Sa détermination. —

Il ne suffit pas de considérer, dans l'action d'un obturateur, la durée totale pendant laquelle cet appareil laisse passer la lumière; il faut aussi tenir compte des variations de l'intensité lumineuse qui se produisent dans l'image pendant les périodes qui correspondent à l'ouverture et à la fermeture de l'obturateur et qui sont séparées par un temps de pose à pleine ouverture.

Pour déterminer l'influence de ces diverses circonstances, il faut faire intervenir dans la définition complète d'un obturateur la loi de variation à chaque instant de l'orifice par lequel pénètre la lumière: la méthode de M. de la Baume-Pluvinel permet d'étudier facilement la loi de ce mouvement.

Une construction graphique permet de déterminer la durée d'ouverture à plein objectif qui laisserait passer la même somme de lumière que celle qui traverse réellement l'orifice constamment variable laissée par le fonctionnement de l'appareil. Il suffit de construire une courbe qui représente à chaque instant la surface découverte de l'ouverture en fonction du temps: dans cette courbe, les abscisses horizontales représenteront les durées et les ordonnées verticales représenteront les surfaces découvertes; on cherchera ensuite le rectangle équivalent à l'aire de cette courbe, ce rectangle ayant pour hauteur la hauteur correspondante à l'ouverture totale du diaphragme. La longueur de ce rectangle représentera précisément la durée de la

1. *Brooklyn Academy Association*, 1874, p. 71.

2. *Ibid.*, 1886, p. 22.

3. *La lumière électrique*, 1889.

pose à plein objectif et éclairement constant qui eût été équivalente à la pose à éclairement graduel effectivement obtenue.

On peut donc obtenir une appréciation suffisante des qualités d'un obturateur donné en le comparant à l'obturateur *idéal* qui laisserait passer la même somme de lumière en agissant constamment à pleine ouverture, c'est-à-dire à un obturateur pour lequel l'ouverture et la fermeture seraient *instantanées* et où il n'existerait pas, par suite, de période d'état variable.

Le rapport entre la durée d'action de cet obturateur idéal et la durée d'action totale de l'obturateur considéré auquel il serait équivalent peut donner une mesure de la bonté de ce dernier, car celui-ci s'approchera d'autant plus de la perfection que ce rapport sera plus voisin de l'unité¹.

Ce rapport n'est autre que le *rendement* de l'obturateur.

204. Coefficient d'utilisation. — Le Congrès de 1889 s'est occupé de la question du rendement ou *coefficient d'utilisation* des obturateurs. Il a demandé qu'à l'avenir les constructeurs indiquent, pour les obturateurs qu'ils livreront, le *temps de pose effectif* ou durée totale d'admission de la lumière, pour chaque degré de réglage de leurs obturateurs, ou tout au moins pour les degrés extrêmes de réglage, et le *rendement*, c'est-à-dire le rapport à cette durée totale de la durée correspondante que donnerait l'obturateur idéal produisant la même impression photographique ou, autrement dit, de la durée de la pose à pleine ouverture qui laisserait passage à la même somme de lumière. Ce temps de pose sera exprimé en secondes et fractions décimales de seconde, en poussant l'approximation plus ou moins loin, suivant que l'on aura affaire à des obturateurs plus ou moins rapides.

Le rendement sera exprimé par un nombre décimal toujours inférieur à 1, en se bornant à une ou deux décimales. Le produit de ce rendement par le temps de pose effectif permettra d'évaluer le temps de pose que donnera l'obturateur idéal correspondant et d'apprécier, par suite, l'intensité d'action lumineuse que peut donner l'obturateur considéré et le degré de sensibilité des plaques qu'il convient d'employer quand on en fait usage.

Comme moyen permettant d'étudier la loi de détermination des organes des obturateurs qui règlent l'introduction de la lumière, le Congrès conseille l'emploi d'un diapason vibrant, muni d'un style traçant directement un trait sinusoïdal sur la surface noircie de ces organes pendant leur mouvement, ou portant un écran percé d'un trou qui permette de projeter un rayon lumineux sur une surface sensible reliée à ces organes mobiles.

Nous nous bornerons à l'examen des obturateurs du système dit à *guilotine*.

Le rendement d'un obturateur varie suivant le type auquel il appartient. En supposant que les lamelles de l'obturateur soient animées d'un mouve-

1. Colonel Sébert, *Congrès international de photographie*, 1889.

ment rectiligne et qu'elles se déplacent avec une vitesse constante v , qui est la vitesse de fonctionnement de l'obturateur, on peut ramener à un petit nombre de cas l'étude du rendement; ces divers cas dépendent surtout de la forme et des dimensions de l'orifice qui admet la lumière dans l'appareil

205. Orifice rectangulaire. — Soient : v , la vitesse de déplacement de l'obturateur, $ac = l$ l'orifice de la lamelle (*fig. 363*), δ l'ouverture de l'objectif, ouverture au contact de laquelle se meut l'obturateur. La lamelle

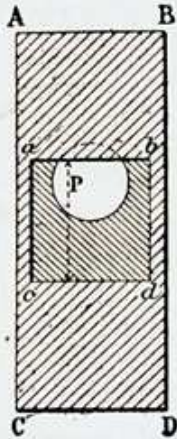


Fig. 363.

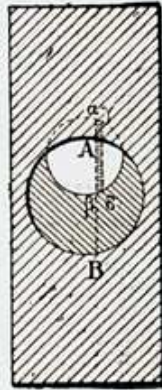


Fig. 364.



Fig. 365.

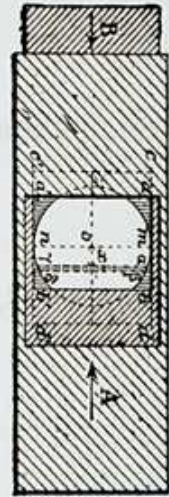


Fig. 366.

parcourt la longueur de l'ouverture l , puis, avant de fermer complètement l'objectif, elle parcourt le diamètre δ ; cet espace étant parcouru pendant le temps t , avec la vitesse v , on aura

$$(1) \quad l + \delta = vT, \quad T = \frac{l + \delta}{v}.$$

Le temps de pose effectif est donc inversement proportionnel à la vitesse de fonctionnement de l'obturateur. *Il n'est pas directement proportionnel à l et à δ .*

L'orifice de l'obturateur passant devant l'ouverture δ découvre chaque point P de cette ouverture pendant le temps que met la lamelle à se déplacer d'une longueur l , et, puisque la vitesse est v et l'espace l , pendant un temps égal à $\frac{l}{v}$.

Cherchons quelle est la quantité de lumière reçue par un élément infiniment petit de la surface de l'objectif. Cette quantité est égale (161) à la surface de cet élément multipliée par l'illumination \mathfrak{J} de l'objectif et par le temps $\frac{l}{v}$ de l'action de la lumière. La somme des éléments infiniment petits qui constituent la surface totale de l'ouverture de l'objectif recevra donc

$$\pi \frac{\delta^2}{4} \mathfrak{J} \frac{l}{v} = L.$$

Si l'on employait un obturateur idéal (obturateur dont les périodes d'ou-

verture et de fermeture seraient nulles), l'objectif recevrait pendant le temps τ une quantité de lumière égale à

$$\pi \frac{\delta^2}{4} \mathfrak{J} \tau = L'.$$

Si $L' = L$, τ est par définition le temps de pose utile; on obtiendra donc cette valeur de τ en égalant L à L' . On en déduit

$$\tau = \frac{l}{v};$$

mais on a, d'après la relation (1),

$$v = \frac{l + \delta}{T};$$

par conséquent, en remplaçant v par sa valeur,

$$\tau = T \frac{1}{1 + \frac{\delta}{l}}.$$

Donc, plus le rapport $\frac{\delta}{l}$ est petit, plus le temps de pose utile se rapproche du temps de pose effectif. On diminuera donc l'écart entre les deux temps de pose en augmentant l'orifice de la lamelle obturatrice et en diaphragmant l'objectif.

Le rendement est

$$\frac{\tau}{T} = \frac{1}{1 + \frac{\delta}{l}}.$$

Si l'orifice de la lamelle obturatrice est égale au diamètre de l'objectif, $l = \delta$:

$$\frac{\tau}{T} = \frac{1}{2}.$$

Si $l = 2\delta$:

$$\frac{\tau}{T} = \frac{2}{3}.$$

206. Orifice circulaire. — Soit l le diamètre de l'orifice circulaire, on a, comme précédemment,

$$T = \frac{l + \delta}{v}.$$

Soit un élément infiniment petit $\alpha\beta\gamma\delta$ (*fig. 364*) de l'ouverture de l'objectif: l'orifice de la lamelle découvre chaque point de cet élément pendant le temps que la lamelle parcourt la longueur AB . Désignons par x la distance de la corde AB au centre de l'orifice de la lamelle, on a

$$AB = \sqrt{l^2 - 4x^2}.$$

L'élément $\alpha\beta\gamma\delta$ reçoit donc une quantité de lumière égale à sa surface $dx \sqrt{\delta^2 - 4x^2}$ multiplié par \mathfrak{J} et par la durée $\frac{\sqrt{l^2 - 4x^2}}{v}$ de l'action de la lumière; soit

$$\frac{1}{v} \mathfrak{J} dx \sqrt{(\delta^2 - 4x^2)(l^2 - 4x^2)}.$$

L'ensemble des éléments infiniment petits constitue la surface totale de l'objectif : cette surface recevra une quantité de lumière

$$L = 2 \mathfrak{J} \frac{1}{v} \int_0^{\frac{\delta}{2}} dx \sqrt{(\delta^2 - 4x^2)(l^2 - 4x^2)}.$$

Les constructeurs font, en général, $l = \delta$; l'expression devient alors

$$L = 2 \mathfrak{J} \frac{1}{v} \int_0^{\frac{\delta}{2}} dx (\delta^2 - 4x^2)$$

en intégrant

$$L = \frac{2}{3} \frac{\delta^3}{v} \mathfrak{J}.$$

Remplaçant v par sa valeur $v = \frac{2\delta}{T}$, il vient

$$L = \frac{\delta^2}{3} \mathfrak{J} T.$$

Si les phases d'ouverture et de fermeture de l'obturateur étaient nulles, on aurait

$$L' = \frac{\pi\delta^2}{4} \mathfrak{J} \tau;$$

d'où l'on déduit, en égalant L à L' ,

$$\frac{\tau}{T} = \frac{4}{3\pi} = 0,424.$$

207. Orifice biconcave. — Soit $ambdnc$ (fig. 100 et 365) la forme de l'orifice de la lamelle; désignons par l la distance mn , par l' le diamètre des demi-cercles amb , cnd : on a, comme précédemment,

$$T = \frac{l + \delta}{v},$$

et la quantité L de lumière introduite par l'orifice biconcave est égale à la quantité de lumière qui serait introduite par l'orifice rectangulaire $abcd$, moins la quantité de lumière qui serait interceptée par les deux demi-cercles amb , cnd . Cette quantité de lumière est précisément égale à celle

que ces cercles laisseraient passer si au lieu d'être pleins ils étaient évidés. On rentre donc dans les deux cas précédents, et l'on a

$$L = \frac{\pi\delta^2}{4} \mathfrak{J} \frac{l + l'}{v} - 2 \mathfrak{J} \frac{1}{v} \int_0^{\frac{\delta}{2}} dx \sqrt{(\delta^2 - 4x^2)(l'^2 - 4x^2)}.$$

Les constructeurs font $l = l' = \delta$; on a alors, en intégrant,

$$L = \frac{\delta^3}{v} \left(\frac{3\pi - 4}{6} \right) \mathfrak{J};$$

mais

$$v = \frac{l + \delta}{T} = \frac{2\delta}{T}.$$

On a, en remplaçant v par sa valeur,

$$L = \frac{3\pi - 4}{12} \delta^2 \mathfrak{J} T.$$

En égalant L à L' , il vient

$$\frac{\tau}{T} = 1 - \frac{4}{3\pi} = 0,57.$$

208. Obturateur à deux lamelles. — Supposons que l'obturateur se compose de deux lamelles animées de mouvements de sens inverse et présentant chacune un orifice rectangulaire. Soit l la longueur de l'orifice rectangulaire des lamelles (*fig. 366*).

Chaque lamelle se déplace d'une longueur l pendant le temps de pose effectif T .

On a donc

$$T = \frac{l}{v},$$

et, dans ce cas, il est exact de dire que le temps de pose effectif est proportionnel à l'ouverture de l'obturateur.

Un élément infiniment petit $\alpha\beta\gamma\delta$ de la surface de l'objectif situé à une distance x du centre O reçoit pendant le temps de pose effectif une quantité de lumière

$$\frac{l - 2x}{v} \mathfrak{J} dx \sqrt{\delta^2 - 4x^2},$$

et la surface totale de l'objectif reçoit

$$L = 2 \mathfrak{J} \int_0^{\frac{\delta}{2}} \frac{l - 2x}{v} dx \sqrt{\delta^2 - 4x^2};$$

d'où, en intégrant,

$$L = \frac{\delta^2}{v} \left(\frac{\pi l}{4} - \frac{\delta}{3} \right) \mathfrak{J};$$

mais

$$v = \frac{l}{T};$$

donc

$$L = \frac{\delta^2}{l} \left(\frac{\pi l}{4} - \frac{\delta}{3} \right) \mathfrak{I}T.$$

On a, d'autre part,

$$L' = \frac{\pi \delta^2}{4} \mathfrak{I}\tau;$$

en égalant ces deux quantités :

$$\frac{\tau}{T} = \left[1 - \frac{4}{3\pi} \frac{\delta}{l} \right],$$

résultat qui montre que le temps de pose utile se rapproche du temps de pose effectif quand on augmente l'orifice l de l'obturateur et lorsqu'on diminue l'ouverture δ de l'objectif.

Les constructeurs font, en général, $l = \delta$; on obtient alors

$$\frac{\tau}{T} = 0,57.$$

Le rendement de l'obturateur à deux lamelles est donc supérieur à celui de l'obturateur à une lamelle.

209. Résumé. — Voici la valeur du rendement des principaux obturateurs à guillotine dans l'hypothèse où la dimension de l'orifice est égale au diamètre δ de l'objectif.

Obturateurs à deux lamelles, ouverture rectangulaire	$\frac{\tau}{T} = 0,57$
— à une lamelle, ouverture rectangulaire	0,50
— — — circulaire	0,43

Si la plus grande dimension de l'orifice l est égale à 2δ , on a :

Obturateur à une lamelle, ouverture rectangulaire	$\frac{\tau}{T} = 0,66$
— — — biconcave	0,57

Un calcul identique aux précédents donnerait les valeurs du rendement d'un obturateur formé d'une lamelle obturatrice animée d'un mouvement circulaire et présentant un orifice en forme de secteur.

Les résultats que nous venons d'indiquer sont sensiblement exacts en pratique, bien que la *vitesse de fonctionnement de l'obturateur ne soit pas uniforme*. Dans certains obturateurs, la phase de fermeture est plus courte que la phase d'ouverture ; c'est l'inverse dans d'autres instruments. L'étude de la loi du mouvement de l'obturateur et la construction graphique que nous avons indiquée donnent des résultats très précis ; on peut les regarder comme superflus dans la pratique habituelle.

BIBLIOGRAPHIE.

- AGLE, *Manuel pratique de photographie instantanée.*
BAUME-PLUVINEL (A. de la), *Le temps de pose.*
CLÉMENT (R.), *Méthode pratique pour déterminer exactement le temps de pose en photographie.*
EDER (Dr J.-M.), *La photographie instantanée, son application aux arts et aux sciences.*
JOLY, *La photographie pratique.*
PIZZIGHELLI (G.), *Die Actinometrie.*
LONDE (A.), *La photographie instantanée, théorie et pratique.*
VIDAL (L.), *Calcul des temps de pose et tables photométriques.*
VIEUILLE (G.), *Nouveau guide pratique du photographe amateur.*
VOGEL (H.), *Lehrbuch der Photographie.*
-