

FORMULAIRE & TABLES POUR LA PHOTOGRAPHIE

Christian Condevaux-Lanloy[†]

Version 1.1 — Février 2012

Table des matières

1	Optique	1
1.1	Conservation de la luminance	1
1.2	Relation de conjugaison de <i>Descartes</i>	1
1.3	Ouverture relative <i>f-stop</i>	1
1.4	Tirage de l'objectif ou extension de soufflet	2
1.5	Facteur d'agrandissement	2
1.6	Compensation d'exposition	2
1.7	Cercle image	2
2	Profondeur de champ	2
2.1	Cercle de confusion	2
2.2	Distance hyperfocale	2
2.3	Premier plan net	3
2.4	Dernier plan net	3
2.5	Profondeur de champ	3
2.5.1	Cas distance de mise au point grande	3
2.5.2	Cas proxy ou macrophotographie	3
3	Sensitométrie	3
3.1	Densité	3
3.1.1	Densité de réflexion	3
3.1.2	Densité de transmission	3
3.1.3	Transmission	3
3.1.4	Opacité	3
3.2	Contraste du papier photographique	3
4	Divers	3
4.1	Écart à la loi de réciprocité	3
4.2	Indice de lamination	4
4.3	Nombre guide	4
4.4	Compensation d'un changement du ratio d'agrandissement	4
	Bibliographie	4
	Index	4

1 Optique

1.1 Conservation de la luminance

Dans tout système optique, la luminance de l'image aérienne d'une source est égale, au facteur de transmission près dû aux pertes dans l'optique, à la luminance de la source¹. Cette loi implique que les temps de pose ne diffèrent pas en fonction de la distance au sujet ou du diamètre de l'optique : seule l'ouverture relative (cf. section 1.3) a un effet sur la luminance de l'image.

1.2 Relation de conjugaison de *Descartes*

C'est la loi fondamentale des lentilles minces. Soit :

- u la distance objectif-plan sujet
- v la distance objectif-plan image
- f la *distance focale de la lentille*

alors on a :

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

Si la distance objectif-plan sujet est infinie, alors la distance objectif-plan image est égale à la *distance focale*. La plupart des formules de ce formulaire dérivent de cette relation.

1.3 Ouverture relative *f-stop*

Dénote la quantité de lumière parvenant au film. C'est le rapport entre la distance focale de l'objectif et le diamètre utile du diaphragme.

Exemple : un objectif de focale $f = 120\text{mm}$ ayant une ouverture maximum d de 30 mm a une ouverture de $f/d = 4$. On note cette ouverture $f/4$ ou $N=4$.

La quantité de lumière est en fonction de πr^2 (surface d'un disque de rayon r). Il s'en suit que pour doubler la quantité de lumière parvenant au film, il suffit de multiplier le rayon de l'ouverture par $\sqrt{2}$. La normalisation des ouvertures tient compte de cette progression :

1 - 1.4 - 2 - 2.8 - 4 - 5.6 - 8 - 11 - 16 - 22 - 32 - 45 - 64 - 90

Passer d'une ouverture normalisée à la suivante revient à diminuer la quantité de lumière par 2 et inversement.

¹<http://www.galerie-photo.com/annexe-pupilles.pdf>

[†]Courriel : technoart3<nospam>@yahoo.co.uk

1.4 Tirage de l'objectif ou extension de soufflet

Avec :

- f la distance focale de l'objectif
- p la distance entre l'objectif et le sujet
- v le tirage à effectuer

On a :

$$v = \frac{p \times f}{p - f}$$

Avec m le rapport d'agrandissement, on a :

$$v = f(m + 1)$$

1.5 Facteur d'agrandissement

Avec :

- p la distance objectif-sujet
- f la distance focale de l'objectif

Le facteur d'agrandissement m vaut :

$$m = \frac{f}{p - f}$$

1.6 Compensation d'exposition

L'extension de soufflet au delà de la longueur focale nécessite une compensation d'exposition — la lumière parvenant sur le plan image diminuant au carré avec la distance.

Avec :

- v le tirage
- f la distance focale de l'objectif

Le coefficient correctif C_{corr} d'exposition en temps à appliquer est :

$$C_{corr} = \left(\frac{v}{f}\right)^2 = (m + 1)^2$$

En diaphragme, la compensation C_\emptyset doit être de

$$C_\emptyset = \log_2 C_{corr} = 6.64 \cdot \ln(m + 1) = 6.64 \cdot \ln\left(\frac{v}{f}\right)$$

1.7 Cercle image

L'angle de couverture α est donné généralement à $f/22$ par les fabricants. Le cercle image C_i correspondant à un tirage v vaut :

$$C_i = 2v \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

On en déduit que pour une focale f , il suffit pour couvrir un format de diagonale d que la distance de mise au point p satisfasse :

$$p < \frac{df}{d - 2f \cdot \tan \frac{\alpha}{2}}$$

Avec m le facteur d'agrandissement, on doit avoir :

$$m > \frac{d}{2f \cdot \tan \frac{\alpha}{2}} - 1$$

2 Profondeur de champ

2.1 Cercle de confusion

Les diamètres des cercle de confusion pour les capteurs les plus courants sont les suivants :

format	diam (mm)
APS-C	0.018
35 mm	0.03
645 (6×4.5)	0.045
6×6	0.045
6×7	0.06
6×9	0.07
4×5'	0.1
5×7'	0.15
8×10'	0.2

Une manière de calculer ces diamètres est la suivante : l'œil humain est — en moyenne — capable de discerner des points éloignés au minimum d'une minute d'angle. On considère qu'un format donné est agrandi r fois et que ce rapport est stable quelque soit le format. Soit $\alpha = 1'$ et d la diagonale du capteur. Sur l'image, le diamètre du cercle de confusion est donc $2dr \times \tan \alpha$ et sur le capteur le diamètre correspondant vaut $2d \times \tan \alpha$.

$2 \times \tan \alpha$ est une constante et vaut environ $5.815 \cdot 10^{-4} \simeq \frac{1}{1720}$. En multipliant cette constante par la diagonale du capteur considéré, on obtient les valeurs du tableau ci-dessus.

2.2 Distance hyperfocale

Distance H telle que l'image soit nette de $H/2$ à $+\infty$

Avec :

- f la distance focale de l'objectif
- N l'ouverture relative de l'objectif
- c le diamètre du cercle de confusion toléré

$$H = \frac{f^2}{N \times c}$$

2.3 Premier plan net

Avec :

- H la distance hyperfocale
- p la distance de mise au point (distance objectif-sujet)
- f la distance focale de l'objectif

La distance PPN est donnée par la formule :

$$PPN = \frac{H \times p}{H + (p - f)}$$

2.4 Dernier plan net

$$DPN = \frac{H \times p}{H - (p - f)}$$

2.5 Profondeur de champ

$$PDC = DPN - PPN = \frac{2Hp(p - f)}{H^2 - (p - f)^2}$$

2.5.1 Cas distance de mise au point grande

Si la distance de mise au point est grande par rapport à la focale, on a alors $PPN \simeq \frac{Hp}{H+p}$ et $DPN \simeq \frac{Hp}{H-p}$. la formule de profondeur de champs se simplifie en :

$$PDC \simeq \frac{2Hp^2}{H^2 - p^2}$$

NB : On constate que si la mise au point est effectuée en H , on retrouve $PPN = H/2$ et $DPN = +\infty$

2.5.2 Cas proxy ou macrophotographie

Si au contraire la distance de mise au point est faible alors avec N l'ouverture, c le diamètre du cercle de confusion et m le facteur d'agrandissement, on a :

$$PDC \simeq 2Nc \cdot \frac{m + 1}{m^2}$$

3 Sensitométrie

3.1 Densité

3.1.1 Densité de réflexion

La réflexion est la fraction de lumière incidente réfléchiée par une surface.

$$\text{densité de réflexion} = \log_{10} \frac{1}{\text{réflexion}}$$

3.1.2 Densité de transmission

3.1.3 Transmission

Rapport du flux lumineux transmis au flux incident.

Exemple : Si un négatif laisse passer 40% de la lumière, sa *transmission* est de 0.4

3.1.4 Opacité

Rapport du flux incident au flux transmis, soit l'inverse de la *transmission*.

$$\begin{aligned} \text{densité de transmission} &= \log_{10} \frac{1}{\text{transmission}} \\ &= \log_{10} \text{opacité} \end{aligned}$$

3.2 Contraste du papier photographique

En définissant :

- D_{min} la densité minimum telle que $D_{min} = 0.04 + \text{base} + \text{voile}$
- D_{max} comme 90% de la densité maximum possible pour une combinaison particulière papier/traitement
- $E_S - E_T$ le \log_{10} de l'exposition relative donnant respectivement D_{max} et D_{min}

alors le contraste du papier est défini – selon la norme ISO 6846 – comme :

$$R = 100 (E_S - E_T)$$

4 Divers

4.1 Écart à la loi de réciprocité

Les longues poses entraînent un écart à la loi de réciprocité, écart appelé également *effet Schwarzschild*. Les fabricants donnent la correction du temps de pose à effectuer, soit sous forme de graphique, soit sous forme de table. Ces tables/graphiques ne donnent cependant les corrections que pour des temps de pose initiaux relativement faibles (35s par exemple pour Ilford/Harmann). Le modèle suivant, de Patrick Gainer² permet d'extrapoler les valeurs du fabricant. Avec T_m le temps initial mesuré, le temps compensé T_c de l'effet Schwarzschild vaut :

$$T_c = T_m + \beta \cdot T_m^{1.62}$$

β est un facteur constant mais qui est particulier à chaque film. Il est facile de déterminer ce paramètre à l'aide des données fabricant et d'une analyse par régression (utiliser Excel ou une calculatrice scientifique pour ce faire).

²<http://photo.net/black-and-white-photo-film-processing-forum/00Aijs?start=10>

TAB. 1 : Indices de lumination pour diverses conditions lumineuses (100 iso)

Conditions lumineuses	EV ₁₀₀
Extérieur, lumière naturelle	
sable clair ou neige en plein soleil ou légèrement voilé (ombres distinctes) ^a	16
plein soleil ou légèrement voilé (ombres distinctes) ^b	15
soleil voilé (ombres douces)	14
ciel nuageux clair (pas d'ombres)	13
ciel sombre	12
scène à l'ombre, plein soleil	12
nuit sous la pleine lune	-3
Extérieur, lumière artificielle	
néons et autres signes très lumineux	9–10
rue de nuit très éclairée	8
rue de nuit	7
trafic véhicule de nuit	5
bâtiments, monuments sous projecteurs	4
bâtiments éclairés lointains	2
Intérieur, lumière artificielle	
galeries	8–11
événement sportifs et salons	8–9
spectacles sous projecteurs	8
bureaux et lieux de travail	7–8
intérieur privé	5–7
église	5
sujet sous faible lumière	0

^a éclairage de face, diminuer EV de 1 pour un éclairage de côté, de 2 pour un contre-jour.

^b cf. note a

4.2 Indice de lumination

L'indice de lumination, ou *exposure value EV* dénote l'ensemble des couples vitesse/diaphragme qui donne une même exposition. On a, avec N l'ouverture et t le temps d'exposition :

$$EV = \log_2 \frac{N^2}{t} \simeq 3.32 \times \ln \frac{N^2}{t}$$

$$\Rightarrow t \simeq \frac{N^2}{e^{0.3EV}}$$

On peut relier l'indice de lumination à la luminance de la scène en fixant la sensibilité du capteur. Le tableau 1 donne les indices de lumination pour diverses conditions lumineuses à 100 iso³.

³ <http://www.fredparker.com/ultexp1.htm#Light%20Intensity%20Chart>

4.3 Nombre guide

Le nombre guide NG indique la puissance d'un flash. Pour les scènes où la lumière du flash est prépondérante par rapport à la lumière ambiante, l'ouverture relative N est reliée au nombre guide par la relation suivante (pour 100 iso) :

$$N = \frac{NG}{p}$$

où p est la distance de la scène éclairée.

Pour une sensibilité s différente de 100 iso, on a :

$$N = \sqrt{\frac{s}{100}} \times \frac{NG}{p}$$

4.4 Compensation d'un changement du ratio d'agrandissement

Soit d_1 la hauteur initiale de l'objectif d'agrandissement au plan image, et d_2 la nouvelle hauteur. Afin de conserver la même exposition il convient de compenser l'exposition selon le ratio⁴ :

$$R = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{1+m_2}{1+m_1}\right)^2$$

m_1 et m_2 étant les rapports d'agrandissements correspondants à d_1 et d_2 . Si le nouveau temps d'exposition est important par rapport à l'ancien, il est préférable d'agir – afin d'éviter un écart à la loi de réciprocité – sur le diaphragme selon le rapport :

$$R_0 = \log_2 R \simeq 3.32 \times \ln R$$

Bibliographie

- [1] E. ALLEN et S. TRIANTAPHILLIDOU : *The Manual of Photography*. Focal Press, 10^e éd., 2011.
- [2] R. W. LAMBRECHT et C. WOODHOUSE : *Way Beyond Monochrome*. Focal Press, 10^e éd., 2009.
- [3] L. STROEBEL : *View Camera Technique*. Focal Press, 7^e éd., 1999.

Colophon

Ce document a été réalisé à l'aide du logiciel de mise en page X_YTeX⁵ et utilise la fonte Linux Libertine⁶.

⁴ Cette formule est valable pour les agrandisseurs à lumière diffuse. Les distances d_1 et d_2 sont celles séparant le point nodal d'incidence de l'objectif du plan de projection.

⁵ <http://scripts.sil.org/xetex>

⁶ <http://linuxlibertine.sourceforge.net>

Index

cercle de confusion, 2
cercle image, 2
compensation d'exposition, 2
contraste du papier, 3

densité, 3
 de réflexion, 3
 de transmission, 3
Descartes, voir relation de conjugaison
distance focale, 1
distance hyperfocale, 2

exposure value, voir indice de lumination
extension de soufflet, 2

f-stop, 1
facteur d'agrandissement, 2

indice de lumination, 4

macrophotographie, 3

nombre guide, 4

opacité, 3
ouverture relative, 1

profondeur de champs, 2, 3

relation de conjugaison, 1
réciprocité (*écart à la loi de*), 3

Schwarzschild (effet), 3