

Les lentilles additionnelles

Il existe deux méthodes pour réaliser des photographies rapprochées :

- 1) l'augmentation de tirage
- 2) les lentilles additionnelles

C'est la seconde méthode qui va être étudié dans ce chapitre.

La majorité des appareils, de type 'reflex', à l'aide d'objectifs appropriés, permet la mise au point rapprochée. Par contre, les modèles anciens, les appareils à objectif fixe ou dans le cas où le tirage de l'objectif est faible nécessitent l'utilisation de lentilles additionnelles (appelées bonnettes).

Les lentilles additionnelles convergentes peuvent être soit des lentilles biconvexes, soit des ménisques convergents. Elles doivent être correctement centrées sur l'objectif pour que les axes optiques soient confondus. On trouve dans les magasins d'articles photographiques des lentilles additionnelles convergentes de 1 et 2 dioptries. Il est difficile de se procurer des valeurs plus élevées mais, bien que cela ne soit pas conseillé, on peut superposer plusieurs lentilles. Chez les opticiens on trouve des lentilles additionnelles sous forme de ménisques convergents avec des valeurs élevées (5 dioptries) par $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$ de dioptries.

Il existe aussi des éléments optiques à foyer variable (vario focus) qui s'utilisent comme des lentilles additionnelles sur les objectifs de 35 à 55 mm de focale. Avec ce type de matériel il est possible d'effectuer des prises de vues de 10 cm à 1 m en progression continue, c'est-à-dire que la puissance varie de 10 à 1 dioptries.

Possibilités et avantages des lentilles additionnelles

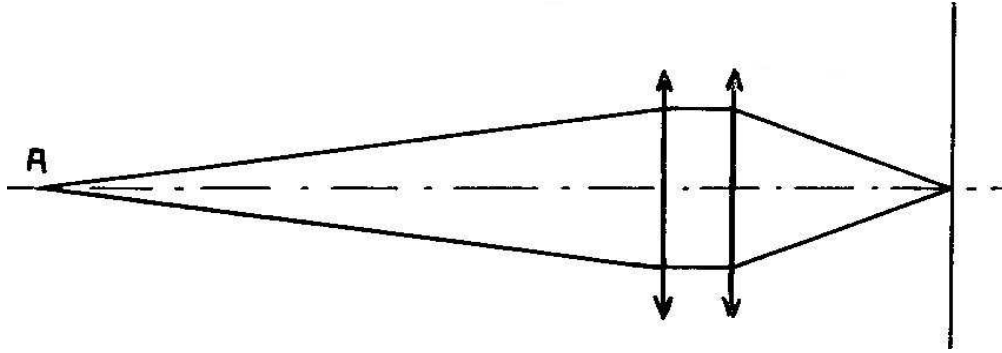
On a vu qu'avec certains appareils photographiques et dans certaines conditions, il n'y a pas d'autre solution pour effectuer une mise au point rapprochée. Cependant l'utilisation de lentilles additionnelles n'est pas à rejeter sur des appareils permettant une augmentation de tirage de l'objectif.

Les lentilles additionnelles ont un certain nombre d'avantages : elles sont légères, peu encombrantes, relativement bon marché, enfin leur utilisation ne conduit pas à une augmentation du temps de pose.

Quelles sont les possibilités des lentilles additionnelles ? Sous réserve d'un cadrage et d'une mise au point faciles, ce qui est le cas des appareils reflex mono objectif, l'utilisation d'une lentille additionnelle conjuguée avec le réglage normal de l'objectif entre l'infini et un 1 m, par exemple, permet d'effectuer une mise au point sur des distances inférieures à un mètre et cela d'une façon continue.

Utilisation des lentilles additionnelles

Si nous considérons une lentille additionnelle convergente seule, nous savons que tout rayon parallèle à l'axe optique se réfracte en passant par le foyer et réciproquement. Donc les rayons partant d'un point A placé au foyer de la lentille additionnelle sortiront de celle-ci parallèlement à l'axe optique. Si cette lentille additionnelle est placée devant un objectif dont la mise au point est réglée sur l'infini, le point A se comportera vis à vis de l'objectif comme s'il était placé à l'infini, son image se formera au foyer de l'objectif. Lorsque le point A se rapproche de la lentille additionnelle, son image se forme en arrière du plan focal de l'objectif, il faut augmenter le tirage de celui-ci en réglant sa mise au point entre l'infini et un mètre pour obtenir une image nette.



Combinaison lentille additionnelle objectif

Lorsque l'on veut utiliser des lentilles additionnelles pour effectuer une mise au point plus rapprochée que ne le permet normalement l'objectif, le problème à résoudre est en général le suivant :

Ayant un appareil dont l'objectif a une distance focale donnée, et une mise au point minimale possible sur un mètre par exemple, on veut photographier un sujet se trouvant à une distance inférieure à un mètre. Ce sujet a des dimensions inférieures au champ normalement couvert par l'objectif mis au point sur un mètre. Il faut déterminer :

- 1- La puissance de la lentille additionnelle à utiliser.
- 2- La distance sur laquelle il faut régler la mise au point de l'objectif (distance comprise entre l'infini et un mètre) pour couvrir un champ correspondant aux dimensions du sujet.
- 3- A quelle distance doit se trouver le sujet par rapport à la lentille additionnelle.
- 4- La profondeur de champ pour quelques diaphragmes.

On va indiquer les différentes formules qui permettent de résoudre ce problème, en prenant un cas concret pour chaque paramètre pour en montrer l'application. Chacun pourra selon son matériel et ses besoins, déterminer ces différentes inconnues.

Détermination de la focale résultant d'une combinaison objectif-lentille additionnelle

Rappel : La puissance en dioptries d'un objectif ou d'une lentille additionnelle est égale au quotient de 1 (si f en m) ou 100 (si f en cm) ou 1000 (si f en mm) par la longueur focale.

Soit un objectif de 50 mm de distance focale, sa puissance est : $\frac{1000}{50} = 20$ dioptries.

L'utilisation d'une lentille additionnelle convergente sur un objectif modifie la puissance de l'objectif, donc sa focale. **La puissance résultante est égale à la somme des puissances de l'objectif et de la lentille additionnelle.**

$$P = P_o + P_l$$

Si la lentille additionnelle ne peut pas être mise près de la lentille frontale de l'objectif¹, il faut tenir compte dans les calculs de la distance (d) séparant ces deux éléments, en appliquant la formule complète donnant la puissance de la combinaison objectif-lentille additionnelle :

$$P = P_o + P_l - d_{ol} (P_o \cdot P_l)$$

P_o = puissance de l'objectif ;

P_l = puissance de la lentille additionnelle ;

d_{ol} = distance en cm ou mm entre les faces en regard de la lentille additionnelle et de l'objectif.

1. Certains objectifs ayant une monture formant pare-soleil ne permettent pas de mettre la lentille additionnelle près de la lentille frontale de l'objectif.

Cette dernière distance peut, en général, être négligée ; la formule se réduit à la première formule :

$$P = P_o + P_l$$

Exemple : $f = 50 \text{ mm}$ soit $P = 20 \text{ d}$; $P_l = 2 \text{ d}$;

$$P = 20 + 2 = 22 \text{ dioptries}$$

Connaissant la puissance de la combinaison, il est facile de trouver la focale résultante (f_r), il suffit de diviser 1 (si f_r en m), 100 (si f_r en cm), 1000 (si f_r en mm) par la puissance :

$$f_r \text{ (en mm)} = \frac{1000}{P}$$

Exemple : $P = 22 \text{ d}$;

$$f_r = \frac{1000}{22} = 45,4 \text{ mm}$$

Distance de mise au point de la combinaison objectif-lentille additionnelle

Connaissant la distance de mise au point de l'objectif seul, on peut déterminer la distance de mise au point de la combinaison objectif/lentille additionnelle. Cette distance d est celle séparant le sujet de la lentille additionnelle.

Soit d^d la distance de mise au point de l'objectif exprimée en dioptries (quotient de 1 par la distance en m), P_l la puissance de la lentille additionnelle, on obtient d par la formule :

$$d^d = \frac{1}{d} \text{ (en m)}$$

$$d = d^d + P_l$$

Exemples : $d^d = 1 \text{ d}$; $P_l = 2 \text{ d}$;

$$d = 1^d + 2^d = 3^d$$

Ce qui correspond à une distance de $1 : 3 = 0,33 \text{ m}$.

L'objet doit donc se trouver à $0,33 \text{ m}$ de la lentille additionnelle lorsque la mise au point de l'objectif est faite sur 1 m .

Quand l'objectif est mis au point sur l'infini (∞), $d^d = \infty$ ·ce qui correspond à 0 dioptrie :

$$\frac{1}{\infty} = 0, \text{ alors } d = 0 + 2 \text{ d} = 2 \text{ dioptries, soit } 1 : 2 = 0,50 \text{ m}$$

Donc, lorsque l'objectif associé à une lentille additionnelle de 2 dioptries a sa mise au point à l'infini, le sujet doit se trouver à $0,5 \text{ m}$ de la lentille additionnelle. Il est possible par le même calcul de trouver pour toutes les distances de mise au point de l'objectif, les distances correspondantes sujet lentille additionnelle ².

Dans le cas où l'on utilise un appareil à objectif fixe sans possibilité de mise au point, on peut se servir de lentilles additionnelles, mais pour chaque lentille additionnelle l'objet doit être placé à une distance fixe correspondant à la focale de la lentille additionnelle: 1 m pour 1 dioptrie, 0,5 m pour 2 dioptries, etc.

Remarque : Les valeurs que nous venons de trouver, 0,5 m et 0,33 m, nous donnent les deux limites extrêmes d'utilisation d'un objectif associé à une lentille additionnelle de 2 dioptries. On verrait de même qu'un objectif associé à une lentille additionnelle de 1 dioptrie permet une distance sujet lentille additionnelle comprise entre 1 m et 0,5 m, lorsque sa distance de mise au point varie entre l'infini et 1 m.

Avec les 2 lentilles additionnelles de 1 et 2 dioptries utilisées séparément, il est donc possible d'effectuer une mise au point sur des sujets situés entre 1 m et 0,33 m, et cela d'une façon continue. (Voir les tableaux de calculs du cours).

Calcul du rapport de grandissement avec la combinaison objectif-lentille additionnelle

Ayant calculé la distance focale résultant de la combinaison objectif-lentille additionnelle, et les deux limites de mise au point de cet ensemble, on peut calculer le rapport de grandissement (**G**) pour une distance de mise au point donnée.

On est en effet en présence d'un objectif ayant non plus une focale **f** mais une focale **fr**, et une distance de mise au point **d = d^d + Pl**.

La formule $d = (1 + 1 / G)$ permet de calculer le rapport de reproduction de la combinaison objectif lentille additionnelle.

En effet
$$d = \left(1 + \frac{1}{G}\right) f$$

Où
$$1 + \frac{1}{G} = \frac{d}{f} ; \frac{1}{G} = \frac{d}{f} - 1 = \frac{d - f}{f}$$

Et
$$G = \frac{f}{d - f}$$

Dans le cas de notre nouvel objectif de focale résultante fr

$$G = \frac{fr}{d - fr}$$

Exemples : Si on reprend l'exemple précédent, objectif de 50 mm associé à une lentille additionnelle de 2 dioptries, focale résultante fr = 45,4 mm, calculons le rapport de reproduction G pour les deux distances extrêmes de mise au point 0,5 m et 0,33 m :

Pour d = 0,5 m (= 500 mm) ;
$$G = \frac{45,4}{500 - 45,4} = \frac{45,4}{454,6} = 0,1X$$

Pour d = 0,33 m (=333 mm) ;
$$G = \frac{45,4}{333,3 - 45,4} = \frac{45,4}{287,9} = 0,15X$$

Calcul du champ couvert par la combinaison objectif-lentille additionnelle

Il est maintenant possible de déterminer les dimensions du sujet, c'est-à-dire le champ couvert pour ces deux distances.

Si l'appareil sur lequel est monté cet objectif est de format 24 x 36 mm :

**Pour d = 0,5 m, le champ couvert est : 24 . 0,1 = 240 mm et 36 . 0,1 = 360 mm.
Soit 240 x 360 mm.**

**Pour d = 0,33 m, le champ couvert est 24 . 0,15 = 152 et 36 . 0,15 = 228 mm.
Soit 152 x 228 mm.**

Calcul de la profondeur de champ avec la combinaison objectif-lentille additionnelle

Ayant déterminé la distance de mise au point (**d**), le champ couvert, et le rapport de grandissement (**G**), il reste à calculer la profondeur de champ.

Dans le cas d'une mise au point sur verre dépoli, il est simplement utile de connaître la profondeur de champ totale **d1 - d2**. Cette profondeur de champ n'est pas tout à fait également répartie par rapport au plan de mise au point lorsque le rapport de reproduction est peu élevé. Si l'on veut connaître cette répartition, il faut calculer **d1 - d** et **d - d2**.

Dans le premier cas on utilise la formule : $d1 - d2 = \frac{2.n.e (G + 1)}{G^2}$

Cette formule est d'un emploi très simple.

Par contre, si l'on veut connaître la répartition de la profondeur de champ en avant et en arrière du plan de mise au point, on utilise les deux formules ci-dessous :

La 1^{ère} calcule la limite postérieure : $d1 = \frac{(R + 1) fr^2}{fr - n.R.e}$

La 2^{ème} calcule la limite antérieure : $d2 = \frac{(R + 1) fr^2}{fr + n.R.e}$

Avec $R = \frac{1}{G}$ (R est le rapport de réduction).

Exemples : Reprenant toujours le même exemple, on va montrer l'application de ces formules dans les deux cas : objectif de 50 mm, lentille additionnelle de 2 dioptries, focale résultante fr = 45,4 mm, mise au point sur 1 mètre, distance d = 333 mm, G = 0,15X, e = 1/30 mm (0,03 mm), n = 16.

$d1 - d2 = \frac{2 . 16 . 0,03 (0,15 + 1)}{0,15^2} = 49 \text{ mm}$

Avec les mêmes valeurs, les deux autres formules donnent :

$d1 = (6,66 + 1) 45,4^2 / 45,4 - (16 . 6,66 . 0,03) = 374 \text{ mm}$

La profondeur de champ en arrière du plan de mise au point est donc :

$$d_1 - d = 374 - 333 = 41 \text{ mm}$$

$$d_2 = (6,66 + 1) 45,4^2 / 45,4 + (16 \cdot 6,66 \cdot 0,03) = 324 \text{ mm}$$

La profondeur de champ en avant du plan de mise au point est donc :

$$d - d_2 = 333 - 324 = 9 \text{ mm}$$

Et la profondeur de champ totale : $d_1 - d_2 = 50 \text{ mm}$, valeur très peu différente de celle trouvée avec la 1^{ère} formule.

Calcul de l'ouverture relative avec la combinaison objectif-lentille additionnelle

L'emploi d'une lentille additionnelle convergente sur un objectif réduisant la focale de celui-ci, on peut se demander ce que devient l'ouverture relative de l'objectif.

Notre objectif de 50 mm de focale, associé à une lentille additionnelle de 2 dioptries, a une focale réduite à 45,4 mm. Son ouverture utile (= mécanique) n'ayant pas changée, son ouverture relative a donc augmentée.

On sait que l'ouverture réelle est égale à l'ouverture indiquée sur l'objectif (= relative), multipliée par le rapport : **focale résultante / focale (f_r / f).**

Exemple : avec $n = 11$; $f = 50 \text{ mm}$; $f_r = 45,4$;

$11 \cdot (45,4 / 50) = 10$, l'ouverture réelle est donc 1 : 10 ($n = 10$).

La formule donnant l'ouverture réelle en fonction de l'ouverture affichée, et du rapport de grandissement $n' = n (G + 1)$ permet de calculer l'ouverture sur laquelle il faut compter.

Exemple : dans notre cas $G = 0,1X$;

$$n' = 10 (0,1 + 1) = 10 \cdot 1,1 = 11 (n' = 11)$$

C'est précisément l'ouverture indiquée sur l'objectif.

Donc dans le cas d'utilisation de lentilles additionnelles, l'ouverture réelle est celle indiquée sur l'objectif.

L'augmentation d'ouverture, que l'on gagne par suite de la diminution de la focale, est perdue du fait de l'augmentation de tirage (exemple : 50 mm pour une focale résultante de 45,4 mm).

Remarques sur l'utilisation des lentilles

L'emploi de lentilles additionnelles pour effectuer une mise au point rapprochée n'est pas la solution techniquement la meilleure à cause des distorsions qu'elles peuvent apporter. Cependant, ces distorsions n'apparaissent guère pour des puissances modérées d'une part, d'autre part elles sont impossibles à déceler sur la majorité des sujets.

Si l'on dispose de plusieurs objectifs pour un appareil donné, avec quel objectif a-t-on intérêt à utiliser des lentilles additionnelles pour obtenir le rapport de grandissement le plus élevé, c'est-à-dire le champ couvert le plus faible ?

L'objectif ayant la plus longue focale a la plus faible puissance $P = 1000 / f$. Avec une lentille additionnelle donnée, l'augmentation relative de puissance est donc plus grande avec l'objectif ayant la plus faible puissance. Sous réserve que deux objectifs aient la même distance minimale de mise au point, 1 mètre par exemple, c'est donc l'objectif qui a la plus grande focale qui permet le rapport de grandissement le plus élevé.