

Diaphragme et digiscopie.

Réflexion sur la valeur et l'utilité du diaphragme de la combinaison lunette - APN.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, faisons quelques rappels.

1. Pupille d'entrée.

Il s'agit de l'image du diaphragme donnée vers l'avant par la partie du système optique située en amont du diaphragme. Pour un objectif photo à pleine ouverture, cette pupille d'entrée correspond à la lentille frontale de l'optique. Son diamètre est égal à celui de cette même lentille.



Pupille d'entrée
à pleine ouverture f/1.8



Pupille d'entrée
ouverture f/5.6

Pour une lunette d'observation ou longue vue ne possédant pas de diaphragme, il s'agira toujours de la lentille frontale. Son diamètre est égal au diamètre de celle-ci.

2. Pupille de sortie.

Il s'agit de l'image du diaphragme donnée vers l'arrière par la partie du système optique située en aval du diaphragme. Pour un objectif photo à pleine ouverture, cette pupille de sortie correspond à l'image de la lentille frontale donnée par la lentille arrière.



Pupille de sortie
à pleine ouverture f/4



Pupille de sortie
ouverture f/16

Pour une lunette d'observation ou longue vue ne possédant pas de diaphragme, il s'agit de l'image de la lentille frontale donnée par l'oculaire. Rappelons que son diamètre est défini par le rapport du diamètre de la lentille frontale au grossissement. Pour une lunette dont la lentille mesure 80 mm de diamètre et possédant un oculaire zoom de 25-50x, la pupille de sortie mesure $80/25 = 3.2$ mm à 25x et $80/50 = 1.6$ mm à 50x.



3. Diaphragme.

Un système optique possède toujours un diaphragme d'ouverture, que ce soit une lentille (ou sa monture) ou un diaphragme indépendant.

Sur une lunette, on cherche à faire passer un maximum de lumière au travers de l'instrument. Elle sera donc construite de telle sorte que le diaphragme soit la lentille la plus grande. Il s'agira donc toujours de la lentille frontale. Comme elle est de taille fixe, la quantité de lumière qui la traverse est constante et ne peut pas être modifiée par l'utilisateur.

Reprenons l'exemple de la lunette citée plus haut. En utilisant la formule du grossissement, nous pouvons calculer les focales équivalentes aux deux grossissements extrêmes.

$$G_{obj} = \frac{F}{50} \quad \text{ou} \quad F = G_{obj} \times 50 \quad \text{avec } F = \text{focale}$$

Donc : au grossissement de 25x, la focale équivalente est de $25 \times 50 = 1250$ mm
au grossissement de 50 x, la focale équivalente est de $50 \times 50 = 2500$ mm

De même, avec la formule du diamètre de l'ouverture de diaphragme, nous pouvons calculer le diaphragme équivalent aux deux grossissements extrêmes.

$$\Phi_{ouv \ diaph} = \frac{F}{f} \quad \text{ou} \quad f = \frac{F}{\phi} \quad \text{avec } F = \text{focale}$$

$f = \text{nombre de diaphragme}$

Donc : au grossissement de 25x, le diaphragme équivalent est de $1250/80 = 15.6$ (f/16)
au grossissement de 50 x, le diaphragme équivalent est de $2500/80 = 31.25$ (f/32)

En photographie, le problème est différent. L'ouverture ayant une influence sur la profondeur de champ (Pdc) et le temps de pose, on veut la contrôler en fonction de l'effet recherché. On placera dès lors au sein de l'objectif un diaphragme physique avec un diamètre ajustable qui servira de diaphragme d'ouverture.

Dans le cas de l'objectif photographique, le diaphragme d'ouverture est constitué d'un plan opaque percé d'un trou formé par des lamelles mobiles (diaphragme en iris). Il est de taille variable et permet donc de moduler la quantité de lumière qui atteint la pellicule ou le capteur numérique. L'ouverture d'un objectif est le réglage qui permet de faire varier le diamètre du diaphragme. Le nombre d'ouverture (N) est un nombre sans dimension caractérisé par le rapport de la focale f au diamètre de la pupille d'entrée d .

$$N = \frac{f}{d}$$

Vous noterez que les variables caractérisant les focale, diaphragme ou nombre d'ouverture et pupille d'entrée ont changé afin de les adapter au langage plus communément accepté en photographie.

On voit qu'à focale constante, le diamètre de la pupille d'entrée (ou diaphragme) diminue si le nombre d'ouverture augmente et inversement. Les fabricants indiquent toujours l'ouverture maximale disponible du diaphragme. Elle est aussi qualifiée d'ouverture utile.



f / 2.8



f / 4



f / 5.6



f / 8



f / 11



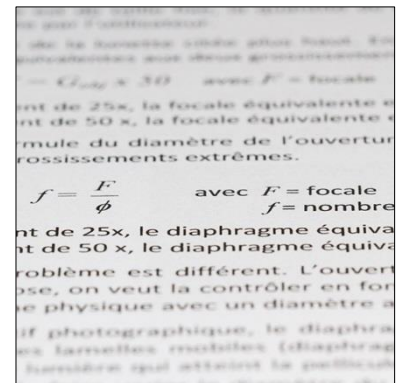
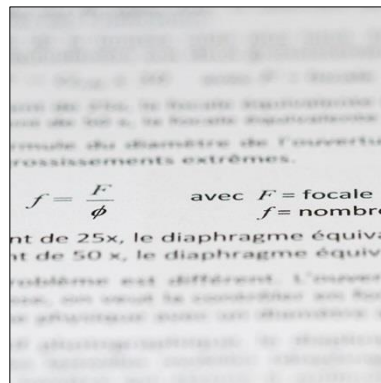
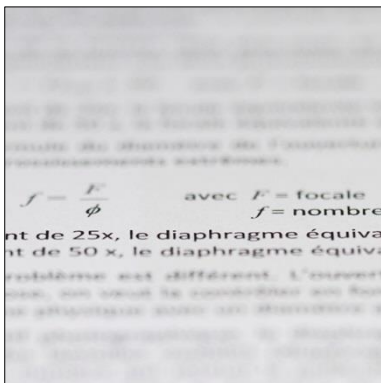
Le diamètre du diaphragme d'ouverture a une influence sur différents phénomènes plus ou moins importants pour le photographe.

A. La profondeur de champ (Pdc)

Elle est liée à l'ouverture du diaphragme par

$$Pdc = \frac{2 \cdot N \cdot c \cdot D^2}{f^2} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} N = \text{nombre d'ouverture} \\ D = \text{distance au sujet} \\ f = \text{ focale} \\ c = \text{ cercle de confusion} \end{array}$$

On voit donc qu'à focale constante et pour un sujet à même distance de l'appareil photo, la profondeur de champ augmente à mesure que le diamètre du diaphragme diminue. De même on peut dire que si le nombre d'ouverture augmente, la profondeur de champ augmente aussi.



Ces trois photos ont été prises de la même façon, à savoir avec le même objectif dont la focale fixe est de 150 mm, une vitesse d'obturation de 1/125 et avec une distance de mise au point identique. Seul le nombre d'ouverture varie.

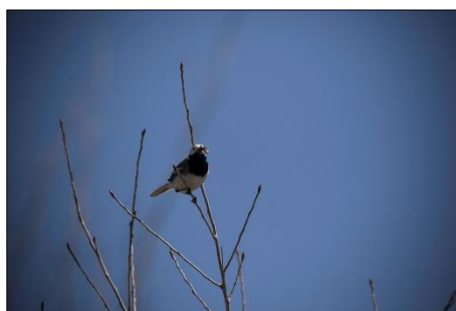
f/2.8

f/4

f/8

B. Le vignettage.

C'est l'obscurcissement des bords et surtout des angles de la photographie. Il suffit en général de fermer le diaphragme de un ou deux crans pour supprimer cet effet gênant.



C. L'aberration chromatique.

Elle résulte de la variation de l'indice de réfraction du matériau de constructions des lentilles en fonction de la longueur d'onde de la lumière qui les traverse. Or les différentes couleurs qui composent la lumière possèdent des longueurs d'onde différentes. L'aberration chromatique se traduit donc par une perte de netteté mais surtout par des contours irisés de différentes couleurs (bleu, rouge ou verts dans la plupart des cas) dans l'image.



L'aberration chromatique se traduit par des bandes de couleur verte et rouge sur le bord des feuilles



La même photo sur laquelle l'aberration chromatique a été corrigée

D. Le piqué.

Utilisé en photographie, il qualifie la qualité de détail d'une image. Plus le piqué sera grand, plus la photo donnera l'impression d'être nette. On observe souvent les effets suivants (attention, ceux-ci et tout particulièrement les valeurs de nombre d'ouverture associées peuvent varier en fonction des caractéristiques optiques de vos objectifs) :

- a. Le piqué n'est pas optimal à pleine ouverture.
- b. Il atteint son maximum aux alentours de $f/5.6$.
- c. Il baisse au centre mais augmente aux bords de l'image à environ $f/8$.
- d. Il ne fait plus que baisser au-delà de $f/11$.

En conclusion, retenons que :

- La profondeur de champ augmente à mesure que l'on ferme le diaphragme.
- Le vignettage est très marqué (la qualité est faible) aux grandes ouvertures. Il est souvent négligeable à partir de $f/4$.
- Les aberrations chromatiques diminuent (la qualité de l'image est grande) lorsque l'on ferme le diaphragme.
- Le piqué est généralement maximal à 2 ou 3 stops de l'ouverture la plus grande. Avant et après il diminue.

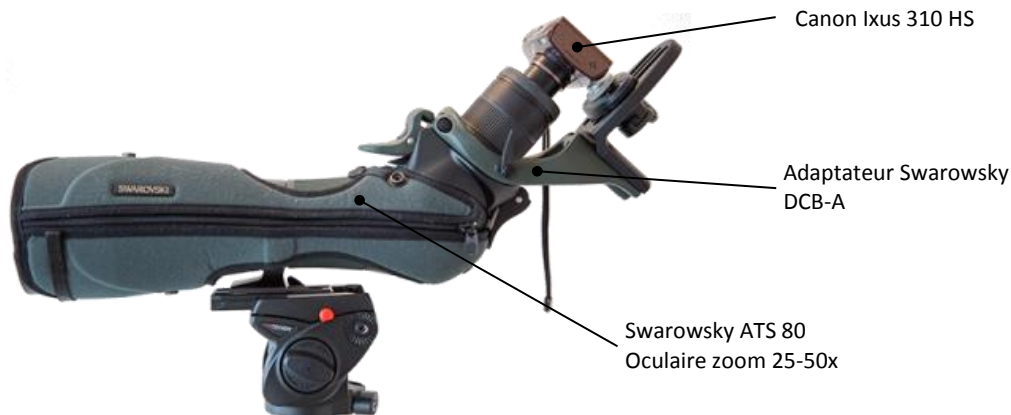
La lunette associée à un appareil photo numérique.

1. Un appareil numérique compact.

Prenons l'exemple d'une longue vue de 80 mm de diamètre équipée d'un oculaire zoom de 25-50x. Calculons le diamètre de sa pupille de sortie pour différents grossissements significatifs pour la suite de la discussion.

- Au grossissement 25x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/25 = 3.2$ mm
- Au grossissement 36x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/36 = 2.2$ mm
- Au grossissement 40x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/40 = 2.0$ mm
- Au grossissement 50x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/50 = 1.6$ mm

Nous allons lui adjoindre un APN compact, à savoir un Canon Ixus 310 HS. Il nous faudra le régler à sa focale équivalente à 50 mm en plein format 24x36. Comment faire ?



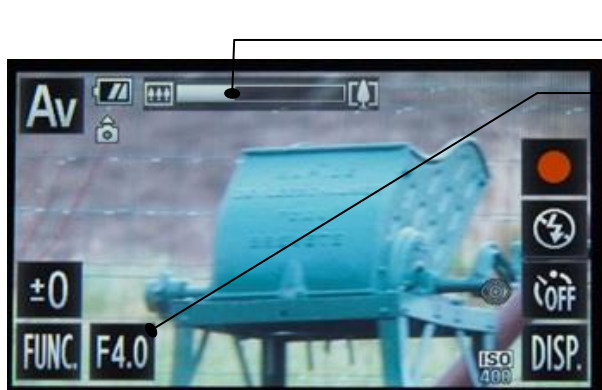
A. Le constructeur mentionne dans les caractéristiques de l'APN les focales équivalent à un plein format : **24 – 105 mm**

B. Le constructeur mentionne la taille du capteur (1/2.3 " de diagonale) et les focales réelles de l'objectif de l'APN (4.3 – 18.8 mm). Il nous faut dès lors calculer le facteur de correction inhérent à la taille du capteur pour déterminer les focales équivalentes au plein format.

Attention, le pouce (") utilisé n'est pas un pouce « normal » de 25.4 mm mais de 16 mm (ne me demandez pas pourquoi, je n'en sais rien). La diagonale de ce capteur vaut donc $16 \times 1/2.3 = 6.95 \text{ mm}$. La diagonale d'un capteur plein format ou 24x36 vaut quant à elle $\sqrt{(24^2 + 36^2)} = 43.26 \text{ mm}$. Le facteur de correction est donc de $43.26/6.95 = 6.22$. Ceci nous permet d'évaluer les focales équivalentes à un plein format à partir des focales réelles : $6.22 \times 4.3 = 26.74 \text{ mm}$ et $6.22 \times 18.8 = 116.93 \text{ mm}$. Le résultat reste plutôt approximatif surtout à la focale la plus élevée.

C. Le constructeur mentionne la taille du capteur (L=6.18 mm et l=4.55 mm) et les focales réelles de l'objectif de l'APN (4.3 – 18.8 mm). La diagonale de ce capteur vaut $\sqrt{(4.55^2 + 6.18^2)} = 7.67 \text{ mm}$. Le facteur de correction est donc de $43.26/7.67 = 5.64$. Ceci nous permet d'évaluer les focales équivalentes à un plein format à partir des focales réelles : $5.64 \times 4.3 = 24.25 \text{ mm}$ et $5.64 \times 18.8 = 106.59 \text{ mm}$. Ce résultat est beaucoup plus proche des focales déclarées par le fabricant.

Une fois ceci fait, procédons comme suit :



1. Réglons l'APN à une focale de 8.8 mm (cadre équivalent à 50 mm en 24x36, $50/5.64$)
2. Lisons l'ouverture du diaphragme maximum autorisée à cette focale (f/4)
3. Calculons le diamètre de la pupille d'entrée (du diaphragme donc) dans ces conditions : $8.8/4 = 2.2 \text{ mm}$

En comparant cette pupille d'entrée de l'APN aux pupilles de sortie de la lunette, nous voyons que, à pleine ouverture, jusqu'au grossissement de 36x, le système est diaphragmé par l'appareil photo à f/4. Au-delà de 36x, c'est la lunette qui diaphragme l'appareil photo. L'ouverture réelle est alors de $8.8/2 = f/4.5$ à 40x par exemple et $8.8/1.6 = F/5.6$ à 50x.



Régler la focale à l'équivalent de 50 mm en plein format présente plusieurs avantages. On conserve le grossissement de la lunette et on évite le vignettage. A une focale moins élevée, le grossissement de la lunette sera diminué d'un facteur valant sa valeur divisée par 50 (36x deviendra à 24 mm de focale $36x(24/50)=17.2$ par exemple). Aussi, le champ de vision de l'objectif est tellement large que l'on constate un vignettage important que l'on ne peut supprimer même en fermant le diaphragme au maximum. À une focale plus élevée, l'ouverture utile diminuera de telle sorte que le temps de pose augmentera de manière significative (flou de mouvement de votre sujet) ou il faudra monter en ISO (augmentation du bruit encore acceptable jusqu'à 400 ISO et difficile à traiter au-delà)



Jusqu'au grossissement de 36x, le système est diaphragmé par l'appareil photo à f/4. Nous voyons à gauche une photo prise avec priorité à l'ouverture (Av) à f/4 au grossissement de 25x. On obtient alors un temps de pose de 1/125 de seconde. A droite la même photo



cette fois au grossissement de 36x, résulte en un temps de pose de 1/160 de seconde peu différent de 1/125 de l'autre image. Ceci tend à prouver que le diaphragme du système ne varie pas de l'une à l'autre.



Enfin voici toujours la même photo mais cette fois au grossissement de 50x. La lunette diaphragme cette fois l'APN à f/5.6 augmentant le temps de pose jusqu'au 1/40 de seconde. On ne pourra éliminer le flou de bougé qu'en montant en ISO avec une nouvelle fois une augmentation de bruit difficile voire impossible à gérer. N'oublions enfin pas qu'il est conseillé de viser un temps de pose au moins égal à l'inverse de la focale afin d'éviter, précisément, tout flou de bouger (à 25x, le temps de pose devrait être de

1/1250 de seconde et à 36x de 1/1800 !!!). Cela restera très difficile à obtenir, ayons donc pour but un temps de pose le plus court possible.

2. Un appareil numérique reflex.

Prenons l'exemple d'une longue vue de 80 mm de diamètre équipée d'un oculaire zoom de 25-50x. Calculons le diamètre de sa pupille de sortie pour différents grossissements significatifs pour la suite de la discussion.

- Au grossissement 25x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/25 = 3.2$ mm
- Au grossissement 36x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/36 = 2.2$ mm
- Au grossissement 40x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/40 = 2.0$ mm
- Au grossissement 50x, le diamètre de la pupille de sortie vaut $80/50 = 1.6$ mm

Nous allons lui adjoindre un reflex Canon EOS 600D. Il est conseillé de l'équiper d'un objectif à focale fixe de 50 mm (à nouveau son grossissement étant de 1x, il n'affectera pas le grossissement de la lunette) aussi lumineux que possible. Attention ne vous lancez pas dans de grosses dépenses pour acquérir un 50 mm f/1.2 par exemple. Nous utiliserons ici le Canon EF 50 mm f/1 :1.4 (un f/1.8 fera encore parfaitement l'affaire). Il sera réglé en focus manuel sur l'infini.

Les diamètres de l'ouverture du diaphragme de cet objectif sont :

- à f/1.4 → 35.7 mm
- à f/2.8 → 17.8 mm
- à f/5.6 → 8.9 mm
- à f/8 → 6.2 mm
- à f/11 → 4.5 mm
- à f/16 → 3.1 mm
- à f/22 → 2.2 mm



Nous voyons donc que, jusqu'à ce que l'APN soit diaphragmé à f/16, la pupille d'entrée de cet objectif reste plus grande que la pupille de sortie de la lunette. Nous pouvons supposer que ce système sera toujours diaphragmé par la lunette à diaphragme constant de l'APN jusqu'à f/16.

f/ APN	Grossissement lunette	Temps de pose	f/ ensemble	f/ APN	Grossissement lunette	Temps de pose	f/ ensemble
1.4	25x	1/80	16 → 19	2	25x	1/40	26
	36x	1/60	22		36x	1/30	32
	50x	1/40	32		50x	1/15	45
2.8	25x	1/20	36	4	25x	1/10	51
	36x	1/15	45		36x	1/8	63
	50x	1/8	63		50x	1/4	90
5.6	25x	1/5	73	8	25x	1/25	103
	36x	1/4	90		36x	1/2	125
	50x	1/2	125		50x	1	178

1. Entre les temps de pose à 36x et 50x à toutes les ouvertures de l'appareil photo, on constate une différence de 1IL comme prévu. Par contre entre 25x et 36x, il n'y a que 0.5IL de différence. Ceci tend à indiquer que f/16 est un peu trop optimiste. Il se rapproche plus de f/19 au grossissement de 25x.
2. A chaque fermeture d'un cran de l'APN correspond évidemment une diminution de 1IL de l'ensemble lunette/appareil photo. Ceci conduit à des diaphragmes de la combinaison qui vont très vite compliquer l'exposition. Cet inconvénient peut être compensé par un allongement du temps de pose ou une augmentation de la sensibilité du capteur (montée en ISO). La première solution a une fâcheuse influence sur le flou de bougé particulièrement marqué aux grandes focales dont il est question. La seconde augmentera notablement le bruit dû aux hauts ISO.
3. En terme de profondeur de champ, il est à supposer que le facteur limitatif sera le nombre d'ouverture de l'appareil photo. En effet les diaphragmes relativement fermés de la lunette donnent une profondeur de champs de départ déjà importante.

En conclusion, il est préférable de travailler à diaphragme plein ouvert afin de ne pas obtenir des temps de pose trop longs en conservant un maximum de 800 ISO. Le bruit en résultant est encore très bien géré par les reflex numériques d'entrée de gamme. Si le besoin s'en fait sentir pour agrandir la profondeur de champ, il est conseillé de ne pas fermer le diaphragme de plus de deux crans.

3. Cas spécial du TLS APO de Swarovsky.



L'objectif TLS APO 30 mm a été conçu par Swarovsky pour former un système complet avec les nouvelles longues-vues d'observation ATX/STX. Il peut aussi être utilisé avec les lunettes plus anciennes que sont les ATS/STS moyennant un adaptateur fourni d'origine. Il ne possède pas de diaphragme réglable. Sa construction est telle que sa très petite lentille frontale se place presque exactement au dégagement oculaire de la lunette. Enfin, sa pupille d'entrée (ou diaphragme fixe) présente un diamètre d'environ 3.5 mm. Celle-ci reste dans tous les cas de grossissement de la longue vue supérieure à la pupille de sortie de cette dernière. Dès lors, nous pouvons dire que l'APN sera toujours diaphragmé par la lunette à des valeurs allant de f/16 (ou f/19) à f/32 en fonction du grossissement utilisé.

