

Combien faut-il de pixels ?

Mise à jour : 07/03/2012

Ce texte pédagogique décrit des critères techniques de choix d'un appareil photo numérique et de ses objectifs, en étudiant les limites dues aux *lois de l'optique*, au nombre de pixels, à la *diffraction*, aux *aberrations*, aux *écrans et imprimantes*, à l'*œil humain*, aux *ordinateurs* et à l'*électronique*.

Assez complet, ce texte facile à lire demande moins d'une heure de lecture.

Table des matières

1. Critères techniques de qualité d'une photo	2
1.1 La résolution	2
1.2 Les aberrations	2
1.3 La stabilité	3
2. Capteur : résolution due au nombre de pixels.....	3
3. La diffraction, limite du pouvoir séparateur	3
3.1 Un phénomène optique très général.....	3
3.2 Calcul du pouvoir séparateur d'un objectif	5
3.3 Conséquence très importante	5
3.4 Diffraction et nombre de pixels	6
3.5 Conséquences de cette limite d'ouverture	7
3.6 Influence du filtre de Bayer	8
3.7 Comparaison d'appareils basée sur la taille des photosites	8
3.8 Bruit dû à l'amplification électronique	9
4. Combien de pixels pour une image nette ?.....	9
4.1 Cas de l'affichage sur écran	9
4.2 Cas de l'impression sur papier	10
4.3 Reste-t-il assez de pixels malgré le groupage dû à la diffraction ?.....	10
4.4 Conclusion sur le choix de l'ouverture	11
4.5 Vérification par tests de diffraction.....	11
5. Relation entre diamètre de l'objectif et aberrations	14

1. Critères techniques de qualité d'une photo

Nous ne traiterons ci-dessous que des critères de résolution et d'aberration, en excluant des critères comme la stabilité, la couleur et la luminosité.

1.1 La résolution

La *résolution* d'une image est d'autant meilleure qu'on y voit des détails plus fins. La finesse des détails est définie par l'angle de vision minimum séparant deux points de l'objet photographié, angle appelé *pouvoir séparateur*, représenté par la lettre epsilon (ε) et mesuré en radians (rd) ou en degrés ($^\circ$), minutes (') et secondes (").

Exemple : un pouvoir séparateur $\varepsilon = 0.5 \cdot 10^{-3}$ rd (= 1' 43") permet de distinguer deux points d'une image à 10 m distants d'au moins $0.5 \cdot 10^{-3} \times 10000 = 5$ mm. Deux points distants de 3 mm, par exemple, paraîtront confondus en une même tache. Les détails des plumes d'un oiseau à 10m plus petits que 5mm seront invisibles.

1.2 Les aberrations

Les *aberrations* sont des déformations de l'image. Les principales sont :

- Aberration sphérique
 - Origine : éloignements angulaires (de l'axe de l'objectif) de rayons lumineux distincts issus d'un même point de cet axe ; les rayons éloignés de l'axe convergent plus près de la lentille que les rayons proches.
 - Conséquence : le foyer (image d'un point de l'axe situé à l'infini) est étalé le long de l'axe au lieu d'être ponctuel, l'image d'un point de l'axe est une tache.
- Coma
 - Origine : les rayons obliques par rapport à l'axe sont limités par le diaphragme de l'objectif.
 - Conséquence : l'image d'un point est une tache ovale.
- Astigmatisme
 - Origine : le pouvoir de réfraction d'une surface sphérique de lentille n'est pas le même dans deux directions perpendiculaires.
 - Conséquence : l'image d'un point hors de l'axe est une tache floue.
- Aberration chromatique
 - Origine : l'indice de réfraction d'un verre dépendant de la longueur d'onde, chaque couleur converge en un point focal distinct.
 - Conséquence : l'image est floue et présente des bords colorés.
- Courbure de champ
 - Origine : l'image d'un objet plan est une surface courbe au lieu d'un plan perpendiculaire à l'axe.
 - Conséquence : l'image d'un point est d'autant plus floue qu'il est loin de l'axe.

1.3 La stabilité

A moins d'avoir un pied très lourd, un miroir extrêmement léger et un déclencheur électrique pour empêcher l'appareil photo de vibrer, une photo est prise en bougeant. Cet inconvénient est combattu par un temps de pose très bref ($1/1000^{\text{e}}$ de seconde, par exemple), une focale assez courte (24mm, par exemple) et une stabilisation de l'objectif ou du capteur. Nous ne discuterons pas davantage ici les conséquences de ce critère.

2. Capteur : résolution due au nombre de pixels

La distance entre pixels voisins, première condition physique de séparation

Deux points voisins d'un objet photographié sont vus comme distincts si et seulement si leurs images sur le capteur photoélectrique d'un appareil numérique sont sur des pixels (éléments de capteur photoélectrique) distincts. L'écartement des pixels de ce capteur, assimilable à la taille d'un pixel, détermine donc la distance angulaire minimum entre deux points de l'objet photographié. Voici comment on calcule cette distance.

Soient c le champ angulaire de l'objectif (angle entre les points les plus éloignés visibles à gauche et à droite pour un objectif à grand axe horizontal) et N le nombre de pixels du capteur dans sa plus grande dimension. Exemples :

- L'objectif Sigma zoom grand angulaire 12-24 mm f4.5-5.6 utilisé à la focale $f = 12$ mm a un champ $c = 122$ degrés = 2.129 radians ;
- L'appareil Nikon D3 a un capteur de 24x36 contenant 2832x4256 pixels, donc $N = 4256$.

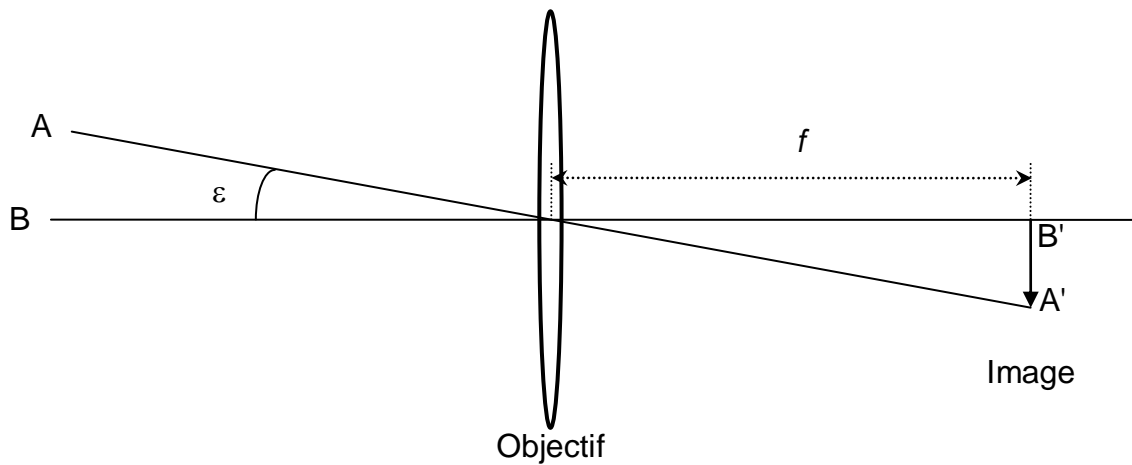
Un appareil ne peut séparer deux points voisins d'un objet photographié que si leurs images sont sur des pixels distincts. Leur distance angulaire minimum ε_m doit donc être au moins égale au champ angulaire par pixel c/N . Dans l'exemple précédent (où on a monté l'objectif Sigma sur le reflex Nikon) :

$$\varepsilon_m = c/N = 2.129/4256 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ radian ; deux points à } 10 \text{ m apparaissent distincts si leur distance est au moins de } 10000 \times 0.0005 = 5 \text{ mm.}$$

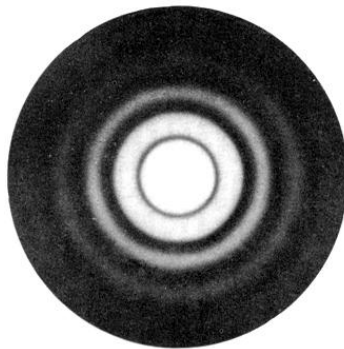
3. La diffraction, limite du pouvoir séparateur

3.1 Un phénomène optique très général

Tout instrument d'optique, que ce soit un télescope astronomique ou un appareil photo, a un *pouvoir séparateur* défini ci-dessus comme le plus petit angle ε qui doit séparer deux points A et B de l'objet vu à travers l'instrument pour que ces points apparaissent distincts en A' et B'. Nous avons vu au paragraphe précédent que l'écartement physique des pixels du capteur impose déjà une première limite $\varepsilon > \varepsilon_m$. Voici une deuxième limite, due au phénomène optique de *diffraction*.



Cette limite existe parce que l'image d'un point lumineux P de l'objet donnée par l'instrument n'est jamais un point, c'est une suite d'anneaux d'interférence centrés en un point de luminosité maximum M, image théorique de P. Contrairement à un point géométrique, l'image M est une tache floue faite d'anneaux alternés lumineux et sombres, appelé « tache d'Airy » :



Tache d'Airy, image d'un point géométrique de l'objet réel

Selon le principe des surfaces d'onde de Huygens, les interférences proviennent de ce que la lumière arrivant en M est émise par chacun des points de la surface du diaphragme de l'instrument (appelée en optique « *pupille d'ouverture* » et résultant du diamètre limité du diaphragme de l'objectif de l'instrument - ici l'appareil photo). Tous ces rayons lumineux interfèrent en M, y produisant des anneaux concentriques d'interférence. La seule manière d'éviter la diffraction qui produit ces interférences est d'avoir une surface de diaphragme infinie, c'est-à-dire une absence d'obstacle à

la propagation de la lumière ; comme ce n'est possible que pour un objectif de diamètre infini, **tout objectif est sujet à de la diffraction.**

3.2 Calcul du pouvoir séparateur d'un objectif

On admet que deux points voisins A et B de l'objet sont vus séparément à travers l'instrument comme des taches d'interférence annelées A' et B' lorsque le maximum d'intensité au centre de la tache A' coïncide avec le premier anneau minimum de B'. Le calcul montre alors que le pouvoir séparateur – l'angle ε - est donné par le *critère de Rayleigh* :

$$\sin \varepsilon \geq 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

Critère de Rayleigh de pouvoir séparateur dû à la diffraction

Dans la formule ci-dessus :

- ε est l'angle minimum en radians entre deux points A et B de l'objet vus séparément. Cet angle est toujours minuscule, donc $\sin \varepsilon$ est très voisin de ε exprimé en radians;
- λ est la longueur d'onde, comprise entre 0.4 et 0.7 μm pour la lumière visible et définissant une composante couleur de cette lumière ;
- d est le diamètre du diaphragme (pupille d'entrée) de l'objectif, dont la focale est f ; avec une ouverture donnée o , $d = f/o$ par définition.

3.3 Conséquence très importante

Le pouvoir séparateur d'un instrument d'optique étant d'autant plus grand que l'angle ε est petit, à longueur d'onde lumineuse (couleur) donnée λ **on ne peut diminuer ε qu'en augmentant le diamètre de l'objectif d .** C'est pourquoi les astronomes construisent des télescopes avec un miroir-objectif immense, 10 mètres de diamètre dans le cas des télescopes Keck de Hawaii.

La diffraction est un phénomène optique qui n'a aucun rapport avec le type d'objectif : que celui-ci soit une lentille ou un miroir de télescope, que l'appareil photo soit numérique ou argentique, la diffraction est toujours fonction du diamètre du diaphragme et de lui seul - à longueur d'onde (couleur) donnée.

Exemple important : un objectif de téléphone mobile ou de tablette, d'un diamètre diaphragmé de 4mm, a un pouvoir de résolution 7 fois inférieur à celui d'un réflex de diamètre 28 mm. On a beau multiplier le nombre de pixels du capteur du téléphone ou de la tablette, on ne changera pas cette limitation optique : du fait de la diffraction, **l'appareil photo reflex voit des détails 7 fois plus fins que ce genre d'appareil. Un objectif de focale 70mm ouvert à 2.8, donc avec $d = 25\text{mm}$, voit des détails $25/4 = 6.25$ fois plus fins que le téléphone ; et ceci est vrai quel que soit l'appareil photo sur lequel ces objectifs sont montés, quelque soit leur nombre de pixels.**

3.4 Diffraction et nombre de pixels

La limitation de résolution due à la diffraction, que nous venons de voir, intervient aussi en exigeant un diamètre d'ouverture minimum fonction de la distance entre pixels voisins du capteur. Voici comment.

Puisque $d = f/o$ et que le petit angle ε équivaut à son sinus, on peut écrire:

$$\varepsilon \geq 1.22 \frac{\lambda o}{f}$$

Compte tenu de l'angle de champ c (radians) d'un objectif de focale f ouvert à f/o , chacun des N pixels de largeur du capteur photoélectrique correspond à une distance angulaire sur l'objet photographié de c/N radians. L'angle minimum ε ci-dessus correspond donc à :

$$\frac{1.22 \lambda o N}{f c} \text{ pixels (arrondi au nombre entier de pixels supérieur si nécessaire).}$$

Pour un écartement de 1 pixel, cet angle correspond donc à une ouverture minimum o telle que :

$$\frac{1.22 \lambda o N}{f c} \leq 1, \text{ ou } o \leq \frac{f c}{1.22 \lambda N}$$

Les variables f , c et N dépendent de l'objectif et du capteur, et λ dépend de la couleur considérée : le pouvoir séparateur est donc limité par l'ouverture o ; si le diaphragme est trop fermé (o trop grand) la diffraction limite la distance entre points séparables.

Dans le cas le plus défavorable, pour la lumière rouge où $\lambda = 0.7\mu\text{m}$, la formule ci-dessus devient, avec une focale f exprimée en microns (0.001 mm) :

$$o \leq \frac{c f}{0.85 N}$$

Exemple : pour un zoom Nikon 80-400 mm $f/4.5-5.6$, avec une focale $f = 400$ mm, un champ $c = 0.108$ radian ($6^\circ 10'$) et une largeur de capteur de $N = 4256$ pixels, l'ouverture f/o doit respecter :

$$o \leq \frac{0.108 \cdot 400000}{0.85 \cdot 4256} = 11.9 \text{ arrondi à } 12.$$

Toute photo prise avec une ouverture plus grande que $f/12$ ne subit aucune diffraction visible en lumière rouge, donc a fortiori aucune diffraction à des longueurs d'onde plus petites correspondant aux autres couleurs du spectre.

3.5 Conséquences de cette limite d'ouverture

- La diffraction due à la pupille d'entrée de l'objectif, délimitée par son diaphragme, impose aussi une limitation. Celle-ci correspond, pour un téléobjectif de $f = 400\text{mm}$ ouvert à $f/8$, à un angle minimum de :

$$\varepsilon \geq 1.22 \frac{0.7}{\frac{400000}{8}} = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ radian.}$$

A 100 mètres de distance, on ne peut séparer des points de l'objet distants de moins de 1.7 mm, distance qui ne tient pas compte d'autres causes de perte de résolution, comme les aberrations ou le « bougé ».

Avec une ouverture o respectant le critère $o \leq cf/0.85N$ ci-dessus, l'effet ε de la diffraction ne dépasse jamais 1 pixel.

Puisque $1.22 \lambda o N / f c \leq 1$, $1.22 \lambda o / f \leq c/N$, donc $\varepsilon \leq \varepsilon_m$: l'effet de la diffraction minimum reste toujours moindre que celui imposé par le simple écartement des pixels. Dans l'exemple précédent, la distance limite de deux points séparables à 100 m imposée par la diffraction est de 1.7 mm contre $0.108/4256 \cdot 100000 = 2.54$ mm pour l'écartement des pixels.

Mais **avec une ouverture o inférieure (diaphragme plus fermé), la diffraction peut produire un regroupement des pixels du capteur par 2, voire plus.**

- La limite minimum d'ouverture o est inversement proportionnelle :
 - A la longueur d'onde λ : la diffraction affecte moins le vert, le jaune et le bleu que le rouge.
 - Au nombre de pixels N : plus un capteur de taille donnée (comme 24x36mm) comporte de pixels dans une de ses dimensions, plus l'écartement entre deux d'entre eux est faible et plus o est petit, ce qui oblige à ouvrir davantage l'objectif.

Donc un appareil photo ou un téléphone qui a un grand nombre de pixels sur un capteur petit doit aussi permettre une ouverture o suffisante, pour ne pas que le nombre important de pixels soit rendu illusoire par la diffraction. En outre, une grande ouverture entraîne une faible profondeur de champ, effet souvent indésirable et qui, en plus, exige une mise au point très précise. Le jour où un téléphone ou une tablette concurrencera un réflex en matière de finesse d'image n'est pas près d'arriver !

3.6 Influence du filtre de Bayer

Il faut aussi tenir compte du *filtre de Bayer* situé devant le capteur. Ce filtre spécialise les divers photosites physiques de chaque pixel pour que chacun ne soit sensible qu'à une seule couleur : le rouge, le vert ou le bleu ; en général, il définit 2 photosites verts pour 1 photosite bleu et 1 photosite rouge, car l'œil humain est plus sensible au vert qu'au rouge ou au bleu.

Le filtre de Bayer permet à la diffraction de n'intervenir de manière sensible que lorsque le disque d'Airy image de chaque point de l'objet photographié est *plus grand* que l'écartement entre pixels théorique. *Cela retarde un peu l'apparition de la diffraction lorsque l'ouverture est voisine de la limite* : l'ouverture minimum f/12 de l'exemple précédent (zoom Nikon 80-400 à $f = 400$ mm) devient environ f/16.

3.7 Comparaison d'appareils basée sur la taille des photosites

- Dans un appareil photo d'entrée de gamme, dont l'écart entre pixels est minime car son capteur est minuscule, il est rare que le petit objectif puisse ouvrir assez pour éviter la diffraction : les pixels sont souvent utilisés au moins par groupes de deux. *Le nombre de Mpixels annoncé par le fournisseur est alors illusoire, il ne constitue qu'un argument marketing pour acheteurs non avertis.*
- Dans un appareil professionnel comme le Nikon D3, dont les pixels mesurent 8.4 μ m chacun, la diffraction ne se manifeste que pour des ouvertures très faibles : nous avons vu un exemple dans le cas du zoom 80-400 mm précédent. Les 12.1 Mpixels annoncés par le fournisseur sont le plus souvent utilisables.

Le tableau ci-dessous donne les tailles (écartements) des pixels de 5 appareils, rangés par risque croissant de diffraction. Pour chaque appareil, on trouve l'ouverture f/o minimum approximative pour éviter le flou par diffraction. Exemple : pour un Nikon D3, toute ouverture $f/o < f/16$ (comme $f/32$) confond des pixels rouges par diffraction.

Marque et type	Taille capteur en mm - rapport au 24x36	Nombre de Mpixels	Dimensions image (pixels)	Distance entre photosites (μm)	Ouverture f/o minimum pour éviter le flou par diffraction
Nikon D3	23.9 x 36 - 1/1	12.1	2832 x 4256	8.4	16
Sony Alpha 700	15.6 x 23.5 - 1/1.5	12.2	2848 x 4272	6.0	12
Pentax K-7	15.6 x 23.4 - 1/1.5	14.6	3120 x 4688	5.0	10
Olympus E-P1	13 x 17.3 - 1/1.8	12.3	3024 x 4032	4.3	8
Fuji Finepix Z20fd	8.9 x 13.3 - 1/2.7	10.0	2736 x 3648	3.3	6

Comparaison de 5 appareils numériques du point de vue de la diffraction

3.8 Bruit dû à l'amplification électronique

Un photosite plus petit capte moins de lumière qu'un gros, empêchant des photos correctes en faible lumière : l'amplification électronique du signal du photosite produit du *bruit*, visible dans l'image sous forme de défauts comme la « poussière ».

Il faut donc éviter d'avoir des photosites trop petits, c'est-à-dire de petits capteurs avec beaucoup de pixels. Il faut aussi éviter d'augmenter l'amplification du signal en poussant la sensibilité ISO. Pour plus de détails pratiques, voir le court texte [Nikon D3S : tests de sensibilité et bruit](#) .

4. Combien de pixels pour une image nette ?

4.1 Cas de l'affichage sur écran

J'ai un écran professionnel Hewlett-Packard LP3065 de 30 pouces de diagonale pour travailler avec Photoshop ; ses pixels sont écartés de 0.01 pouce = 0.25 mm, et ses dimensions sont 1600 x 2560 pixels (4.1 millions de pixels en tout). Si les dimensions d'une photo (en pixels) sont supérieures à celles de mon écran, ce dernier ne pourra en afficher tous les détails, et diverses couches logicielles entre la photo en mémoire et l'écran supprimeront les détails non affichables. On voit sur le tableau ci-dessus que *tous* les appareils photo numériques peuvent, en théorie, produire des images plus fines, avec plus de détails, que ce que mon écran haut de gamme peut afficher !

Inutile donc de multiplier le nombre de pixels si on n'affichera les photos que sur écran !

4.2 Cas de l'impression sur papier

Il existe des imprimantes capables de reproduire des photos jusqu'à la taille A3 (297 x 420 mm) avec une résolution de 2400 points par pouce (près de 100 points par mm). Une telle imprimante a une résolution supérieure à celle de n'importe quel appareil photo : elle peut toujours imprimer des détails plus fins que ce qu'un appareil a capturé. Diverses couches logicielles dans l'ordinateur et l'imprimante devront alors produire les pixels manquants, par interpolation entre des pixels voisins de l'image en mémoire. Hélas, cette création de pixels artificiels n'améliore en rien la résolution, car **un œil humain ne voit aucun détail plus petit que 1/9^{ème} de mm environ.**

Donc, sous réserve d'une reproduction fidèle des couleurs, une imprimante offrant 230 points par pouce (230 ppp, 9 points/mm) donnera une image A3 aussi parfaite qu'une imprimante à 2400 points par pouce. Elle pourra imprimer à 230 ppp une photo nécessitant moins de place en mémoire et sur disque, et moins de temps de calcul et de transmission depuis l'ordinateur.

Pour une image à 230 ppp de 10 x 15 pouces (papier A3), il faut une photo de 8 Mpix... si la diffraction, diverses aberrations, la précision de mise au point et le défaut de stabilité n'ont pas diminué la résolution initiale. C'est pourquoi Nikon, par exemple, a prévu « seulement » 12.1 Mpix pour ses modèles D3 et D3S, appareils professionnels.

Pour une photo sur papier A2 (420x594mm), par exemple de 15" x 22.5", il ne faut pas beaucoup plus de pixels que pour une photo A3, car l'œil doit la regarder de plus loin et il voit alors moins de détails fins. En admettant qu'il voit un peu moins de 8 points par mm (200 ppp), une photo de 15 x 22.5 pouces a besoin de $15 \times 22.5 \times 40\,000 = 13.5$ Mpix. Il faut une photo de taille A1+ (environ 60x90 cm) pour qu'un appareil de 20Mpix ou plus s'impose ; *ces appareils sont destinés à des photos nécessitant un fort agrandissement.* C'est le cas, par exemple, de photos d'animaux ou d'oiseaux distants, qu'il faut agrandir pour bien les voir, sur imprimante comme sur écran.

Avec un appareil reflex de milieu de gamme et une ouverture de l'ordre de 11, il ne faut pas espérer faire des photos parfaitement agrandissables jusqu'à A3. En fait, avec des appareils d'entrée de gamme ou des téléphones portables on n'obtient même pas un bon résultat au format A4, du fait de la diffraction et de diverses aberrations.

4.3 Reste-t-il assez de pixels malgré le groupage dû à la diffraction ?

Que la diffraction divise par deux ou plus le nombre de pixels revendiqué par le fournisseur n'est pas nécessairement grave. Pour s'afficher correctement sur mon écran de 30 pouces, une photo de 1500 x 2250 n'a besoin que de 3.4 Mpix s'ils proviennent d'une photo non floutée par la diffraction et les aberrations. Nous avons vu ci-dessus qu'une impression A3 de 10 x 15 pouces à 230 ppp a besoin de 8 Mpix.

Donc si l'appareil a suffisamment de pixels demeurant distincts en cas de groupage par diffraction et d'aberration, il produira des photos aussi nettes que possible. Un appareil comme le Canon EOS 5D Mark II, qui offre 21.1 Mpix avec un capteur de

même taille 24x36 mm que celui du Nikon D3, regroupera plus souvent ses photosites par deux du fait de la diffraction ; mais il en restera alors 10.5 Mpix utilisables, assez pour une photo A3 correcte.

4.4 Conclusion sur le choix de l'ouverture

Même un appareil photo professionnel peut donner une netteté limitée par la diffraction s'il est utilisé avec un diaphragme trop fermé. Si la photo à faire a besoin de tous ses pixels, il faut y songer et jouer éventuellement sur la vitesse et/ou la sensibilité ISO pour obtenir la quantité de lumière nécessaire.

Puisque les aberrations augmentent avec l'ouverture, on trouve souvent un bon compromis de netteté avec une ouverture inférieure au maximum de l'objectif, par exemple 8 dans le cas d'un téléobjectif ouvrant à 5.6 maximum. Mais attention : il s'agit là de netteté *au centre de la plage de mise au point et près de l'axe*, à une distance précise de l'appareil ; une ouverture importante peut réduire cette plage, produisant un flou esthétique plus près et plus loin.

4.5 Vérification par tests de diffraction

Les trois photos ci-dessous du même morceau de dentelle fine de 5 x 3 cm environ ont été réalisées avec un Sony Alpha 700, objectif zoom 18-70 mm réglé à 22 mm de focale, sensibilité ISO 800 et priorité à l'ouverture, à :

- f/4 au 1/125^e de seconde ;
- f/11 au 1/10^e de seconde ;
- f/16 au 1/5^e de seconde.

La netteté identique des photos à f/4 et f/11 du premier groupe montre qu'aucune ne souffre de diffraction.

Dans le deuxième groupe, la netteté inférieure de la photo à f/16 par rapport à celle à f/11 (recopiée du groupe précédent) montre qu'on a franchi un palier de groupement de photosites par diffraction : les photosites sont groupés par 2, le nombre de pixels utilisables n'est plus 12.2 millions mais 6.1 millions.



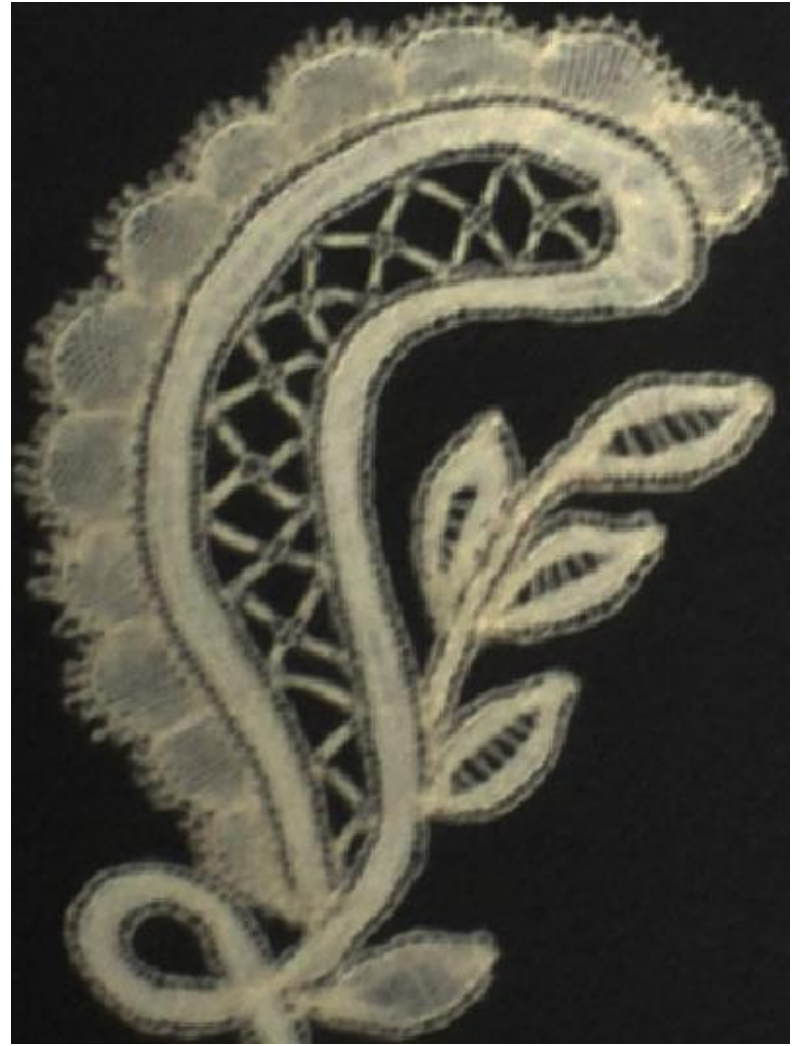
f/4



f/11



f/11



f/16

5. Relation entre diamètre de l'objectif et aberrations

Ces aberrations proviennent toutes de rayons éloignés de l'axe de l'objectif, qu'ils soient parallèles à cet axe ou obliques. Plus un objectif est de grand diamètre utile (diaphragme en place), moins un éloignement donné de l'axe est nocif : c'est pourquoi on voit si souvent les professionnels utiliser d'énormes et lourds objectifs et téléobjectifs.

Nous avons vu qu'un diamètre d'objectif plus important favorise aussi la netteté des images dans la plage de mise au point, parce qu'il permet un plus grand pouvoir séparateur. Il y a, bien sûr, des cas particuliers où on veut produire un premier plan et/ou un fond flou(s), soit en faisant une photo de personne ou d'objet proche avec un objectif de focale longue, et/ou en ouvrant beaucoup le diaphragme pour limiter la plage de mise au point. Un sujet à l'infini peut se satisfaire d'une grande ouverture de diaphragme d'autant mieux qu'elle permet une vitesse plus rapide qui diminue l'effet de bougé. En pratique, on conseille une vitesse (en $1/100^{\text{e}}$ de seconde) au moins inverse de la focale (en mm) : $1/400^{\text{e}}$ pour $f = 400$, par exemple.

Exemple : comparaison des contrastes de deux téléobjectifs

Le tableau ci-dessous compare les contrastes produits sur un capteur 24x36 par deux téléobjectifs Nikon le long d'une demi-diagonale allant du centre à un coin du capteur. Il s'agit des contrastes entre des lignes parallèles distantes de $1/10^{\text{e}}$ de mm dans le cas représenté en rouge et $1/30^{\text{e}}$ de mm dans le « cas bleu ».

Zoom Nikon AF VR - 80-400mm f/4.5-5.6D ED	Téléobjectif Nikon AF-S VR 400mm f/2.8G ED
17 éléments en 11 groupes	14 éléments en 11 groupes
Diamètre externe de l'objectif : 91 mm	Diamètre externe de l'objectif : 159 mm
Pupille d'entrée f/o si ouverture maximum : 71 mm	Pupille d'entrée f/o si ouverture maximum : 142 mm
Poids : 1210 g	Poids : 4620 g
Prix TTC fin 2009 : 1304 €	Prix TTC fin 2009 : 8700 €

Comparaison des courbes de contraste FTM (fonction de transfert de modulation) de 2 téléobjectifs à focale 400 mm ouverts au maximum :
en abscisses : distance au centre du capteur en mm le long d'une demi-diagonale ;
en ordonnées : rapport de contraste, d'autant meilleur que proche de 1
(rouge : 10 lignes/mm, bleu : 30 lignes/mm ;
traits pleins et pointillés : lignes parallèles à deux directions perpendiculaires)

On voit que :

- Le contraste se dégrade lorsqu'on s'éloigne de l'axe.
- Le contraste reste meilleur pour l'écartement de lignes représenté en rouge ($1/10^{\text{ème}}$ de mm) que pour le bleu ($1/30^{\text{ème}}$ de mm) : un contraste entre détails proches est plus difficile à obtenir qu'entre détails éloignés.
- Le zoom de la colonne gauche a un contraste acceptable seulement pour des lignes parallèles à une certaine direction et distantes de $1/10^{\text{e}}$ de mm. Dans tous les autres cas, l'image des lignes voisines devient vite moins contrastée quand on s'éloigne de l'axe : l'image est alors moins nette.
- Le téléobjectif à focale fixe de droite a un contraste excellent dans tous les cas. Ceux qui le préfèrent au zoom de gauche acceptent de le payer presque 7 fois plus cher et de manipuler un poids presque 4 fois plus lourd...

- Les graphiques ci-dessus ne comparent que le contraste des objectifs. Mais la netteté d'une image dépend aussi du pouvoir séparateur de ceux-ci.

Or, à longueur d'onde (couleur) égale et ouverture maximale, la pupille d'entrée du téléobjectif de droite est environ $142/71 = 2$ fois plus grande, d'où la possibilité de séparer des points 2 fois plus proches, et plus encore compte tenu des différences de contraste et d'aberrations bien plus faibles pour un objectif de diamètre supérieur et muni de lentilles au traitement plus fin ; en outre, une ouverture importante permet des flous inaccessibles à une ouverture plus petite.

[Daniel MARTIN](#)

[Retour page d'accueil](#)