



# *Termes d'optique*

## Qu'est-ce que la lumière en photographie ?

### Qu'est-ce que la « lumière » ?

La lumière est un phénomène physique qui implique la création de la vision par la stimulation des nerfs optiques et qui peut être défini de manière générale comme un type d'onde électromagnétique.

Les types de rayonnement électromagnétique varient selon la longueur d'onde. En commençant par les longueurs d'onde les plus courtes, les rayonnements électromagnétiques peuvent être de type rayon gamma, rayon X, rayon de lumière ultraviolette, rayon de lumière visible, rayon de lumière infrarouge, rayon de lumière infrarouge lointaine, rayonnement à micro-onde, rayonnement à onde ultracourte (VHF), rayonnement à onde courte, rayonnement à onde moyenne (MF) et rayonnement à onde longue. En photographie, les longueurs d'onde les plus utilisées se situent dans la zone de la lumière visible (400 nm à 700 nm). La lumière étant un type de rayonnement électromagnétique, on peut la considérer comme un type d'onde entrant dans la catégorie des « ondes lumineuses ». Une onde lumineuse peut être considérée

Figure 1 Proche de l'œil humain

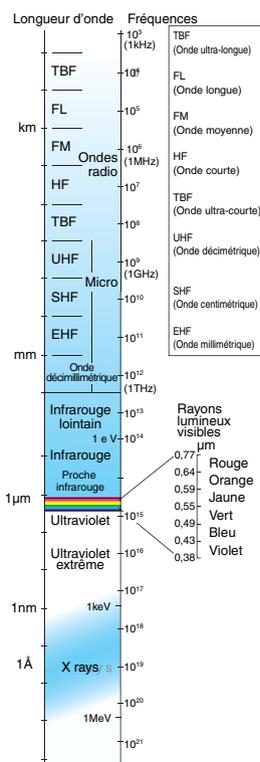
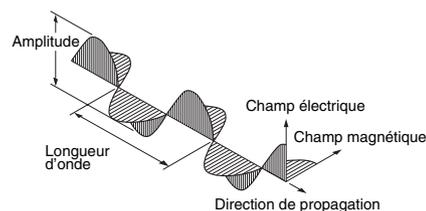


Figure 2 Proche de l'œil humain



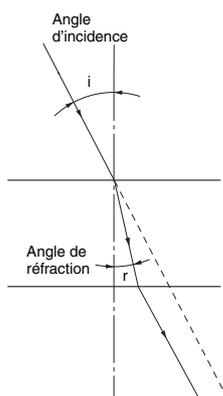
comme une onde électromagnétique dans laquelle un champ électrique et un champ magnétique vibrent à angles droits l'un par rapport à l'autre dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Les deux éléments d'une onde lumineuse que l'œil humain perçoit sont la longueur d'onde et l'amplitude. Les différences de longueur d'onde sont perçues comme des différences de couleur (dans le spectre de lumière visible) et les différences d'amplitude comme des différences de luminosité (intensité de la lumière). Le troisième élément, que l'œil humain ne perçoit pas, est la direction de vibration dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde lumineuse (lumière polarisée).

## Phénomènes élémentaires relatifs à la lumière

### Réfraction

La réfraction est un phénomène par lequel la direction de propagation d'un rayon de lumière change lorsque la lumière passe d'un milieu, tel que le vide ou l'air, à un autre milieu, tel que le verre ou l'eau, ou vice versa.

Figure 3 Réfraction de la lumière



### Indice de réfraction

L'indice de réfraction est une valeur numérique caractérisant le degré de réfraction d'un milieu, calculée selon la formule  $n = \sin i / \sin r$ . « n » est une constante qui ne dépend pas de l'angle d'incidence du rayon lumineux mais indique l'indice de réfraction du milieu réfringent par rapport au milieu d'origine de la lumière.

En termes de verre optique, « n » correspond en général à l'indice de réfraction du verre par rapport à l'air.

### Dispersion

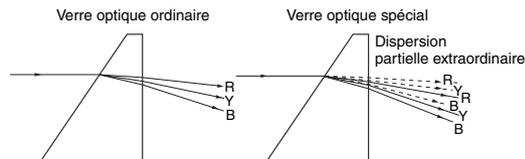
La dispersion est un phénomène par lequel les propriétés optiques d'un milieu varient selon la longueur d'onde de la lumière traversant ce milieu. Lorsque la lumière s'introduit dans un objectif ou un prisme, les caractéristiques de dispersion de l'objectif ou

du prisme font varier l'indice de réfraction selon la longueur d'onde, dispersant ainsi la lumière. Ce phénomène est parfois appelé « dispersion des couleurs ».

### Dispersion partielle anormale

L'œil humain perçoit la lumière monochromatique dont la longueur d'onde est comprise entre 400 nm (violet) et 700 nm (rouge). Dans cette plage, la dispersion partielle est la différence d'indice de réfraction entre deux longueurs d'onde. La plupart des supports optiques classiques présentent des propriétés de dispersion partielle similaires. Celles de certains types de verre sont toutefois différentes. C'est le cas du verre dont la dispersion partielle est d'autant plus importante que la longueur d'onde est courte, le verre FK dont l'indice de réfraction et les propriétés de dispersion sont faibles, la fluorite et le verre dont la dispersion partielle est d'autant plus importante que la longueur d'onde est grande. Ces types de verre ont des propriétés de dispersion partielle anormales. Ils servent à la fabrication de lentilles apochromatiques visant à corriger les aberrations chromatiques.

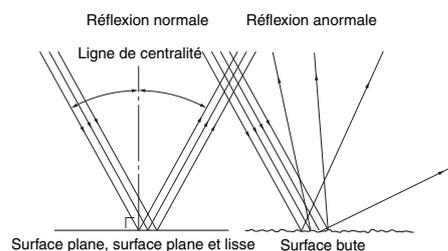
Figure 4 Dispersion de la lumière par un prisme



### Réflexion

Contrairement à la réfraction, la réflexion est un phénomène par lequel un rayon de lumière entrant en contact avec la surface du verre ou d'une autre matière se brise et se propage dans une toute nouvelle direction. Le sens de la propagation reste le même, quelle que soit la longueur d'onde. Lorsque la lumière traverse une lentille sans traitement anti-reflet, environ 5 % de la lumière est réfléchi à la surface de contact entre le verre et l'air. La quantité de lumière réfléchi dépend de l'indice de réfraction du matériau. → Traitement (P.174)

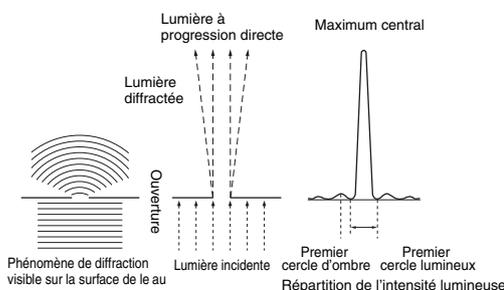
Figure 5 Réflexion de la lumière



## Diffraction

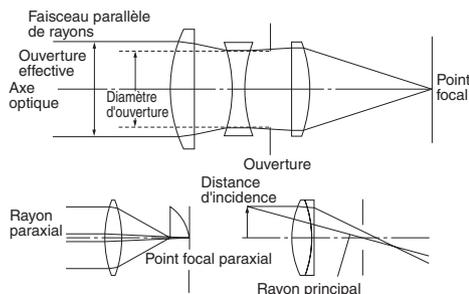
La diffraction est un phénomène par lequel des ondes lumineuses contournent les bords d'un objet et pénètrent dans la zone d'ombre de celui-ci, en raison de la nature ondulatoire de la lumière. Dans un objectif photographique, la diffraction peut entraîner des reflets (lumière diffuse), qui se produisent lorsque des rayons lumineux enveloppent les bords du diaphragme. Bien que la lumière diffuse due à la diffraction ait tendance à apparaître lorsque le diamètre du diaphragme est inférieur à une certaine taille, en réalité ce phénomène ne dépend pas seulement du diamètre du diaphragme mais également de divers facteurs tels que la longueur d'onde de la lumière, la distance focale de l'objectif et le rapport d'ouverture. La lumière diffuse réduit le contraste et la résolution d'image, et produit ainsi une image plus douce. Les éléments optiques feuilletés de diffraction développés par Canon permettent de contrôler la direction de la lumière en créant intentionnellement une diffraction.

Figure 6 Diffraction de la lumière



## Termes d'optique relatifs à la pénétration de lumière dans un objectif

Figure 7 Termes d'optique relatifs à la pénétration de lumière dans un objectif



## Axe optique

L'axe optique est la ligne droite reliant le centre des surfaces sphériques de chaque côté d'une lentille. En d'autres termes, l'axe optique est la ligne centrale hypothétique reliant le centre de la courbe de la surface de chaque lentille. Dans les objectifs photographiques intégrant

plusieurs lentilles, il est primordial que l'axe optique de chaque lentille soit parfaitement aligné sur les axes optiques de toutes les autres lentilles. Les zooms, qui comportent plusieurs groupes de lentilles aux mouvements complexes, requièrent un montage de précision pour conserver un bon alignement de l'axe optique.

## Rayon paraxial

Un rayon paraxial est un rayon lumineux proche de l'axe optique et incliné selon un angle très petit par rapport à l'axe optique. Le point de convergence des rayons paraxiaux est appelé le foyer paraxial. En principe, l'image formée par un rayon paraxial monochromatique ne comporte pas d'aberration. Le rayon paraxial est donc un élément essentiel dans la compréhension du fonctionnement de base des systèmes optiques.

## Rayon principal

Le rayon principal est un rayon lumineux traversant l'objectif, selon un certain angle et à un point autre que le point de l'axe optique, en passant par le centre de l'ouverture du diaphragme. Les rayons lumineux principaux sont les rayons lumineux de base utilisés pour l'exposition d'une image, quelle que soit l'ouverture du diaphragme, de la plus grande à la plus petite.

## Faisceau parallèle de rayons

Un faisceau parallèle de rayons est un groupe de rayons lumineux circulant parallèlement à l'axe optique depuis un point infiniment éloigné. Lorsque ces rayons traversent un objectif, ils convergent en forme de cône pour former une image point dans le plan focal.

## Lancer de rayons

Le lancer de rayons est une technique d'optique géométrique permettant de calculer l'état de divers rayons lumineux traversant un objectif. Les calculs sont effectués à l'aide d'ordinateurs puissants.

## Ouverture/ouverture effective

L'ouverture d'un objectif est liée au diamètre du groupe de rayons lumineux qui le traverse, et détermine la luminosité de l'image formée sur le plan focal. L'ouverture optique (ou ouverture effective) est différente de l'ouverture réelle de l'objectif car elle dépend davantage du diamètre du groupe de rayons lumineux traversant l'objectif que du diamètre réel de l'objectif. Lorsqu'un faisceau parallèle de rayons atteint l'objectif et qu'un groupe de rayons traverse l'ouverture du diaphragme, le diamètre de ce groupe de rayons lumineux, lorsqu'il atteint la surface avant de l'objectif, correspond à l'ouverture effective.

## Stop/diaphragme/ouverture

Ce mécanisme sert à régler le diamètre du groupe de rayons lumineux traversant l'objectif. Dans le cas des objectifs interchangeables destinés à des appareils photo reflex mono-objectif, ce mécanisme consiste généralement en un diaphragme iris formé de plusieurs lamelles mobiles déterminant le diamètre d'ouverture. En ce qui concerne les objectifs traditionnels pour appareils photo reflex mono-objectif, l'ouverture se règle en tournant une bague située sur la monture de l'objectif. Cependant, le réglage de l'ouverture des objectifs modernes se contrôle en général via une molette électronique située sur le boîtier de l'appareil photo.

## Diaphragme à ouverture circulaire

Dans le cas d'un diaphragme à ouverture normale, la fermeture de l'ouverture entraîne la formation d'un polygone. A l'inverse, un diaphragme à ouverture circulaire optimise la forme des lamelles afin de former un cercle presque parfait même lorsque l'ouverture doit être réduite considérablement depuis l'ouverture maximum. Les photos réalisées avec un objectif équipé d'un diaphragme à ouverture circulaire offrent un magnifique effet de flou en arrière-plan, car la source ponctuelle est circulaire.

## Diaphragme automatique

Mécanisme de diaphragme généralement utilisé pour les appareils photo reflex mono-objectif, qui reste entièrement ouvert lors de la mise au point et de la composition afin de fournir une image claire dans le viseur, mais qui se ferme automatiquement jusqu'à l'ouverture nécessaire pour une bonne exposition lorsque vous appuyez sur le déclencheur, puis s'ouvre de nouveau automatiquement lorsque l'exposition est terminée. Tandis que les objectifs traditionnels utilisent des moyens de liaison mécaniques pour contrôler le fonctionnement automatique du diaphragme, les objectifs EF s'appuient sur des signaux électroniques pour offrir un contrôle plus précis. Vous pouvez observer cette réduction instantanée de l'ouverture en regardant l'avant de l'objectif lorsque le déclencheur est actionné.

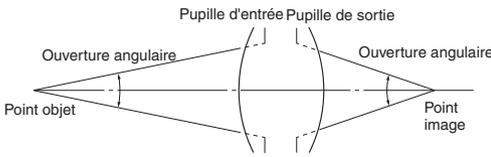
## Distance d'incidence

La distance d'incidence est la distance séparant de l'axe optique un rayon parallèle atteignant l'objectif.

## Pupille d'entrée/de sortie

L'image de l'objectif côté objet du diaphragme, c'est à dire l'ouverture apparente observée depuis l'avant de l'objectif, s'appelle la pupille d'entrée, et est équivalente à l'ouverture effective de l'objectif. L'ouverture apparente

Figure 8 Pupilles et ouverture angulaire



observée depuis l'arrière de l'objectif (l'image de l'objectif côté image du diaphragme), s'appelle la pupille de sortie. A partir d'un point sujet, les rayons lumineux qui forment l'image créent un cône de rayons lumineux dont le point sujet est le sommet et la pupille d'entrée la base. De l'autre côté de l'objectif, les rayons lumineux sortent, formant un cône dont la pupille de sortie est la base et le plan de l'image le sommet. Les pupilles d'entrée et de sortie sont de forme identique au diaphragme et leur taille est directement proportionnelle à celle de celui-ci. Ainsi, même si le montage de l'objectif n'est pas connu, il est possible de représenter graphiquement les rayons lumineux qui forment l'image dans la mesure où la taille et la position des pupilles d'entrée et de sortie sont connues. Il est donc indispensable de connaître les pupilles d'entrée et de sortie pour la prise en compte de facteurs de performance tels que la quantité totale de lumière atteignant l'objectif, la manière dont l'image est rendue floue et les aberrations.

### Ouverture angulaire

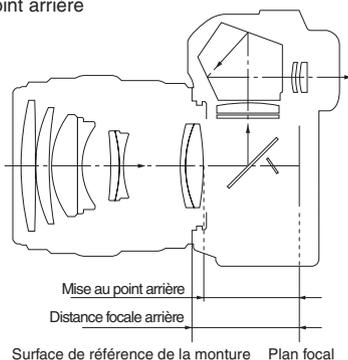
L'ouverture angulaire est l'angle entre le point sujet situé sur l'axe optique et le diamètre de la pupille d'entrée, ou celui entre le point image situé sur l'axe optique et le diamètre de la pupille de sortie.

## Distance focale arrière et mise au point arrière

### Distance focale arrière

La distance focale arrière est la distance entre la surface de référence d'un objectif d'appareil photo et son plan focal (plan du film). Sur tous les appareils équipés du système EOS, la distance focale arrière

Figure 9 Distance focale arrière et mise au point arrière



est fixée à 44,00 mm. La distance focale arrière est parfois appelée focale arrière.

### Mise au point arrière

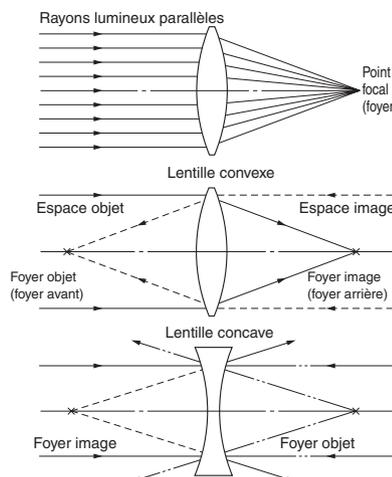
Dans le cas d'un objectif mis au point sur l'infini, la distance le long de l'axe optique entre le sommet de la dernière surface vitrée arrière et le plan focal s'appelle la mise au point arrière. Les objectifs grand angle disposant d'une mise au point arrière courte ne peuvent pas être utilisés sur les appareils photo reflex mono-objectif qui utilisent un miroir se soulevant avant l'exposition, car la lentille empêche le mouvement du miroir. Les objectifs grand angle des appareils photo reflex mono-objectif utilisent en général un système rétro-focus qui permet une mise au point arrière longue. La taille réduite du miroir à retour rapide sur les appareils photo reflex mono-objectif numériques compatibles avec les objectifs EF-S permet de concevoir des objectifs tels que les objectifs dédiés EF-S 60 mm f/2,8 Macro USM, EF-S 10-22 mm f/3,5-4,5 USM, EF-S 17-55 mm f/2,8 IS USM et EF-S 18-55 mm f/3,5-5,6 II USM disposant d'une mise au point arrière plus courte que d'autres objectifs EF.

## Foyer et distance focale

### Foyer, mise au point

Dans un objectif parfait, lorsque les rayons lumineux traversent une lentille convexe parallèlement à l'axe optique, ils convergent tous vers un point unique avant de se déployer à nouveau en forme de cône. Le foyer est le point vers lequel convergent tous les rayons. Par exemple, lorsqu'on se sert d'une loupe pour faire converger les rayons du soleil en un petit cercle sur du papier ou sur un autre support, le foyer est l'endroit où le cercle est le plus petit. En optique, le foyer peut être foyer arrière ou foyer image s'il s'agit du point situé sur le plan du film où convergent les rayons lumineux provenant de l'objet. En revanche, il est appelé foyer avant ou foyer objet s'il s'agit du point

Figure 10 Foyer (lentille individuelle)

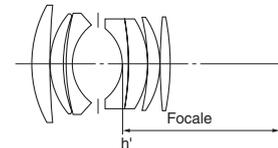


situé du côté de l'objet, où convergent les rayons lumineux provenant du plan du film et traversant l'objectif parallèlement à l'axe optique.

### Distance focale

On appelle distance focale la distance sur l'axe optique entre le deuxième point principal de l'objectif (point principal arrière) et le foyer lorsque des rayons lumineux parallèles traversent l'objectif parallèlement à l'axe optique. Plus simplement, la distance focale d'un objectif est la distance sur l'axe optique entre le deuxième point principal de l'objectif et le plan focal lorsque la mise au point est à l'infini.

Figure 11 Distance focale d'un objectif photographique

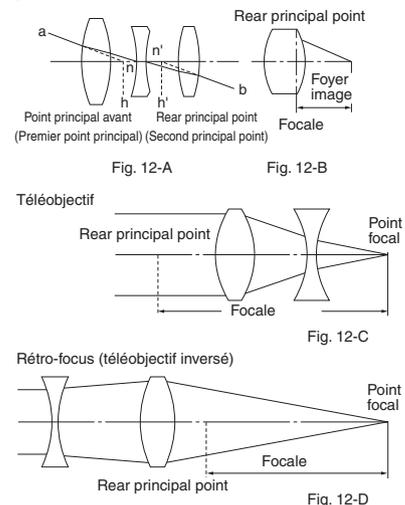


### Point principal

La distance focale d'une lentille simple, biconvexe et fine est la distance le long de l'axe optique séparant le centre de la lentille de son foyer. Le point central de la lentille est appelé point principal. Les objectifs photographiques actuels combinent plusieurs lentilles convexes et concaves. Le centre de l'objectif n'est donc pas vraiment apparent.

Le point principal d'un objectif à plusieurs lentilles est défini comme le point sur l'axe optique situé à une distance égale à la distance focale, mesurée à partir du foyer vers l'objectif. Le point principal mesuré à partir du foyer avant est appelé point principal avant. Le point principal mesuré à partir du foyer arrière est appelé point principal arrière. La distance entre

Figure 12 Point principal



ces deux points principaux s'appelle l'intervalle de point principal.

### Point principal avant/arrière

La lumière atteignant un objectif depuis le point a sur la Figure 12 A se réfracte, passe par n et n' puis atteint b. Lorsque ceci se produit, des angles similaires sont créés entre a-n et n'-b par rapport à l'axe optique et les points h et h' peuvent être définis comme les points où ces angles coupent l'axe optique. Les points h et h' sont les points principaux indiquant la position de référence de l'objectif entre l'objet et l'image. h est le point principal avant (ou premier point principal) et h' le point principal arrière (ou second point principal). Pour les objectifs photographiques standard, la distance focale est la distance entre h' et le foyer (plan focal). Selon le type d'objectif, le rapport avant/arrière des points principaux peut être inversé, ou h' peut se trouver complètement en dehors du groupe objectif. Dans tous les cas, la distance du point principal arrière h' au foyer est égale à la distance focale.

\* Avec un téléobjectif, le point principal arrière h' se trouve en réalité devant la première lentille avant. Dans le cas d'objectifs rétro-focus, h' se trouve derrière la dernière lentille arrière.

### Cercle d'image

Le cercle d'image est la partie de l'image circulaire formée par un objectif, à l'intérieur duquel on obtient une image nette. Les objectifs interchangeables pour les appareils photo 35 mm doivent avoir un cercle d'image au moins aussi large que la diagonale d'une image 24 x 36 mm. Les objectifs EF ont en général un cercle d'image d'environ 43,2 mm de diamètre. Les objectifs TS-E offrent un cercle d'image plus grand (58,6 mm) pour couvrir les mouvements horizontaux et verticaux de l'objectif. Le cercle d'image des objectifs EF-S est plus petit que celui d'autres objectifs EF afin de

correspondre à la diagonale du capteur d'images de taille APS-C des appareils photo reflex mono-objectif numériques compatibles avec les objectifs EF-S.

### Angle de champ

L'angle de champ est le champ d'une scène correspondant à un angle et pouvant être reproduit sous la forme d'une image nette par l'objectif. L'angle de champ diagonal nominal est l'angle formé par les lignes imaginaires reliant le deuxième point principal de l'objectif aux extrémités de la diagonale de l'image (43,2 mm). En général, parmi les données concernant les objectifs EF, on trouve l'angle de champ horizontal (36 mm), l'angle de champ vertical (24 mm) et l'angle de champ diagonal.

## Termes relatifs à la luminosité des objectifs

### Rapport d'ouverture

Le rapport d'ouverture est une valeur servant à exprimer la luminosité de l'image. Il s'obtient en divisant l'ouverture effective de l'objectif (D) par sa distance focale (f). La valeur obtenue étant presque toujours une valeur décimale inférieure à 1, il est difficile de l'utiliser dans la pratique. Dès lors, le rapport d'ouverture de l'objectif s'exprime généralement comme étant le rapport entre l'ouverture effective (fixée à 1) et la distance focale. (For exemple, le rapport d'ouverture de l'objectif EF 85 mm f/1,2L II USM indiqué sur la monture de celui-ci est de 1:1,2, c'est-à-dire que la distance focale correspond à 1,2 fois l'ouverture effective lorsque celle-ci est égale à 1.) La luminosité d'une image formée dans un objectif est proportionnelle au carré du rapport d'ouverture. En général, la luminosité de l'objectif s'exprime par un nombre-F, qui est l'inverse du rapport d'ouverture (f/D). Nombre-f

nombre-F, c'est à dire que plus le nombre-F augmente, plus l'image est sombre. Les valeurs du nombre-F sont exprimées sous forme de série géométrique commençant par 1, avec un rapport commun de  $\sqrt{2}$ , comme suit : 1,0, 1,4, 2, 2,8, 4, 5,6, 8, 16, 22, 32, etc. (Cependant, dans bien des cas, seule la valeur d'ouverture maximum dérive de cette série.) Bien qu'ils puissent sembler difficile à appréhender d'un premier abord, les nombres de cette série expriment simplement des valeurs proches des valeurs FD réelles en fonction du diamètre (D) de chaque réglage de diaphragme successif réduisant de moitié la quantité de lumière traversant l'objectif. Ainsi, si le nombre-F passe de 1,4 à 2, la luminosité de l'image est réduite de moitié. Inversement, s'il passe de 2 à 1,4 la luminosité de l'image est multipliée par deux. (La modification de cette valeur s'appelle en général « 1 valeur ».) Sur les écrans électroniques des appareils photo récents, les fractions inférieures de 1/2 valeur voire 1/3 valeur peuvent être utilisées.

### Ouverture numérique (O.N.)

L'ouverture numérique est une valeur utilisée pour exprimer la luminosité ou la résolution du système optique d'un objectif. Généralement représentée par l'abréviation O.N., l'ouverture numérique est une valeur numérique calculée à partir de la formule  $n \sin \theta$ , où  $2\theta$  correspond à l'angle (ouverture angulaire) d'entrée dans la pupille d'entrée d'un point objet sur l'axe optique et n correspond à l'indice de réfraction du milieu de l'objet. Rarement utilisée avec les objectifs photographiques, la valeur O.N. est fréquemment indiquée sur les lentilles de focalisation des microscopes, où elle caractérise plus la résolution que la luminosité. La valeur O.N. est égale à la moitié de l'inverse du nombre-F. Par exemple : F 1,0 = O.N. 0,5, F 1,4 = O.N. 0,357, F 2 = O.N. 0,25, etc.

Figure 14 Luminosité d'un objectif

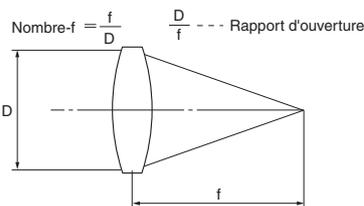
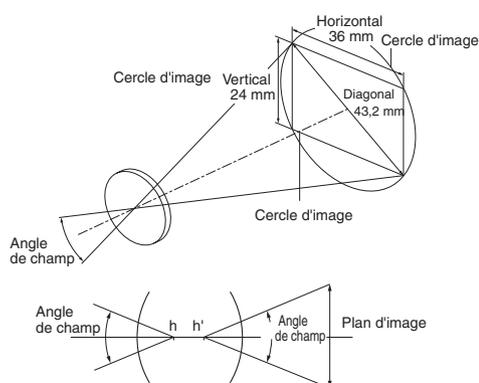


Figure 13 Angle de vue et cercle d'image



## Mise au point et profondeur de champ

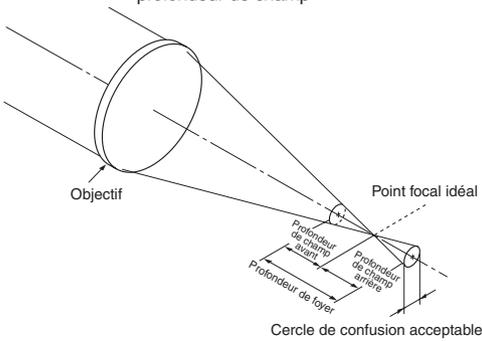
### Mise au point, foyer

Le foyer est le point où convergent les rayons lumineux provenant d'un sujet infiniment éloigné lorsqu'ils ont traversé l'objectif. Le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant ce point s'appelle le plan focal. Dans ce plan, qui est l'endroit où se trouve le film ou le capteur d'images dans l'appareil photo, le sujet est net. On dit qu'il est « mis au point ». Dans le cas d'objectifs photographiques traditionnels composés de plusieurs lentilles, la mise au point peut être réglée de manière à ce que les rayons lumineux provenant des sujets plus proches que « l'infini » convergent en un point du plan focal.

### Nombre-F

Le rapport d'ouverture (D/f) étant presque toujours une valeur décimale inférieure à un et par conséquent difficile à utiliser dans la pratique, la luminosité de l'objectif s'exprime souvent par l'inverse du rapport d'ouverture (f/D), une valeur appelée le nombre-F. Ainsi, la luminosité d'une image est inversement proportionnelle au carré du

Figure 15 Rapport entre le foyer idéal, le cercle de confusion acceptable et la profondeur de champ



### Cercle de confusion

Tous les objectifs présentent un certain taux d'aberration sphérique et d'astigmatisme. Par conséquent, les rayons provenant d'un point sujet ne convergent pas parfaitement pour former un véritable point image (à savoir un point infiniment petit dont la surface est égale à zéro). En d'autres termes, les images sont composées d'une série de points ayant une certaine surface, ou taille. Etant donné que plus ces points sont grands, moins l'image est nette, on les appelle « cercles de confusion ». Ainsi, la qualité d'un objectif peut être déterminée par la taille minimum des points qu'il peut former, en d'autres termes, par son cercle de confusion minimum. La taille maximum de cercle de confusion admise dans une image est le cercle de confusion acceptable.

### Cercle de confusion acceptable

Le cercle de confusion acceptable est le cercle de confusion le plus grand apparaissant toujours comme un point dans l'image. La netteté de l'image perçue par l'œil est étroitement liée à la netteté de l'image réelle ainsi qu'à la « résolution » de la vue. En photographie, la netteté de l'image dépend également du degré d'agrandissement de l'image ou de la distance de projection ainsi que de la distance à partir de laquelle l'image est observée. En d'autres termes, il est en pratique possible de définir certaines « tolérances » pour produire des images qui, quoique présentant un certain degré de flou, semblent toujours nettes pour l'observateur. Pour les appareils photo reflex mono-objectif 35 mm, le cercle de confusion acceptable est d'environ 1/1 000 à 1/1 500 la longueur de la diagonale du film, en supposant que l'image est agrandie au format 12 cm × 16,5 μm (5" × 7") et qu'elle est observée à une distance d'environ 25 à 30 cm (0,8 à 1 pied). Les objectifs EF sont conçus pour produire un cercle de confusion minimum de 0,035 mm. Les calculs tels que la profondeur de champ se basent sur cette valeur.

### Profondeur de champ

La profondeur de champ est la zone située devant et derrière le sujet mis au point dans laquelle l'image photographiée est nette. En d'autres termes, il s'agit de la zone de netteté à l'avant et à l'arrière du sujet lorsque l'image floue sur le plan focal reste dans les limites du cercle de confusion acceptable. La profondeur de champ varie en fonction de la distance focale de l'objectif, de son ouverture et de la distance de prise de vue. Lorsqu'elles sont connues, ces valeurs permettent d'évaluer la profondeur de champ grâce aux formules suivantes :

$$\text{Profondeur de champ avant} = d F a^2 / (f^2 + d F a)$$

$$\text{Profondeur de champ arrière} = d F a^2 / (f^2 - d F a)$$

f : distance focale F : nombre-F d : diamètre minimal du cercle de confusion

a : distance du sujet (distance du premier point principal au sujet)

Premier plan net	=	$\frac{\text{distance hyperfocale} \times \text{distance de prise de vue}}{\text{distance hyperfocale} + \text{distance de prise de vue}}$
Dernier plan net	=	$\frac{\text{distance hyperfocale} \times \text{distance de prise de vue}}{\text{distance hyperfocale} - \text{distance de prise de vue}}$

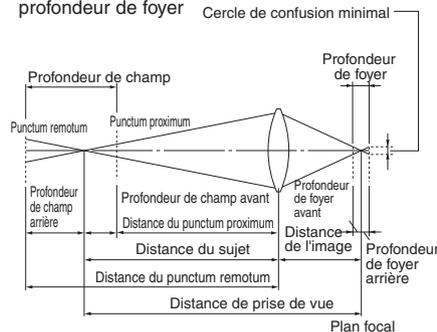
(distance de prise de vue : distance séparant le plan focal du sujet)

Si la distance hyperfocale est connue, on peut également utiliser les formules suivantes :

En photographie générale, la profondeur de champ est caractérisée par les propriétés suivantes :

- ① La profondeur de champ est d'autant plus grande que la distance focale est courte et inversement.
- ② La profondeur de champ est d'autant plus grande que l'ouverture est petite et inversement.
- ③ La profondeur de champ est d'autant plus grande que la distance de prise de vue est grande et inversement.
- ④ La profondeur de champ avant est plus petite que la profondeur de champ arrière.

Figure 16 Profondeur de champ et profondeur de foyer

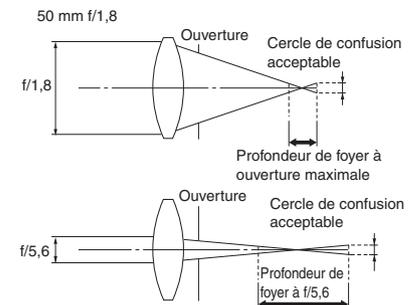


### Profondeur de foyer

La profondeur de foyer est la zone située devant et derrière le plan focal dans lequel l'image photographiée est nette. La profondeur de foyer est identique des deux côtés du plan

de l'image (plan focal) et peut être calculée en multipliant le cercle de confusion minimum par le nombre-F, quelle que soit la distance focale de l'objectif. Sur les appareils photo reflex mono-objectif autofocus modernes, la mise au point s'effectue à l'aide d'un capteur optiquement équivalent (grossissement 1:1) et situé hors du plan focal, qui détecte la mise au point dans le plan d'image (plan focal) et commande automatiquement l'objectif pour qu'il place l'image du sujet dans la zone de profondeur de foyer.

Figure 17 Rapport entre profondeur de foyer et ouverture



### Distance hyperfocale

Selon le principe de la profondeur de champ, lorsque l'objectif effectue une mise au point sur des distances du sujet toujours plus éloignées, on atteint un point où la limite distante de la profondeur de champ arrière est équivalente à l'infini. La distance de prise de vue à ce point, soit la distance de prise de vue la plus proche à laquelle l'infini demeure dans la profondeur de champ, est appelée la distance hyperfocale. La distance hyperfocale se calcule comme suit :

$$\text{Distance hyperfocale} = \frac{f^2}{d \times \text{nombre-F}} \quad \text{f : distance focale F : nombre-F}$$

d : cercle de confusion minimum diamètre

Ainsi, en préréglant l'objectif sur la distance hyperfocale, la profondeur de champ s'étend d'une distance égale à la moitié de la distance hyperfocale à l'infini. Cette méthode est utile pour préréglage une grande profondeur de champ et prendre des photos sans devoir régler la mise au point de l'objectif, en particulier avec un objectif grand angle. (Par exemple, si l'objectif EF 20 mm f/2,8 USM est réglé sur f/16 et la distance de prise de vue sur la distance hyperfocale approximative de 0,7 m (2,3 pieds), tous les sujets situés dans une plage approximative de 0,4 m (1,3 pieds) entre l'appareil photo et l'infini seront mis au point.)

Photo 1 Condition de définition de la distance hyperfocale



## Aberrations des objectifs

### Aberration

L'image formée par un objectif photographique parfait présenterait les caractéristiques suivantes :

- ① Un point aurait l'aspect d'un point.
- ② Un plan perpendiculaire à l'axe optique (un mur par exemple) aurait l'aspect d'un plan.
- ③ L'image formée par l'objectif aurait la même forme que le sujet.

De plus, en matière d'expression de l'image, un objectif devrait rendre fidèlement les couleurs. Si seuls les rayons lumineux entrant dans l'objectif à proximité de l'axe optique sont utilisés et que la lumière est monochromatique (une longueur d'onde spécifique), il est possible d'obtenir des performances presque parfaites de l'objectif. Cependant, avec les objectifs photographiques réels, où une large ouverture est utilisée afin d'obtenir une luminosité suffisante et l'objectif doit permettre à la lumière de converger de toutes les zones de l'image et non seulement des zones proches de l'axe optique, il est très difficile de respecter les conditions idéales mentionnées plus haut en raison des problèmes suivants :

- La plupart des objectifs étant fabriqués uniquement à partir de lentilles dont la surface est sphérique, les rayons lumineux provenant d'un point sujet unique ne forment pas un point parfait sur l'image. (Ce problème est inévitable avec les surfaces sphériques.)
- La position du foyer varie en fonction du type de lumière (c'est-à-dire de différentes longueurs d'onde).
- De nombreuses conditions sont liées au changement d'angles de vue (en particulier avec les objectifs grand angle, les zooms et les téléobjectifs).

Le terme générique « aberration » est utilisé pour décrire les différences entre une image parfaite et l'image réelle affectée par les problèmes susmentionnés. Ainsi, pour concevoir un objectif haute performance, les aberrations doivent être minimales afin d'obtenir une image aussi proche que possible de l'image parfaite. Il existe deux types d'aberration : les aberrations chromatiques et les aberrations monochromatiques. → Aberration chromatique → Cinq aberrations de Seidel

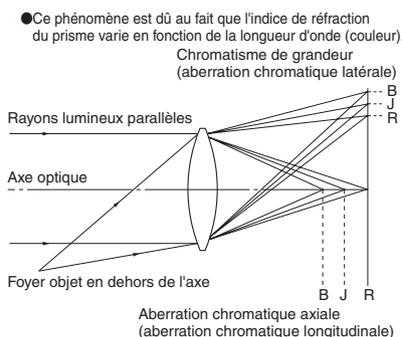
Tableau 1 Aberrations des objectifs

Aberrations observées dans le spectre continu	
■	Aberrations chromatiques
●	Aberration chromatique axiale (aberration chromatique longitudinale)
●	Aberration chromatique transversale (aberration chromatique latérale)
Aberrations observées à des longueurs d'onde spécifiques	
■	Cinq aberrations de Seidel
①	Aberration sphérique
②	Aberration chromatique
③	Astigmatisme
④	Courbure de champ
⑤	Distorsion

### Aberration chromatique

Lorsque de la lumière blanche (lumière contenant de nombreuses couleurs mélangées de manière uniforme de sorte que l'œil ne perçoit aucune couleur en particulier mais une lumière blanche), telle que la lumière du soleil, traverse un prisme, on peut observer un arc-en-ciel. Ce phénomène se produit car l'indice de réfraction du prisme (et son taux de dispersion) varie en fonction de la longueur d'onde (les longueurs d'onde plus courtes sont plus fortement réfractées que les longueurs d'onde plus longues). Bien que ce phénomène apparaisse plus clairement au moyen d'un prisme, il se produit également dans les objectifs photographiques. Etant donné qu'il se produit à des longueurs d'ondes différentes, ce phénomène est appelé aberration chromatique. Il existe deux types d'aberration chromatique : les « aberrations chromatiques axiales », où la position du foyer sur l'axe optique varie en fonction de la longueur d'onde, et le « chromatisme de grandeur », où l'agrandissement de l'image dans les zones périphériques varie en fonction de la longueur d'onde. Sur des photos, les aberrations chromatiques axiales se traduisent par des couleurs floues ou une lumière diffuse, et le chromatisme de grandeur par des franges de couleur (bords colorés). Les aberrations chromatiques d'un objectif peuvent être corrigées en combinant différents types de verre optique aux propriétés de réfraction et de dispersion différentes. Les effets des aberrations chromatiques augmentant avec la distance focale, il est important de les corriger avec précision en particulier dans le cas de super téléobjectifs afin d'obtenir des images nettes. Bien que le degré de correction possible du verre optique soit limité, il est possible d'améliorer de manière significative les performances en utilisant un cristal artificiel tel que la fluorite ou le verre UD. Les aberrations chromatiques axiales sont parfois également appelées « aberrations chromatiques longitudinales » (puisqu'elles se produisent sur un plan longitudinal par rapport à l'axe optique). Le chromatisme de grandeur est parfois appelé « aberration chromatique transversale » (puisqu'il se produit sur un plan transversal par rapport à l'axe optique).

Figure 18 Aberration chromatique



Remarque : bien que les effets des aberrations chromatiques soient plus visibles avec du film couleur, les images en noir et blanc n'échappent pas aux aberrations chromatiques, se traduisant par une diminution de la netteté.

### Objectif achromatique

Un objectif achromatique est un objectif qui corrige les aberrations chromatiques pour deux longueurs d'onde de lumière. Dans le cas d'un objectif photographique, les deux longueurs d'onde corrigées sont dans la gamme bleu-violet et la gamme jaune.

### Objectif apochromatique

Un objectif apochromatique est un objectif qui corrige les aberrations chromatiques pour trois longueurs d'onde de lumière. Les aberrations sont réduites de manière significative, en particulier dans le spectre secondaire. Les super téléobjectifs EF sont des exemples d'objectifs apochromatiques.

### Cinq aberrations de Seidel

En 1856, l'Allemand Seidel a analysé et déterminé l'existence de cinq types d'aberrations d'objectif se produisant avec la lumière monochromatique (longueur d'onde unique). Ces aberrations, décrites ci-dessous, sont appelées les cinq aberrations de Seidel.

#### ① Aberration sphérique

Cette aberration se produit dans une certaine mesure avec tous les objectifs entièrement constitués d'éléments sphériques. L'aberration sphérique fait converger les rayons lumineux parallèles traversant le bord d'une lentille en un foyer plus proche de la lentille que les rayons lumineux traversant le centre de celle-ci. (L'écart du foyer le long de l'axe optique s'appelle l'aberration sphérique longitudinale.) Le degré d'aberration sphérique tend à augmenter avec l'ouverture de l'objectif. Une image point présentant une aberration sphérique est rendue de manière très nette par les rayons lumineux proches de l'axe optique mais subit un effet de lumière diffuse en provenance des rayons lumineux périphériques (cet effet est également appelé halo, et son rayon, aberration sphérique latérale). Par conséquent, l'aberration sphérique affecte l'image

Figure 19 Aberration sphérique

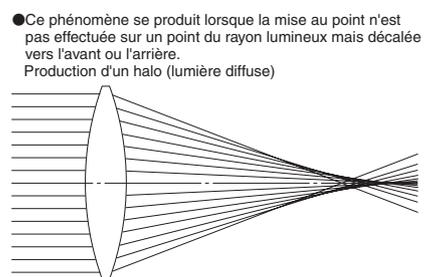
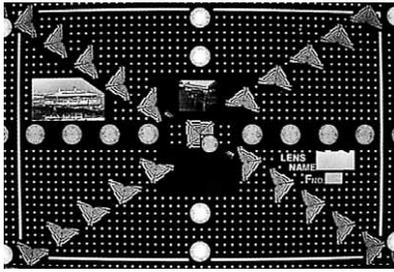
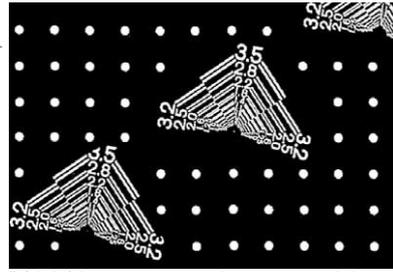


Photo 2 Les photographies sont des grossissements du sujet et de la zone alentour, tirées d'un graphique de test photographié en 24 mm x 36 mm et imprimé au format 10 x 14.

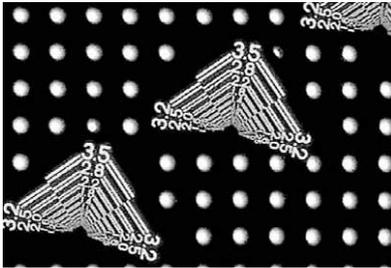


Formation de l'image presque parfaite

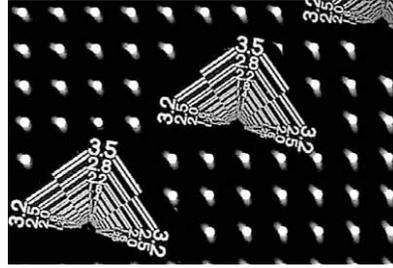


Périphérique  grossissement partiel

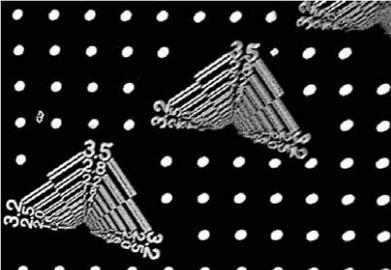
① Exemple d'aberration sphérique



②-1 Exemple de coma vers l'intérieur



③ Exemple d'astigmatisme



②-2 Exemple de coma vers l'extérieur

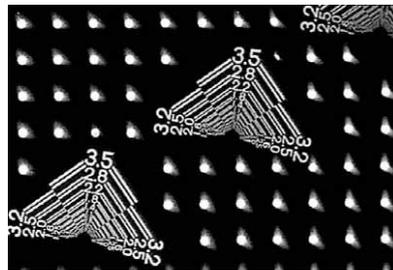


Photo 3 Aberration chromatique axiale

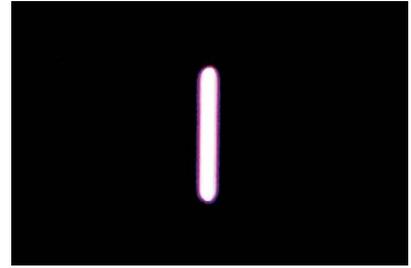
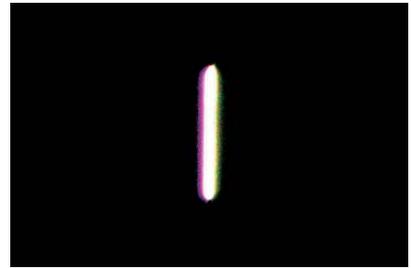


Photo 4 Aberration chromatique transversale

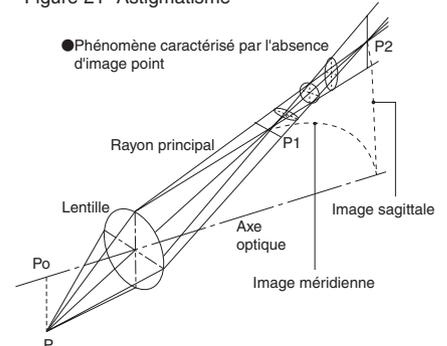


mais traversant la lentille en son centre. La coma augmente avec l'angle du rayon principal et réduit le contraste près des bords de l'image. Il est possible de réduire quelque peu le phénomène en réduisant l'ouverture de l'objectif. La coma peut également rendre certaines parties de l'image floues et causer un effet déplaisant de lumière diffuse. La méthode d'élimination de l'aberration sphérique et de la coma pour un sujet situé à une certaine distance s'appelle l'aplanétisme. Une lentille corrigée ainsi s'appelle un aplanat.

### ③ Astigmatisme

Avec une lentille corrigée pour réduire les aberrations sphériques et les comas, un point sujet situé sur l'axe optique est reproduit fidèlement en tant que point sur l'image. Un point sujet situé en dehors de l'axe optique n'apparaît cependant pas comme un point sur l'image, mais comme une ellipse ou une ligne. Ce type d'aberration s'appelle astigmatisme. Ce phénomène peut être observé près des bords de l'image en déplaçant légèrement la mise au point de l'objectif vers une position où le point

Figure 21 Astigmatisme



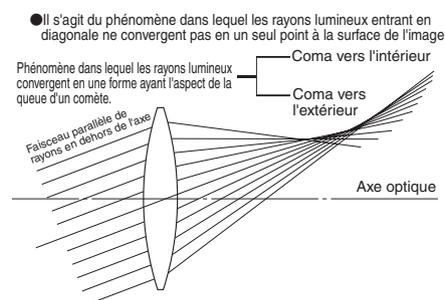
entière du centre aux bords, et produit une image douce, de faible contraste, comme si elle était légèrement voilée. Il est très difficile de corriger l'aberration sphérique des lentilles sphériques. En général, on utilise conjointement deux lentilles, une convexe et une concave, selon des rayons lumineux d'une certaine hauteur d'incidence (distance depuis l'axe optique). Le degré de correction possible des lentilles sphériques étant limité, il demeure toujours une certaine aberration. Celle-ci peut être en grande partie éliminée en diminuant l'ouverture du diaphragme afin de réduire la quantité de lumière périphérique. Dans le cas d'objectifs à grande ouverture ouverts au maximum, la seule manière de compenser efficacement l'aberration sphérique consiste à utiliser une lentille asphérique. Æ Lentille asphérique

### ② Coma

Le phénomène de coma est visible à la périphérie d'une image produite par une lentille ayant fait l'objet d'une correction d'aberration sphérique et entraîne la convergence

des rayons lumineux traversant la lentille sous un certain angle sous forme de comète (d'où son nom) au lieu du point souhaité. Cette forme est orientée de manière radiale, son extrémité pointant vers le centre de l'image ou à l'inverse s'en éloignant. Le flou apparaissant de ce fait près des bords de l'image est le flou comatique. La coma, qui peut se produire également avec des objectifs qui reproduisent correctement un point en tant que point sur l'axe optique, est due à une différence de réfraction entre les rayons lumineux provenant d'un point situé en dehors de l'axe optique et traversant le bord de la lentille, et le rayon de lumière principal émanant du même point

Figure 20 Coma



objet apparaît nettement comme une ligne orientée sur un plan radial depuis le centre de l'image, puis de nouveau vers une autre position.

#### ④ Courbure de champ

Lorsque la mise au point est effectuée sur une surface plane et que l'image obtenue n'est pas plane mais apparaît courbée, comme l'intérieur d'un bol, ce phénomène s'appelle la courbure de champ. Ainsi, lorsque la mise au point est effectuée sur le centre de l'image, les bords de celle-ci sont flous, et inversement, lorsque la mise au point est effectuée sur les bords de l'image, le centre de celle-ci est flou. La méthode utilisée pour corriger l'astigmatisme modifie la courbure de l'image. Elle crée une image intermédiaire entre l'image sagittale et l'image méridienne. Ainsi, plus la correction de l'astigmatisme est importante, plus l'image est réduite. Réduire l'ouverture de l'objectif n'apporte presque aucune correction. Par conséquent, c'est au cours de l'étape de conception que certaines modifications peuvent être apportées, comme la modification de la forme des lentilles individuelles composant l'objectif et de la position de l'ouverture. Cependant, une des conditions requises pour la

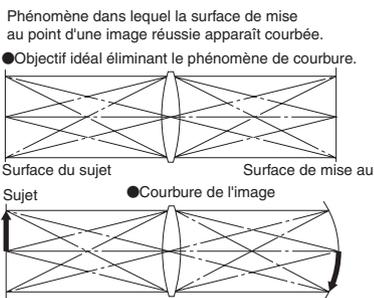
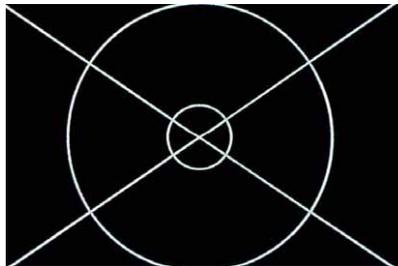
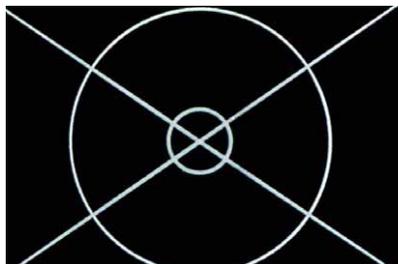


Photo 5 Exemple de courbure de champ



Lorsque la mise au point est effectuée sur le centre, les coins ne sont plus nets.

Photo 6 Exemple de courbure de champ



Lorsque la mise au point est effectuée sur les coins, le centre n'est plus net.

correction simultanée de l'astigmatisme et de la courbure de l'image est la condition de Petzval (1843). Celle-ci requiert que la somme du nombre de lentilles individuelles utilisées dans l'objectif et de l'inverse du produit de l'indice de réfraction de chacune des lentilles individuelles de l'objectif et de la distance focale soit égale à 0. Cette somme s'appelle la somme de Petzval.

#### ⑤ Distorsion

Une des conditions d'un objectif parfait est que « l'image du sujet et l'image formée par l'objectif soient similaires ». On parle de distorsion lorsque cet idéal n'est pas atteint et que les lignes droites sont courbées. La forme étendue dans la direction diagonale de l'angle de champ (+) s'appelle la distorsion en coussinet. A l'inverse, la forme contractée (-) est la distorsion en barillet. Avec les objectifs super grand angle, ces deux distorsions co-existent rarement. Bien que ce phénomène se produise rarement avec des objectifs où la combinaison de lentilles se situe à la limite de l'ouverture, il se produit couramment avec des objectifs asymétriques. Les zooms produisent en général

Figure 23 Distorsion

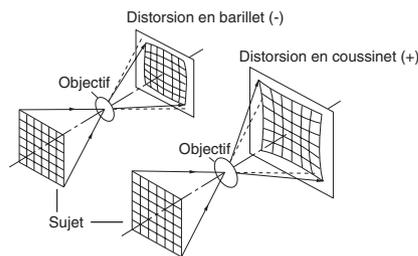
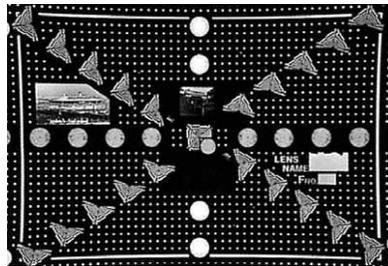
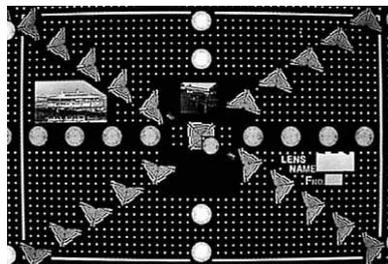


Photo 7 Exemple de distorsion



+Distorsion en coussinet

Photo 8 Exemple de distorsion



-Distorsion en barillet

une distorsion en barillet à des distances focales courtes, et une distorsion en coussinet à des distances focales longues (les caractéristiques de distorsion changent légèrement lors de l'utilisation du zoom). Dans le cas d'un zoom à lentille asphérique, celle-ci permet cependant de réduire la distorsion. La correction est alors appréciable. La différence est due à la différence de réfraction des rayons principaux traversant l'objectif en son centre. La réduction de l'ouverture ne permet donc pas d'y remédier.

#### Méridien

Un plan comprenant un rayon principal essayant de capturer un point situé en dehors de l'axe optique ainsi que ce dernier est un plan méridien. La position reliée au foyer par le rayon lumineux pénétrant dans un objectif de cette forme est le plan d'image méridien. Il s'agit du plan d'image dans lequel l'image de cercles concentriques dans le cadre est de qualité optimale. Si l'on compare la surface sphérique de l'objectif à la surface courbe de la terre et l'axe optique à l'axe de la terre, le plan méridien se confond avec le méridien de la terre, d'où son appellation. La courbe qui exprime les caractéristiques de ce plan d'image à l'aide d'un graphique de caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) etc., est souvent désignée par « M ».

#### Sagittal

Le plan perpendiculaire au plan méridien est le plan sagittal. Il s'agit du plan d'image dans lequel l'image radiale est de qualité optimale. Ce terme est dérivé du mot grec signifiant flèche. Cette appellation s'explique par la forme radiale du foyer. La position reliée au foyer d'un rayon lumineux traversant un plan sagittal et pénétrant l'objectif est le plan d'image sagittal. La courbe qui exprime les caractéristiques de ce plan d'image à l'aide d'un graphique de caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) etc., est souvent désignée par « S ».

#### Lecture de graphiques de distorsion

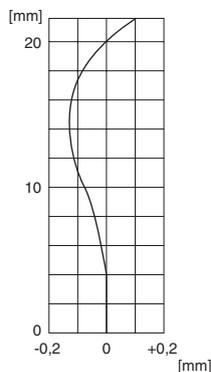
Une méthode simple pour lire les graphiques illustrant des aberrations qui accompagnent les comptes rendus d'essais dans les magazines de photographie.

#### ● Graphique des caractéristiques de distorsion sphérique (graphique 1)

L'axe vertical du graphique représente la hauteur d'entrée au dessus de l'axe entrant dans l'objectif (distance au dessus de la diagonale

depuis le centre du cadre), et l'axe horizontal représente le décalage de point image capturé par la surface du film. L'unité est le mm. Les symboles de l'axe horizontal sont « - » (moins), désignant la direction du côté du sujet, et « + » (plus), désignant la direction du côté du film. Un objectif parfait se caractérise par une ligne droite formée par le point zéro de l'axe horizontal par rapport à la hauteur d'entrée. La différence entre cet idéal et l'objectif réel est représentée sous la forme d'une courbe. La correction de la distorsion sphérique est en principe acceptable si l'image comporte un cœur et que le foyer se déplace peu lorsque l'ouverture est réduite. En d'autres termes, la correction est légèrement insuffisante au centre mais parfaite à la hauteur d'entrée maximum, où elle reprend une valeur proche de zéro.

Figure 24 Graphique des caractéristiques de distorsion sphérique (graphique 1)



### ● Courbe d'astigmatisme (graphique 2)

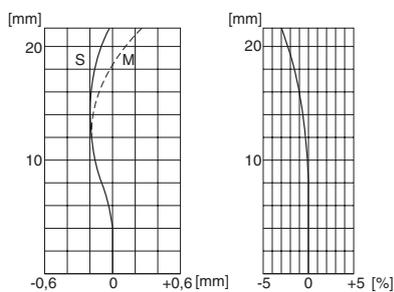
L'axe vertical du graphique représente la hauteur d'incidence axiale (distance à partir du centre de l'image) du rayon entrant dans l'objectif, et l'axe horizontal représente la valeur de décalage du point image formé dans le plan focal. Les unités et symboles sont identiques à ceux de la courbe d'aberration sphérique. La courbe d'un objectif parfait serait une ligne droite au point zéro de l'axe horizontal par rapport à la hauteur d'incidence. La différence entre l'objectif parfait et l'objectif réel est exprimée par les deux lignes courbes dans la direction S (direction sagittale/radiale) et la direction M (direction méridienne/de cercles concentriques). Si la différence entre S et M (différence astigmatique) est importante, un point ne sera pas représenté comme un point et l'image débordera. De plus, l'image floue devant et derrière le plan de formation de l'image ne sera pas naturelle.

### ● Courbe de distorsion (graphique 3)

L'axe vertical représente la hauteur d'incidence axiale (distance à partir du centre de l'image, en mm) du rayon entrant dans l'objectif, et l'axe horizontal représente le pourcentage (%)

de distorsion. La courbe exprime la différence entre l'image parfaite et l'image réelle formée dans le plan focal. Le signe moins indique une distorsion négative, c'est-à-dire en barillet, dans laquelle la longueur de la diagonale de l'image réelle est inférieure à la longueur de la diagonale de l'image parfaite. Le signe plus indique une distorsion positive, c'est-à-dire en coussinet. Un objectif parfait présenterait une distorsion de  $\pm 0\%$  à n'importe quelle hauteur d'image. En général, les courbes de distorsion des zooms mettent en avant une distorsion en barillet à des positions grand angle et une distorsion en coussinet à des positions téléobjectif.

Figure 25 Courbe d'astigmatisme (graphique 2) Courbe de distorsion (graphique 3)



### Minimiser les effets des aberrations

Les objectifs modernes sont conçus à l'aide d'ordinateurs puissants capables d'effectuer des calculs complexes et des simulations précises afin de minimiser tous les types d'aberration et d'obtenir des performances supérieures en matière de formation d'image. Cependant, malgré cette technologie, toutes les aberrations ne peuvent être supprimées. Tous les objectifs disponibles sur le marché produisent donc toujours un certain degré minimum d'aberration, l'aberration résiduelle. Le type d'aberration résiduelle d'un objectif détermine en principe ses caractéristiques optiques telles que netteté et flou. De ce fait,

dès l'étape de conception des objectifs modernes, des techniques de simulation sur ordinateur permettent d'analyser leurs performances afin d'obtenir un effet de flou satisfaisant (caractéristiques d'image en dehors du plan de formation de l'image). Comme nous l'avons vu précédemment au cours de la description des divers types d'aberration, les effets de certaines aberrations peuvent être minimisés en réduisant l'ouverture de l'objectif. Les rapports entre ouverture et aberration sont illustrés dans le tableau 2.

## Evaluation des performances d'un objectif

### Résolution

La résolution d'un objectif désigne sa capacité à reproduire un point sujet. La résolution de la photographie finale dépend de trois facteurs : la résolution de l'objectif, la résolution du film ou du capteur, et la résolution de l'imprimante ou du papier d'impression. L'évaluation de la résolution consiste à photographier, à un degré

Figure 26 Graphiques de mesures de la résolution

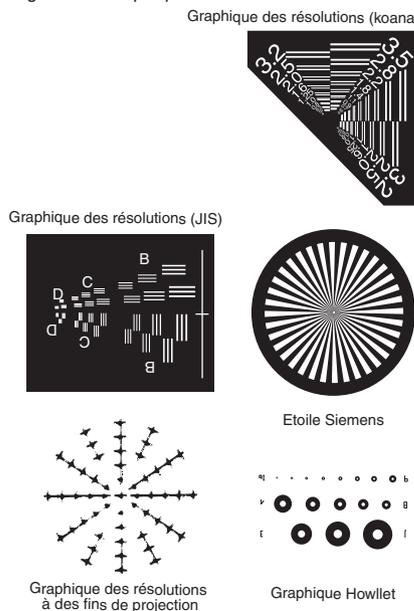


Tableau 2 Rapport entre ouverture et aberration

Raison de la baisse de qualité d'image	Zones concernées à l'écran	Amélioration apportée par une ouverture réduite
Aberration chromatique axiale	Centre et bords	Léger effet
Chromatisme de grandeur	Bords	Pas d'effet
Aberration sphérique	Centre et bords	Effet visible
Aberration de coma	Bords	Effet visible
Astigmatisme	Bords	Léger effet
Courbure de champ	Bords	Léger effet
Distorsion	Bords	Pas d'effet
Images fantômes/lumière diffuse	Centre et bords	Pas d'effet
Baisse de l'éclairage périphérique	Bords	Effet visible

d'agrandissement donné, un diagramme contenant des groupes de lignes noires et blanches de plus en plus rapprochées puis à observer l'image négative à l'aide d'un microscope avec un grossissement de 50x.

La résolution est souvent exprimée en valeur numérique, par exemple 50 lignes ou 100 lignes. Celle-ci indique le nombre de lignes par millimètre du plus petit motif de lignes noires et blanches clairement reproduit sur le film. Pour tester uniquement la résolution de l'objectif, la méthode consiste à placer un diagramme de haute résolution à l'endroit correspondant au plan focal, puis à le projeter sur un écran à travers l'objectif testé. La valeur numérique utilisée pour exprimer la résolution n'est qu'une indication du degré de résolution possible. Elle ne donne pas d'indication sur la netteté ou le contraste de la résolution.

### Contraste

Le contraste est le degré de distinction entre des zones de luminosité différente sur une photographie, c'est-à-dire la différence de luminosité entre les zones claires et les zones sombres. Par exemple, si le rapport de reproduction entre le blanc et le noir est clair, le contraste est élevé.

Figure 27 Diagramme conceptuel du contraste

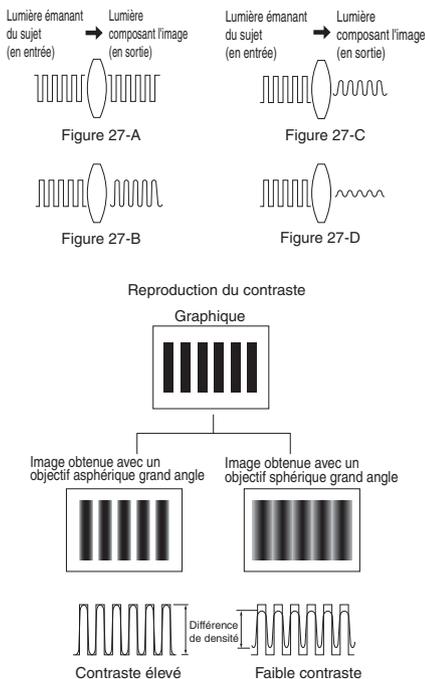
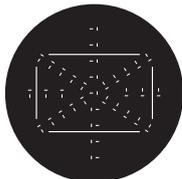


Figure 27-E Graphique permettant de mesurer la MTF (fonction de transfert de modulation)



Si l'n'est pas clair, le contraste est faible. En général, les objectifs produisant des images de qualité élevée offrent une résolution et un contraste élevés.

### MTF (modulation transfer function/fonction de transfert de modulation)

La fonction de transfert de modulation est une méthode d'évaluation des performances d'un objectif utilisée pour déterminer le rapport de reproduction du contraste, ou netteté, d'un objectif. Lors de l'évaluation des caractéristiques électriques d'un équipement audio, la réponse en fréquence est une mesure importante des performances. Dans ce cas, lorsque le son d'origine est enregistré via un microphone puis lu à l'aide de haut-parleurs, la réponse en fréquence indique la fidélité du son reproduit par rapport au son d'origine. Si le son reproduit est très proche du son d'origine, l'équipement est qualifié de « hi-fi » (« high fidelity », haute fidélité). Si l'on considère le système optique d'un objectif comme un « système de transmission de signaux optiques », tout comme un système audio transmet des signaux électriques, on peut déterminer la précision de transmission des signaux dans la mesure où la réponse en fréquence du système optique peut être mesurée. Dans le cas d'un système optique, l'équivalent de la fréquence est la « fréquence spatiale », qui indique le nombre de motifs, ou cycles, d'une certaine densité sinusoïdale sur une largeur de 1 mm. Par conséquent, l'unité de mesure de la fréquence spatiale est le nombre de lignes par millimètre. La figure 27 A illustre les caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) d'un objectif « hi-fi » parfait pour une fréquence spatiale donnée, la sortie et l'entrée étant égales. Le rapport de contraste d'un tel objectif serait de 1:1. Cependant, les objectifs réels présentant des aberrations résiduelles, les rapports de contraste réels sont toujours inférieurs à 1:1. Le contraste diminue de manière inversement proportionnelle lorsque la fréquence spatiale augmente (c'est-à-dire que le motif sinusoïdal noir et blanc devient plus fin, ou plus dense), tel qu'illustré sur la figure 27 D, jusqu'à un certain niveau de gris où l'on ne fait plus la distinction entre le noir et le blanc (absence de contraste, 1:0) à la limite de fréquence spatiale. La courbe du graphique 4 illustre ce phénomène. L'axe horizontal représente la fréquence spatiale et l'axe vertical le contraste. En d'autres termes, la représentation graphique permet de vérifier la reproductibilité de la résolution et du contraste (c'est-à-dire le degré de modulation) de manière continue. Toutefois, la représentation graphique illustre les caractéristiques d'un seul point de la zone d'image. Il faut donc utiliser les données de plusieurs points pour déterminer les

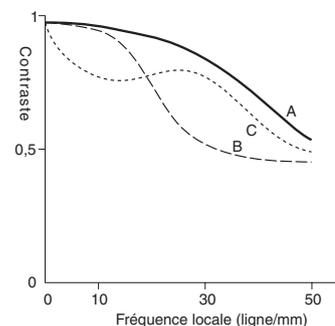
caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) de l'image dans son ensemble. Ainsi, pour les caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) des objectifs EF présentés ici, deux fréquences spatiales types (10 lignes/mm et 30 lignes/mm) sont sélectionnées. Des techniques complexes de simulation sur ordinateur sont utilisées pour déterminer les caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) de l'image dans son ensemble, représentées graphiquement. L'axe horizontal représente la distance à partir du centre de l'image le long de la ligne diagonale, et l'axe vertical le contraste.

### Lecture des graphiques MTF (fonction de transfert de modulation)

Les graphiques MTF (fonction de transfert de modulation) illustrant les caractéristiques des objectifs présentés dans ce document placent la hauteur d'image (la hauteur du centre de l'image étant de 0) sur l'axe horizontal et le contraste sur l'axe vertical. Les caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) sont fournies pour des fréquences spatiales de 10 lignes/mm et de 30 lignes/mm. Pour chaque graphique, la fréquence spatiale, l'ouverture et la direction dans la zone de l'image sont telles que présentées dans le tableau suivant.

Les informations de base relatives aux performances d'un objectif peuvent être interprétées comme suit à partir d'un graphique MTF (fonction de transfert de modulation) : plus la courbe 10 lignes/mm se rapproche de 1, meilleures sont les performances de l'objectif en matière de contraste et de séparation ; plus la courbe 30 lignes/mm se rapproche de 1, meilleures sont la résolution et la netteté. En outre, le flou de l'arrière-plan devient plus naturel au fur et à mesure que les caractéristiques M et S se rapprochent. L'équilibre entre ces caractéristiques est important. On peut cependant dire qu'un objectif offre une image d'excellente qualité lorsque la courbe 10 lignes/mm est supérieure à 0,8, et de qualité satisfaisante si elle est supérieure à 0,6. En observant les caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) des super téléobjectifs EF série L, les données indiquent clairement que ces objectifs présentent des caractéristiques optiques de très haute performance.

Graphique 4 Caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation) pour un point image unique





A : Résolution et contraste satisfaisants



B : Contraste satisfaisant mais résolution médiocre

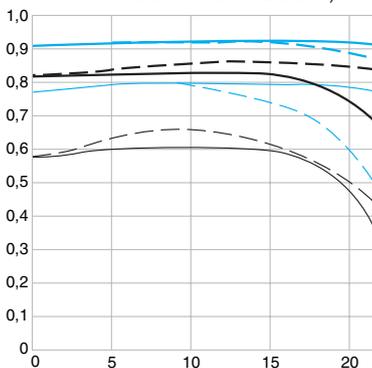


C : Résolution satisfaisante mais contraste médiocre

Tableau 3

Fréquence locale	Ouverture maximale		F 8	
	S	M	S	M
10 lignes/mm	—	- - -	—	- - -
30 lignes/mm	—	- - -	—	- - -

Graphique 5 Caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation)



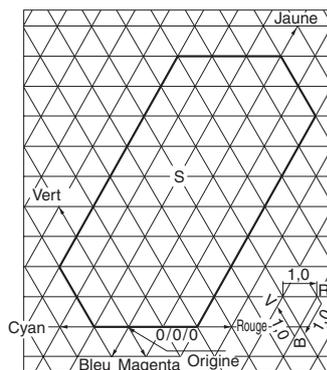
### Balance des couleurs

La balance des couleurs fait référence à la fidélité de reproduction des couleurs d'une photo capturée par un objectif, comparée au sujet original. La balance des couleurs de tous les objectifs EF est établie en fonction des valeurs de référence recommandées par l'ISO et maintenue dans une plage de tolérance stricte plus restreinte que la plage de valeurs autorisées par la norme CCI de l'ISO. → CCI

### CCI (color contribution index, indice de contribution à la couleur)

La reproduction des couleurs sur une photo en couleurs dépend de trois facteurs : les caractéristiques de couleur du film ou du système de production d'images numériques, la température de couleur de la source de lumière éclairant le sujet et les caractéristiques de transmission de la lumière de l'objectif. L'indice de contribution à la couleur, ou CCI, indique « la quantité de variation chromatique causée par les différences d'effet de filtre entre divers objectifs » lorsqu'un film et une source de lumière traditionnels sont utilisés. Il se compose de trois chiffres, au format 0/5/4. Ces trois chiffres sont des valeurs relatives exprimées en tant que logarithmes du facteur de transmission de l'objectif aux longueurs d'onde bleues-violettes/vertes/rouges, correspondant aux trois couches d'émulsion photosensibles des films couleur. Des valeurs élevées indiquent un facteur de transmission supérieur. Cependant, étant donné que les objectifs photographiques absorbent la plupart des longueurs d'onde ultraviolettes, la valeur du facteur de transmission du bleu-violet est en général de zéro. La balance des couleurs est donc évaluée en comparant les valeurs du vert et du rouge aux valeurs de référence ISO. Les caractéristiques de référence de transmission de la lumière des objectifs émises par l'ISO ont été établies selon une méthode proposée par le Japon. Celle-ci consiste à calculer la moyenne des valeurs de facteur de transmission de 57 objectifs standard,

Graphique 6 Plage de tolérance ISO représentée sur les coordonnées CCI

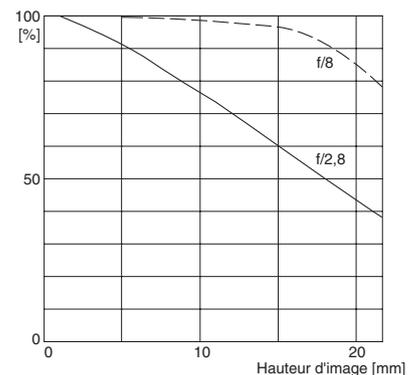


comprenant cinq modèles des principaux fabricants, dont Canon. Les fabricants de films s'appuient sur la valeur de référence obtenue de 0/5/4 pour concevoir les caractéristiques de production de couleur des films couleur. En d'autres termes, si les caractéristiques de transmission de la lumière d'un objectif ne correspondent pas aux valeurs de référence ISO, les caractéristiques de production de couleur d'un film couleur, telles qu'elles ont été conçues par le fabricant, ne peuvent pas être obtenues.

### Eclairage périphérique

La luminosité d'un objectif est déterminée par le nombre-F. Cependant, cette valeur indique uniquement la luminosité au niveau de l'axe optique, c'est-à-dire au centre de l'image. La luminosité (éclairage de la surface de l'image) au bord de l'image est l'éclairage périphérique. Il est exprimé en pourcentage (%) de la quantité d'éclairage au centre de l'image. L'éclairage périphérique dépend du vignettage de l'objectif et de la loi en cosinus puissance 4. Il est inévitablement plus faible que celui du centre de l'image. → Vignettage, Loi en cosinus puissance 4

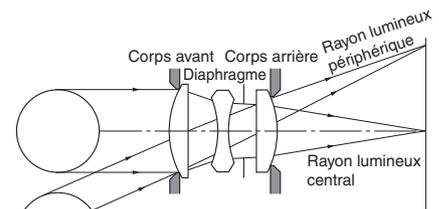
Graphique 7 Rapport d'éclairage du plan d'image illustrant les caractéristiques de l'éclairage périphérique



### Vignettage optique

Les rayons lumineux en provenance des bords de la zone d'image et atteignant l'objectif sont en partie bloqués par le cadre de l'objectif devant et derrière le diaphragme. Ils ne parviennent donc pas tous à traverser l'ouverture effective (diamètre du diaphragme). La lumière est donc réduite sur les zones périphériques de l'image. Ce type de vignettage peut être éliminé en réduisant l'ouverture.

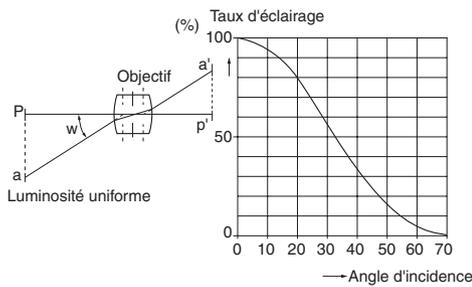
Figure 28 Vignettage



### Loi en cosinus

Selon la loi en cosinus, la diminution de la quantité de lumière sur les zones périphériques de l'image augmente avec l'angle de vue, même si l'objectif ne génère aucun vignettage. L'image périphérique est formée par des groupes de rayons lumineux pénétrant dans l'objectif selon un certain angle par rapport à l'axe optique. La quantité de réduction de la lumière est proportionnelle au cosinus de cet angle à la

Graphique 8 Réduction de la lumière périphérique selon la loi en cosinus



puissance quatre. La loi en cosinus étant une loi de physique, elle est inévitable. Toutefois, dans le cas des objectifs grand angle offrant un angle de champ plus large, la diminution de l'éclairage périphérique peut être évitée en augmentant l'ouverture effective (rapport de l'aire de la pupille d'entrée située sur l'axe sur l'aire de la pupille d'entrée en dehors de l'axe).

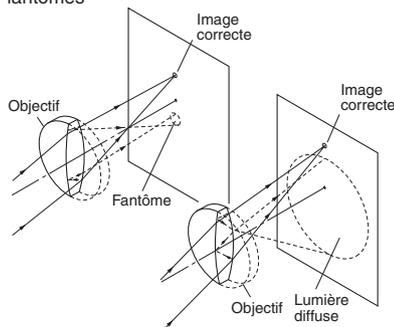
### Vignetage prononcé

Un vignetage prononcé est un phénomène dans lequel la lumière atteignant l'objectif est en partie bloquée par un obstacle tel que l'extrémité du pare-soleil ou la monture d'un filtre. Les coins de l'image sont assombris, ou l'image entière peut être éclaircie. Le terme ombre est en général utilisé lorsqu'un obstacle bloque les rayons lumineux qui devraient atteindre l'image, se traduisant par une qualité réduite de l'image.

### Lumière diffuse

La lumière réfléchiée par la surface des lentilles, les parois internes de la monture de l'objectif ou du compartiment contenant les miroirs peut atteindre le film ou le capteur d'image et voiler tout ou partie de la zone d'image, réduisant ainsi la netteté. Ces réflexions nuisibles sont désignées par le terme de lumière diffuse. Les effets de lumière diffuse peuvent en grande partie être réduits par l'application d'un traitement sur la surfaces des lentilles et l'utilisation de procédés anti-reflets dans la monture de l'objectif et de l'appareil photo. Ils ne peuvent cependant pas être entièrement

Figure 29 Lumière diffuse et images fantômes



éliminés dans tous les cas de figure. Il est donc recommandé d'utiliser un pare-soleil approprié dans la mesure du possible. Le terme de lumière diffuse fait également référence aux effets de flou et de halo causés par les comas et les aberrations sphériques.

### Image fantôme

Une image fantôme est un type d'effet de lumière diffuse qui se produit lorsque le soleil, ou une autre source de lumière forte, est compris dans la scène et qu'une série de réflexions sur la surface des lentilles entraîne l'apparition sur l'image d'une réflexion clairement identifiée en un point symétriquement opposé à la source de lumière. Ce phénomène se différencie de l'effet de lumière diffuse par le terme « fantôme », en raison de son aspect. Les images fantômes entraînées par des réflexions sur des surfaces situées devant l'ouverture prennent une forme identique à l'ouverture, tandis que celles causées par des réflexions au-delà de l'ouverture se traduisent par une zone de lumière voilée et floue. Les images fantômes peuvent également être causées par des sources de lumière forte situées hors champ. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser un pare-soleil ou tout autre dispositif d'ombrage afin de bloquer la lumière non souhaitée. Il est possible de vérifier toute présence d'image fantôme avant de prendre la photo. Il suffit pour cela de regarder dans le viseur et de se servir de la fonction de vérification de profondeur de champ pour réduire l'ouverture de l'objectif jusqu'à obtenir l'ouverture à utiliser lors de l'exposition.

### Traitement

Lorsque la lumière traverse une lentille non traitée, environ 5 % de la lumière est réfléchi par les extrémités de celle-ci en raison de la différence d'indice de réfraction. Non seulement ce phénomène réduit-il la quantité de lumière traversant la lentille mais il peut également entraîner de multiples réflexions, se traduisant par des effets de lumière diffuse ou des images fantômes indésirables. Un traitement spécial est appliqué sur les lentilles pour prévenir ces réflexions, par vaporisation sous vide d'une fine pellicule, d'une épaisseur équivalente à 1/4 de la longueur d'onde de la lumière que l'on souhaite cibler. Cette pellicule est composée d'une substance (telle que le fluorure de magnésium) dont l'indice de réfraction est de  $\sqrt{n}$ , où  $n$  représente l'indice de réfraction du verre optique. Au lieu d'un traitement correspondant à une seule longueur d'onde, les objectifs EF bénéficient d'un traitement multicouche supérieur (plusieurs couches sont vaporisées sur la pellicule pour réduire le taux de réflexion à 0,2 ou 0,3 %), qui prévient efficacement les réflexions de toutes les longueurs d'onde du spectre de lumière visible.

Le traitement des lentilles ne sert cependant pas uniquement à prévenir les réflexions. Lorsque les divers éléments de l'objectif sont traités avec des substances adéquates aux propriétés différentes, le traitement est un facteur important permettant d'obtenir des caractéristiques optimales de balance des couleurs pour l'objectif.

## Verre optique

### Verre optique

Le verre optique est conçu pour les produits optiques de précision tels que les objectifs photographiques et vidéo, les télescopes et les microscopes. Contrairement au verre utilisé dans les applications générales, le verre optique est doté de caractéristiques de dispersion et de réfraction définies et précises (indice de précision à six décimales). Il est soumis à des conditions strictes en matière de transparence et d'absence de défauts, tels que stries, déformations et bulles. Les divers types de verre optique sont classés selon leur composition et constante optique (nombre d'Abbe). On dénombre plus de 250 types de verre optique à ce jour. Pour les objectifs de haute performance, différents types de verre optique sont utilisés conjointement. Un verre dont le nombre d'Abbe est inférieur ou égal à 50 s'appelle le flint (F). Un verre dont le nombre d'Abbe est supérieur ou égal à 55 s'appelle le crown (K). Chaque catégorie de verre est ensuite divisée selon d'autres caractéristiques telles que la gravité. A chaque type de verre est attribué un nom de série correspondant.

### Nombre d'Abbe

Le nombre d'Abbe est une valeur numérique indiquant la dispersion du verre optique. Il est exprimé à l'aide du symbole grec  $v$ . Il est également appelé constante optique. Le nombre d'Abbe est déterminé selon la formule suivante, en utilisant l'indice de réfraction de trois raies de Fraunhofer : F (bleu), d (jaune) et c (rouge).

$$\text{nombre d'Abbe} = v_d = n_d - 1/n_F - n_c$$

### Raies de Fraunhofer

Les raies de Fraunhofer sont des raies d'absorption découvertes en 1814 par un physicien allemand, Fraunhofer (1787 - 1826). Elles comprennent le spectre d'absorption présent dans le spectre continu de la lumière émise par le Soleil, dû à l'effet des gaz dans l'atmosphère du Soleil et de la Terre. Chaque raie est située à une longueur d'onde fixe. Par conséquent, les raies servent de référence pour les caractéristiques de couleur (longueur d'onde) du verre optique. L'indice de réfraction du verre optique se mesure selon neuf

longueurs d'onde sélectionnées parmi les raies de Fraunhofer (voir Tableau 4). Dans le processus de conception des objectifs, les calculs établis pour corriger les aberrations chromatiques sont également basés sur ces longueurs d'onde.

Tableau 4 Longueurs d'onde de la lumière et raies spectrales

Code de ligne du spectre	i	h	g	F
Longueur d'onde (nm)	365,0	404,7	435,8	486,1
Couleur	Ultraviolet	Violet	Bleu-violet	Bleu

Code de ligne du spectre	e	d	c	r	t
Longueur d'onde (nm)	546,1	587,6	656,3	706,5	1 014
Couleur	Vert	Jaune	Rouge	Rouge	Infrarouge

Remarque : 1 nm = 10<sup>-9</sup> mm

### Fluorite

La fluorite présente des indices de réfraction et de dispersion extrêmement faibles en comparaison avec le verre optique. De plus, elle présente des caractéristiques particulières de dispersion partielle (dispersion partielle non standard), permettant une correction pratiquement parfaite des aberrations chromatiques lorsqu'elle est utilisée conjointement avec du verre optique. C'est un fait connu depuis longtemps. En 1880, la fluorite naturelle était déjà utilisée pour les objectifs apochromatiques des microscopes. La fluorite n'existant à l'état naturel qu'en petits fragments, elle ne peut pas être utilisée telle quelle dans les objectifs photographiques. En réponse à ce problème, en 1968, Canon a réussi à mettre au point une technique de production de cristaux artificiels de grande taille, ouvrant ainsi la voie à l'utilisation de la fluorite pour les objectifs photographiques.

### Lentille UD

Une lentille UD est réalisée à partir d'un verre optique spécial aux caractéristiques optiques similaires à la fluorite. Les lentilles UD permettent en particulier de corriger efficacement les aberrations chromatiques des super téléobjectifs. Deux lentilles UD présentent des caractéristiques équivalentes à un élément en fluorite. « UD » signifie « ultra-low dispersion » (dispersion ultra-faible).

### Verre sans plomb

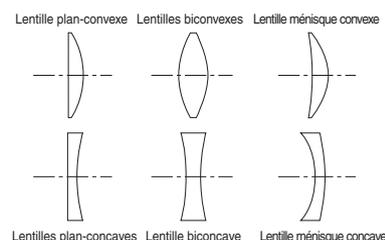
Le verre optique sans plomb est plus écologique. Le plomb augmente la puissance de réfraction du verre. Il est donc utilisé dans de nombreux types de verre optique. Bien qu'il ne puisse pas fuir du verre dans lequel il est contenu, le plomb pose un problème environnemental lorsqu'il s'échappe sous la forme des déchets produits lors de la découpe ou du polissage du verre. Dans le but d'éliminer l'utilisation du plomb des processus de fabrication, Canon a travaillé en

collaboration avec un fabricant de verre afin de développer un verre sans plomb, et abandonne progressivement l'utilisation de verre contenant du plomb dans sa gamme d'objectifs. Le verre sans plomb utilise du titane, qui, contrairement au plomb, ne représente pas une menace pour l'environnement ou l'homme, mais jouit de caractéristiques optiques équivalentes au verre traditionnel contenant du plomb.

## Formes de lentille et principes de base de composition des objectifs

### Formes de lentilles

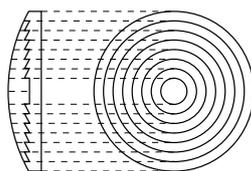
Figure 30 Formes de lentille



### Lentille de Fresnel

La lentille de Fresnel est un type de lentille convergente. Elle est formée en divisant finement la surface convexe d'une lentille convexe plane en de nombreux anneaux concentriques et en les combinant pour réduire de manière significative l'épaisseur de la lentille, tout en préservant sa fonction de lentille convexe. Dans un appareil photo reflex mono-objectif, pour diriger la lumière diffuse périphérique vers l'oculaire, le côté opposé à la surface mate du verre de visée forme une lentille de Fresnel d'un pas de 0,05 mm. Les lentilles de Fresnel sont également très couramment utilisées pour les flashes, comme l'indiquent les lignes concentriques que l'on peut observer sur l'écran blanc de diffusion recouvrant le tube flash. La lentille de projection utilisée pour projeter la lumière d'un phare est un exemple de lentille de Fresnel géante.

Figure 31 Lentille de Fresnel



### Lentille asphérique

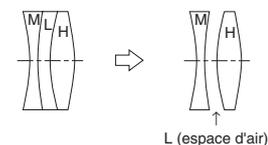
Les objectifs photographiques se composent en général de plusieurs lentilles individuelles. Sauf mention contraire, la surface de chacune d'entre elles est sphérique. De ce fait, il s'avère

très difficile de corriger les aberrations sphériques des objectifs grand angle et la distorsion des objectifs super grand angle. Une lentille spéciale, à la surface parfaitement incurvée de manière à corriger ces aberrations, c'est-à-dire une lentille dont la surface est incurvée mais non sphérique, s'appelle une lentille asphérique. Les fabricants de lentilles connaissent depuis toujours le principe et l'utilité des lentilles asphériques. Cependant, les surfaces asphériques étant extrêmement difficiles à mesurer et fabriquer, ce n'est que récemment que des méthodes pratiques de fabrication de lentilles asphériques ont été mises au point. Le premier appareil photo reflex mono-objectif à offrir une lentille asphérique de large diamètre était le Canon FD 55 mm f/1,2AL, mis sur le marché en mars 1971. Grâce aux progrès révolutionnaires des technologies de production, la gamme d'objectifs EF de Canon offre aujourd'hui de nombreux types de lentilles asphériques, telles que les lentilles asphériques en verre dépoli et poli, haute précision en verre moulé (GMO), composites ou hybrides.

### Lentille d'air

On peut considérer les espaces d'air entre les diverses lentilles composant un objectif comme des lentilles d'un certain type de verre dont l'indice de réfraction est identique à celui de l'air (1,0). Un espace d'air conçu dans cette optique s'appelle une lentille d'air. La réfraction d'une lentille d'air étant l'inverse de celle d'une lentille de verre, une forme convexe agit comme une lentille concave et inversement. Ce principe a été mis en avant pour la première fois en 1898 par Emil von Hoegh, de la société allemande Goerz.

Figure 32 Diagramme conceptuel de lentille d'air

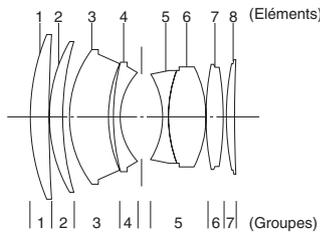


### Objectifs photographiques

Lorsque l'on observe à la loupe l'image agrandie d'un objet, les bords de l'image sont souvent déformés ou décolorés, même si le centre est net. Comme cette expérience nous le montre, une lentille individuelle présente de nombreux types d'aberrations et ne peut pas reproduire une image clairement définie d'un bord à l'autre. Pour cette raison, les objectifs photographiques sont composés de plusieurs lentilles individuelles aux formes et caractéristiques particulières afin d'obtenir une image nette sur toute sa surface. Les brochures et modes d'emploi des objectifs décrivent les éléments individuels et groupes qui les composent. La figure 33 illustre par exemple la

composition de l'objectif EF 85 mm f/1,2L II USM, comprenant 8 lentilles disposées en 7 groupes.

Figure 33 Composition de l'EF 85 mm f/1,2L II USM

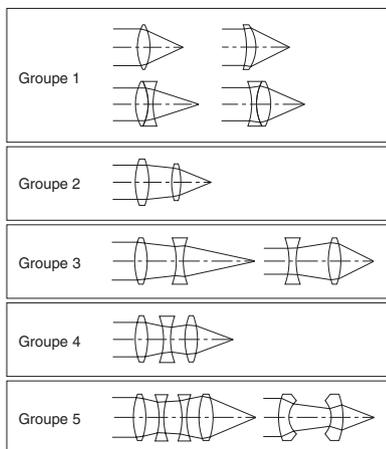


### Principes de base de la composition des objectifs

Il existe cinq types de composition de base des objectifs à distance focale fixe à usage général.

① Le type de composition le plus simple est la composition unique : une seule lentille ou un doublet composé de deux lentilles réunies. ② et ③ sont de type doublet, comprenant deux lentilles individuelles. ④ est de type triplet, composé de trois lentilles individuelles selon la séquence convexe-concave-convexe. ⑤ est un type symétrique, comprenant deux groupes d'une ou plusieurs lentilles, de forme et de configuration identiques, disposés de manière symétrique autour du diaphragme.

Figure 34 Groupes de lentilles de base



### Types d'objectifs photographiques standard

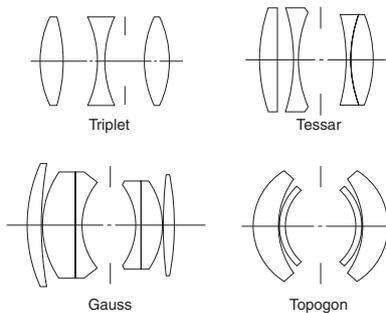
#### ● Objectifs à distance focale fixe

##### ① Type symétrique

Dans ce type d'objectif, le groupe de lentilles situé derrière le diaphragme présente une forme et une configuration pratiquement identiques à celles du groupe situé devant le diaphragme. Il existe plusieurs catégories d'objectifs symétriques : Gauss, triplet, Tessar, Topogon et orthomètre. Parmi ceux-ci, la

configuration la plus courante aujourd'hui est le type Gauss et ses dérivés. Sa conception symétrique permet un bon équilibre des corrections de tous les types d'aberration et il offre une mise au point arrière relativement longue. Le Canon 50 mm f/1,8, sorti en 1951, a permis de corriger la coma, seul point faible des objectifs de type Gauss de l'époque. La sortie de cet objectif a donc marqué l'histoire de la photographie grâce à ses performances nettement supérieures. Canon utilise toujours la composition de type Gauss dans ses objectifs modernes tels que l'EFF 50 mm f/1,4 USM, l'EF 50 mm f/1,8 II ou l'EF 85 mm f/1,2L II USM. Les configurations symétriques de type Tessar et triplet sont couramment utilisées aujourd'hui pour les appareils photo compacts équipés d'objectifs à distance focale fixe.

Figure 35 Types d'objectifs photographiques standard



#### ② Type téléobjectif

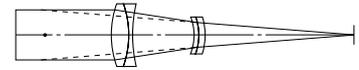
La longueur totale d'un objectif photographique classique (c'est-à-dire la distance depuis le sommet de la première lentille avant jusqu'au plan focal) est plus longue que sa distance focale. Toutefois, ce n'est en général pas le cas des objectifs à distance focale particulièrement longue, car l'utilisation d'une configuration de lentilles normale se traduirait par un objectif très grand et encombrant. Pour concilier taille raisonnable et longue distance focale, un module de lentilles concave (négatif) est placé derrière le module de lentilles principal convexe (positif). L'objectif est donc plus court que sa distance focale. Les objectifs de ce type s'appellent des téléobjectifs. Dans un téléobjectif, le second point principal se trouve devant la première lentille avant.

#### ● Rapport de téléobjectif

Le rapport entre la longueur totale d'un téléobjectif et sa distance focale s'appelle le rapport de téléobjectif. En d'autres termes, il s'agit du quotient de la distance entre le sommet de la première lentille avant et le plan focal sur la distance focale. Pour les téléobjectifs, cette valeur est inférieure à un. A titre de référence, le rapport de téléobjectif de

l'EF 300 mm f/2,8L IS USM est de 0,94, et celui de l'EF 600 mm f/4L IS USM de 0,81.

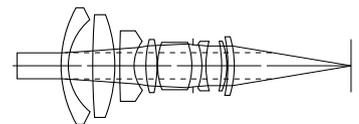
Figure 36 Type téléobjectif



#### ③ Type rétro-focus

Les objectifs grand angle traditionnels ont une mise au point arrière trop courte pour pouvoir être utilisés sur des appareils photo reflex mono-objectif car ils empêcheraient le miroir principal de basculer. De ce fait, la composition des objectifs grand angle pour appareils photo reflex mono-objectif est l'inverse de celle des téléobjectifs ; le module de lentilles négatif est placé devant le module de lentilles principal. Ceci déplace le second point principal derrière la lentille (entre la dernière lentille arrière et le plan du film) et crée un objectif offrant une mise au point arrière plus longue que la distance focale. Ce type d'objectif est en général appelé rétro-focus, d'après le nom d'un produit commercialisé par la société française Angenieux Co. En termes d'optique, ce type d'objectif rentre dans la catégorie des téléobjectifs inversés.

Figure 37 Types téléobjectifs inversés (rétro-focus)



### Zooms

#### ④ Type zoom à 4 groupes

Il s'agit d'une configuration de zoom traditionnelle qui sépare en quatre groupes distincts les fonctions de l'objectif (mise au point, variation du grossissement, correction et formation de l'image). Deux groupes bougent pendant le zoom : le groupe de variation du grossissement et le groupe de correction. On peut facilement obtenir un rapport de zoom élevé avec ce type de configuration. C'est pourquoi ce type de zoom est couramment utilisé pour les objectifs de caméra et les zooms de téléobjectifs reflex mono-objectif. Cependant, en raison de problèmes rencontrés lors de la conception de zooms compacts, ce type de configuration est de moins en moins utilisé dans les zooms modernes non destinés aux téléobjectifs.

#### ⑤ Type zoom court

Explication → P.175

## ⑥ Type zoom à plusieurs groupes

Explication → P.175

### Mouvement d'objectif et mise au point

#### Techniques de mouvement d'objectif et de mise au point

Il existe cinq grandes catégories de méthodes de mouvement d'objectif pour effectuer la mise au point.

#### ① Extension linéaire générale

L'intégralité du système optique de l'objectif avance et recule en ligne droite lors de la mise au point. Il s'agit là de la méthode de mise au point la plus simple, utilisée principalement pour les objectifs grand angle à distance focale fixe standard, tels que l'EF 15 mm f/2,8 Fisheye, l'EF 50 mm f/1,4 USM, le TS-E 90 mm f/2,8 et d'autres objectifs EF.

#### ② Extension linéaire du groupe avant

Le groupe arrière reste fixe et seul le groupe avant avance et recule en ligne droite lors de la mise au point. L'EF 50 mm f/2,5 Compact Macro, le MP-E 65 mm f/2,8 Macro Photo et l'EF 85 mm f/1,2L II USM sont des exemples de ce type d'extension.

#### ③ Extension circulaire du groupe avant

La partie de la monture de l'objectif qui supporte le groupe avant avance et recule en pivotant lors de la mise au point. Ce type de mise au point est uniquement utilisé pour les zooms et non pour les objectifs à distance focale fixe. Les objectifs EF 28-90 mm f/4-5,6 III, EF 75-300 mm f/4-5,6 IS USM et EF 90-300 mm f/4,5-5,6 USM sont des exemples parmi d'autres objectifs EF de cette méthode de mise au point.

#### ④ Mise au point intérieure

La mise au point s'effectue grâce au déplacement d'un ou de plusieurs groupes de lentilles situés entre le groupe de lentilles avant et le diaphragme.

→ P.176

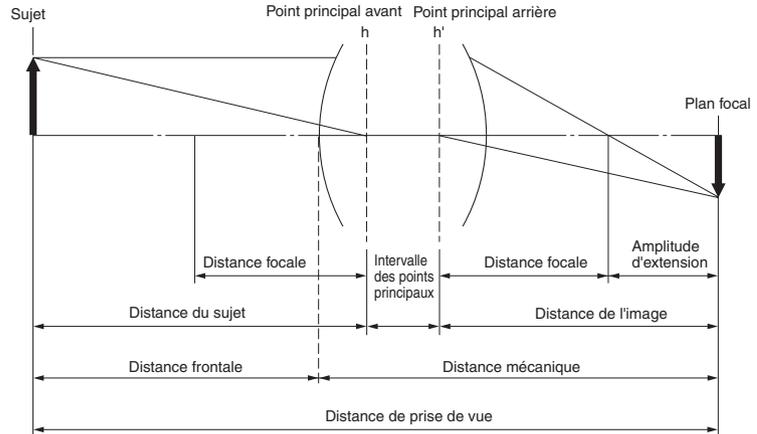
#### ⑤ Mise au point arrière

La mise au point s'effectue grâce au déplacement d'un ou de plusieurs groupes de lentilles situés derrière le diaphragme. → P.177

#### Système flottant

Ce système modifie l'intervalle situé entre certaines lentilles en fonction de l'amplitude d'extension afin de compenser les fluctuations d'aberration causées par la distance de l'appareil photo. Cette méthode est aussi connue sous le nom de mécanisme de compensation des aberrations sur courte distance. → P.177

Figure 38 Distance de prise de vue, distance du sujet et distance de l'image



### Distance de prise de vue/distance du sujet/distance de l'image

#### Distance de l'appareil photo

Il s'agit de la distance entre le plan focal et le sujet. La position du plan focal est indiquée sur la partie supérieure de la plupart des appareils photo par le symbole « ⊕ ».

#### Distance du sujet

Il s'agit de la distance entre le point principal avant de l'objectif et le sujet.

#### Distance de l'image

Il s'agit de la distance entre le point principal arrière et le plan focal lorsque la mise au point est effectuée sur un sujet situé à une distance donnée.

#### Amplitude d'extension

Dans le cas d'un objectif dans lequel l'intégralité du système optique avance et recule pendant la mise au point, l'amplitude d'extension est l'ampleur de mouvement nécessaire pour effectuer la mise au point sur un sujet situé à une distance limitée de la position de mise au point de l'infini.

#### Distance mécanique

La distance mécanique sépare l'extrémité avant de la monture de l'objectif du plan focal.

#### Distance de travail

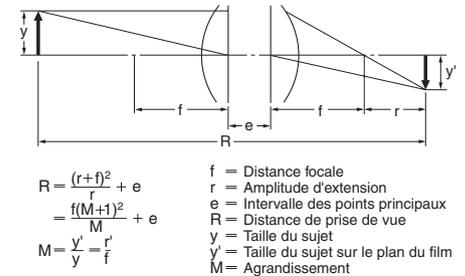
La distance de travail sépare l'extrémité avant de la monture de l'objectif du sujet. C'est un facteur important en particulier pour les gros-plans et les agrandissements.

#### Grossissement de l'image

Le grossissement de l'image est le rapport (rapport de longueur) entre la taille réelle du sujet et la taille de l'image reproduite sur le film. Un objectif macro dont le rapport de grossissement de l'image est de 1:1 peut reproduire une image sur le film de la même taille que le sujet original (taille réelle). Le grossissement est en général exprimé sous

forme de valeur proportionnelle indiquant la taille de l'image comparée au sujet réel. (Par exemple un grossissement de 1:4 est exprimé 0,25x.)

Figure 39 Rapport entre distance focale, amplitude d'extension (extension générale) et grossissement

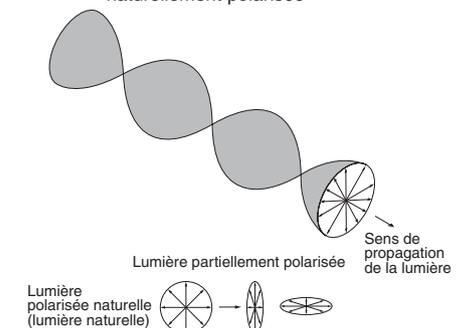


### Lumière polarisée et filtres de polarisation

#### Lumière polarisée

La lumière étant une forme d'onde électromagnétique, on peut considérer qu'elle vibre de manière uniforme dans toutes les directions dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Ce type de lumière est la lumière naturelle (ou lumière naturelle polarisée). Si, pour une raison quelconque, la direction de vibration de la lumière naturelle devient polarisée, cette lumière est appelée lumière polarisée. Lorsque

Figure 40 Onde électromagnétique naturellement polarisée



la lumière naturelle se réfléchit sur la surface du verre ou de l'eau par exemple, la lumière réfléchie vibre dans une seule direction et est entièrement polarisée. De même, lorsqu'il fait soleil, la lumière tombant à un angle de 90° avec le Soleil devient polarisée en raison de l'effet des molécules et particules d'air se trouvant dans l'atmosphère. Les demi-miroirs utilisés dans les appareils photo reflex mono-objectif autofocus entraînent également une polarisation de la lumière.

### Filtre de polarisation linéaire

Un filtre de polarisation linéaire est un filtre qui ne laisse passer que la lumière vibrant dans une certaine direction. Etant donné que la lumière traversant le filtre vibre de manière linéaire par nature, ce filtre est appelé filtre de polarisation linéaire. Ce type de filtre élimine les réflexions sur le verre ou l'eau de la même manière qu'un filtre de polarisation circulaire, mais il ne peut pas être utilisé de manière efficace avec la plupart des appareils photo autofocus (AF) et à exposition automatique (AE) car il produirait des erreurs d'exposition avec les appareils AE équipés d'un système de mesure TTL à demi-miroirs, et des erreurs de mise au point avec les appareils AF comprenant un système de télémétrie AF à demi-miroirs.

### Filtre de polarisation circulaire

Un filtre de polarisation circulaire est identique à un filtre de polarisation linéaire en ce qu'il ne laisse passer que la lumière vibrant dans une certaine direction. Cependant, la lumière traversant un filtre de polarisation circulaire diffère de la lumière traversant un filtre de polarisation linéaire en ce que la lumière se propage sous forme de spirale. Ainsi, l'effet du filtre n'interfère pas avec l'effet des demi-miroirs, permettant le fonctionnement normal des fonctions TTL-AE et AF. Lorsque vous utilisez un filtre de polarisation avec un appareil photo EOS, veillez à opter pour un filtre de polarisation circulaire. Celui-ci élimine les réflexions de lumière de manière tout aussi efficace qu'un filtre de polarisation linéaire.

## Termes relatifs au numérique

### Capteur d'images

Un capteur d'images est un élément semi-conducteur qui convertit les données image en signal électrique, jouant le rôle du film d'un appareil photo argentique traditionnel. Il est également appelé système imageur. Les deux éléments d'image les plus communs utilisés dans les appareils photo numériques sont CCD (Charge-Coupled Devices, dispositifs de transfert de charge) et CMOS (Complementary Metal-Oxide Semi-conductors, semi-conducteurs à oxyde de métal complémentaire).

Ce sont tous deux des capteurs de surface comprenant un grand nombre de récepteurs (pixels) sur une surface plate qui convertissent les variations de lumière en signaux électriques. Plus il y a de récepteurs, plus la reproduction de l'image est précise. Ces récepteurs ne sont sensibles qu'à la luminosité et non à la couleur. De ce fait, les filtres RVB ou CMJN sont placés avant les récepteurs afin de capturer les données de couleur en même temps que les données de luminosité.

### Filtre passe-bas

Avec les éléments d'image standard utilisés dans les appareils photo numériques, les informations de couleur RVB ou CMJN sont recueillies pour chaque récepteur disposé sur la surface. Ceci signifie que, lorsque de la lumière à forte fréquence spatiale frappe un seul et unique pixel, un moirage, des couleurs fausses ou n'existant pas sur le sujet apparaissent sur l'image. Afin de réduire ces phénomènes, la lumière doit frapper divers récepteurs. Pour ce faire, les récepteurs utilisés sont des filtres passe-bas. Les filtres passe-bas utilisent des cristaux liquides et d'autres structures de cristaux, caractérisées par une réfraction double (phénomène par lequel deux flux de lumière réfractée sont créés), placés avant les éléments d'image. La double réfraction de la lumière à forte fréquence spatiale à l'aide de filtres passe-bas permet de recevoir de la lumière à l'aide de divers éléments.

L'accommodation de l'œil est sa capacité à adapter sa puissance de réfraction de manière à former sur la rétine l'image d'un objet. L'état de l'œil à sa puissance de réfraction minimum est l'état de repos.

### Vision normale, emmétropie

Il s'agit de l'état de l'œil dans lequel l'image d'un point infiniment distant se forme sur la rétine lorsque l'œil est au repos.

### Vision de loin, hypermétropie

Il s'agit de l'état de l'œil dans lequel l'image d'un point infiniment distant se forme à l'arrière de la rétine lorsque l'œil est au repos.

### Vision de près, myopie

Il s'agit de l'état de l'œil dans lequel l'image d'un point infiniment distant se forme à l'avant de la rétine lorsque l'œil est au repos.

### Astigmatisme

Il s'agit de l'état de l'œil dans lequel l'axe visuel de l'œil présente un astigmatisme.

### Presbytie

Il s'agit de l'état de l'œil dans lequel le pouvoir d'accommodation diminue avec l'âge. En photographie, cela consisterait à avoir une distance focale unique et une zone de netteté réduite.

### Distance minimum de vision distincte

Il s'agit de la distance la plus proche à laquelle un œil aux capacités visuelles normales peut observer un objet sans effort. On considère en général que cette distance est de 25 cm (0,8 pieds).

### Dioptrie

La dioptrie est le degré auquel le viseur doit converger ou diverger le rayon de lumière. La dioptrie standard pour tous les appareils photo EOS est définie sur -1. Ce paramètre permet à l'image du viseur d'apparaître comme étant éloignée d'une distance de 1 m. Ainsi, si vous ne percevez pas de manière nette l'image dans le viseur, vous devez fixer sur l'oculaire de l'appareil un correcteur dioptrique qui, ajouté à la dioptrie standard du viseur, permet de voir nettement un objet à une distance d'un mètre. Les valeurs numériques mentionnées sur les correcteurs dioptriques EOS indiquent la dioptrie totale obtenue lorsque le correcteur dioptrique est fixé sur l'appareil photo.

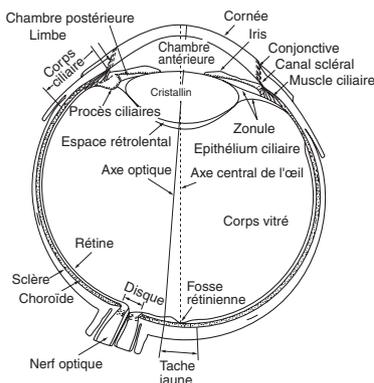
## Œil humain et dioptrie du viseur

### Vue, acuité visuelle

La vue, ou acuité visuelle, est la capacité de l'œil à distinguer en détail la forme d'un objet. Exprimée sous forme de valeur numérique indiquant l'inverse de l'angle visuel minimum auquel l'œil peut clairement distinguer deux points ou deux lignes, soit la résolution de l'œil par référence à une résolution de 1'. (Rapport avec une résolution de 1' entendue comme 1.)

### Accommodation de l'œil

Figure 41 Œil humain

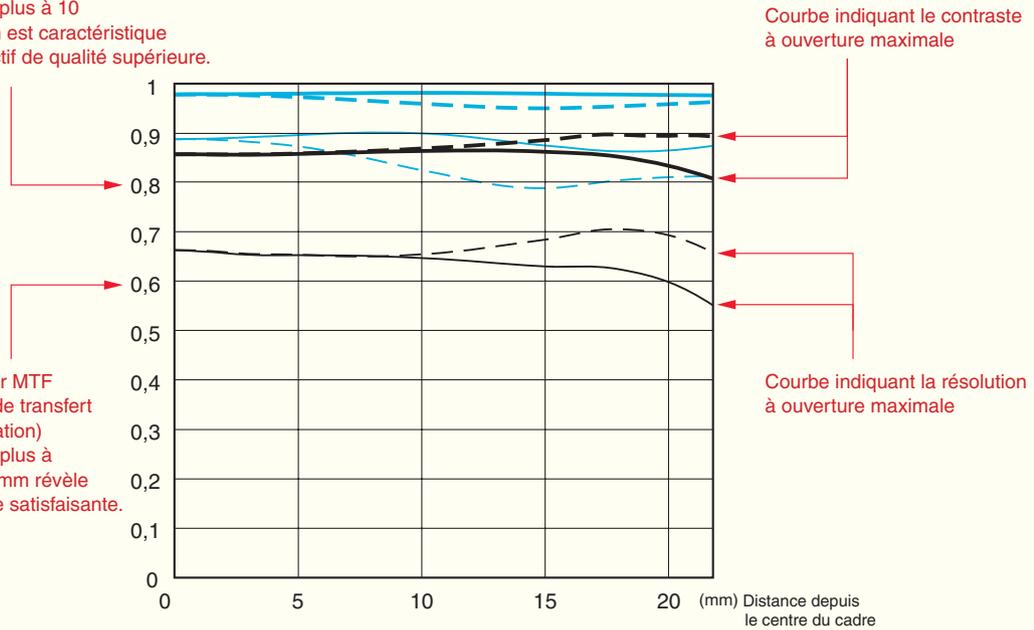


# Caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation)

## Lecture des caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation)

Une valeur MTF (fonction de transfert de modulation) de 0,8 ou plus à 10 lignes/mm est caractéristique d'un objectif de qualité supérieure.

Une valeur MTF (fonction de transfert de modulation) de 0,6 ou plus à 10 lignes/mm révèle une image satisfaisante.



Fréquence locale	Ouverture maximale		f/8	
	S	M	S	M
10 lignes/mm	—	- - - -	—	- - - -
30 lignes/mm	—	- - - -	—	- - - -

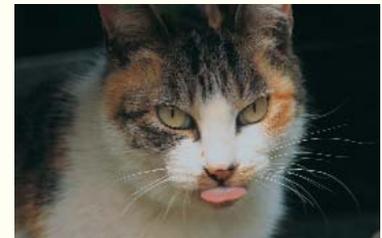
Plus les courbes S et M sont alignées, plus l'image floue devient naturelle.



Résolution et contraste satisfaisants



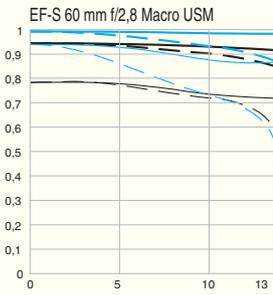
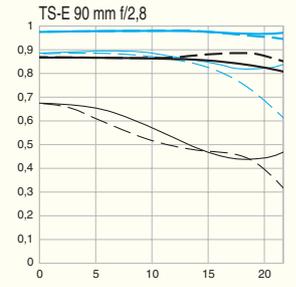
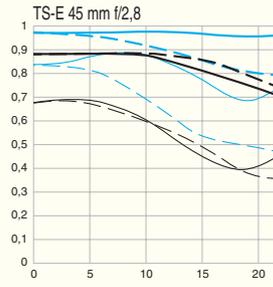
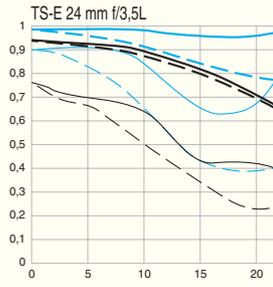
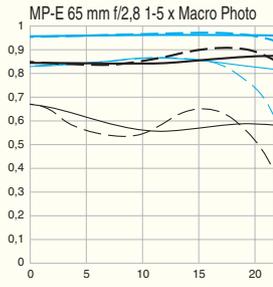
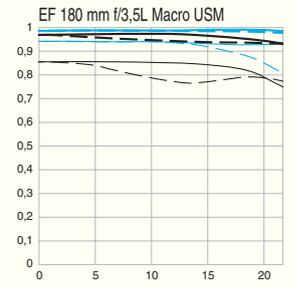
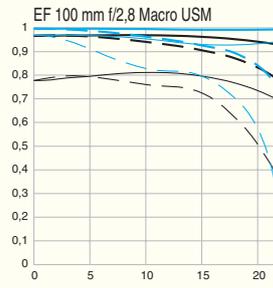
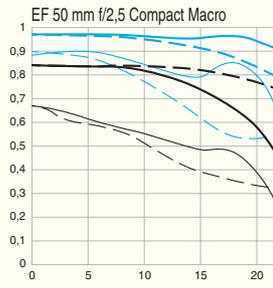
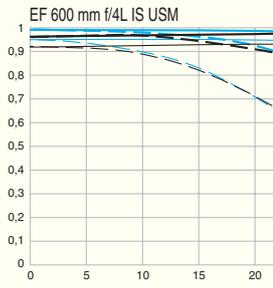
Contraste satisfaisant mais résolution médiocre



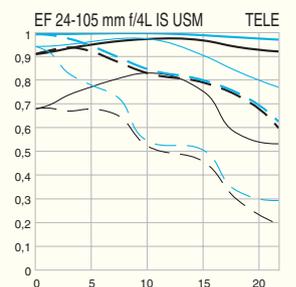
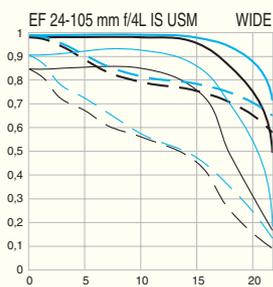
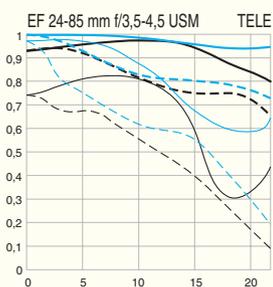
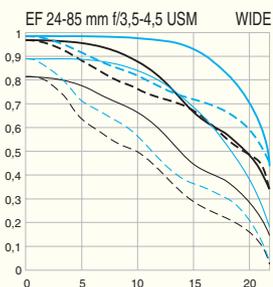
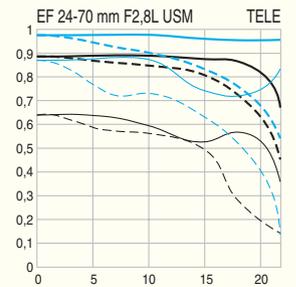
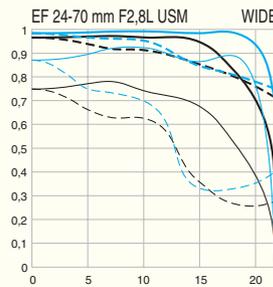
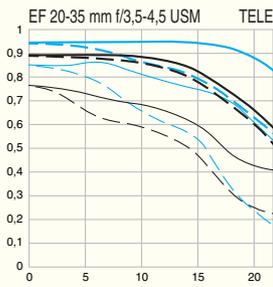
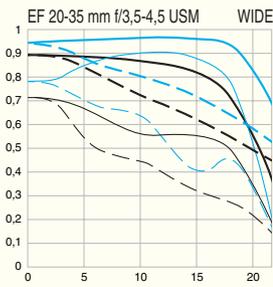
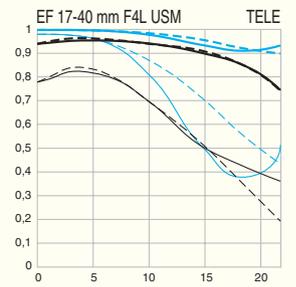
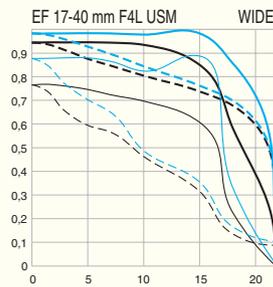
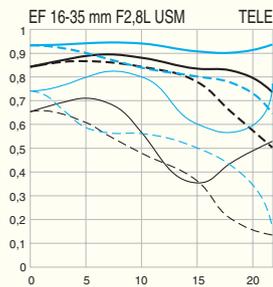
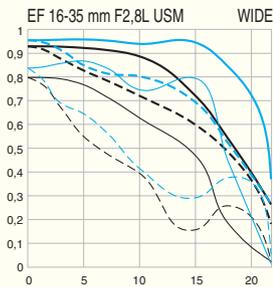
Résolution satisfaisante mais contraste médiocre



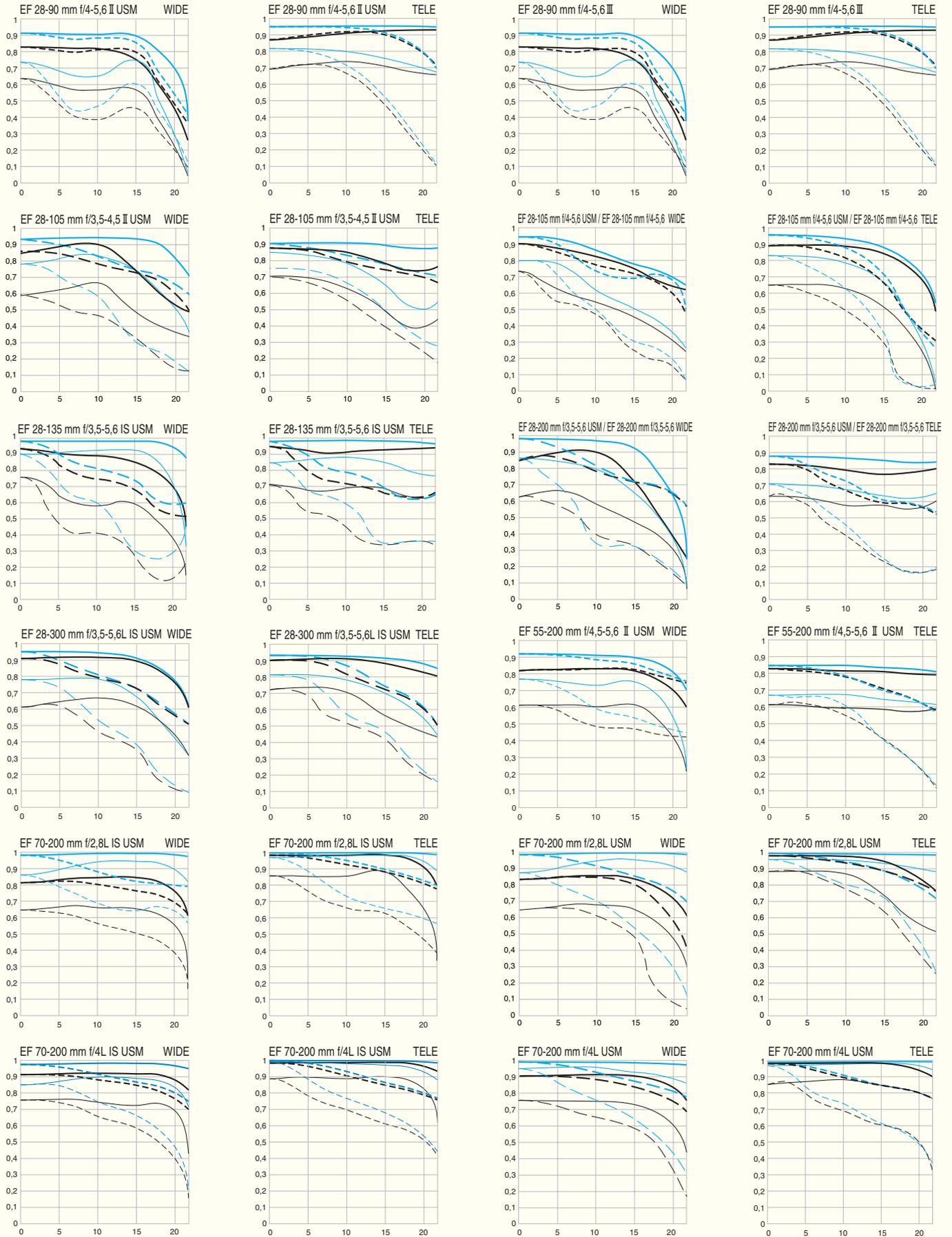
## Caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation)



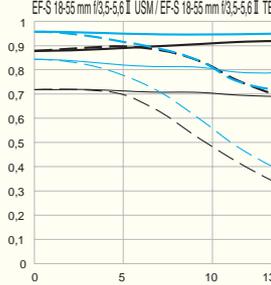
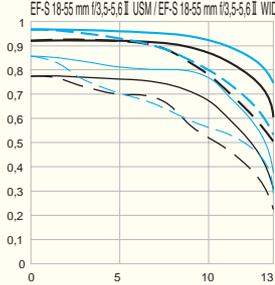
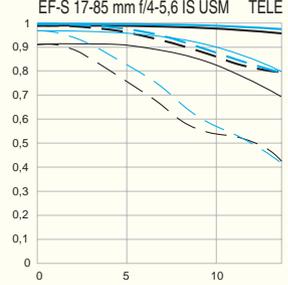
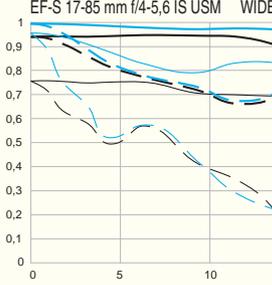
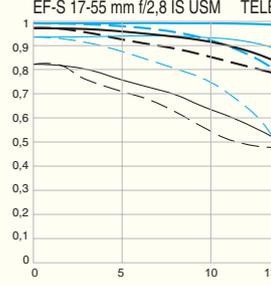
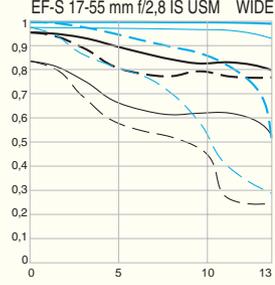
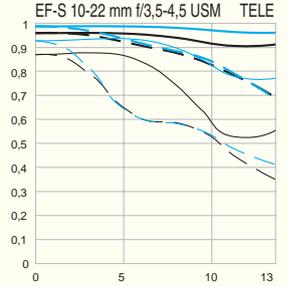
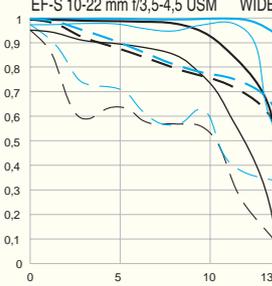
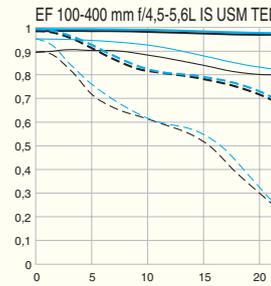
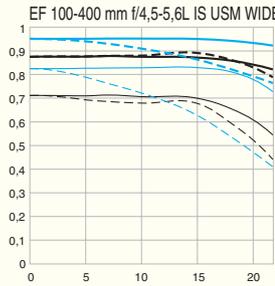
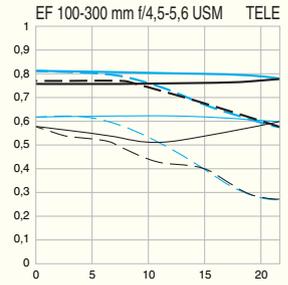
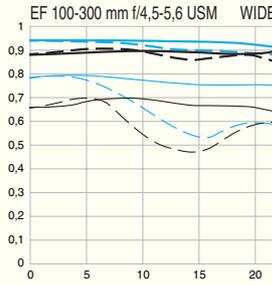
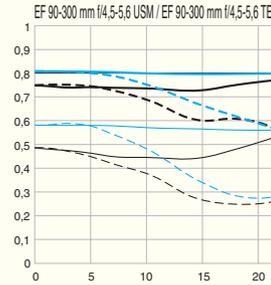
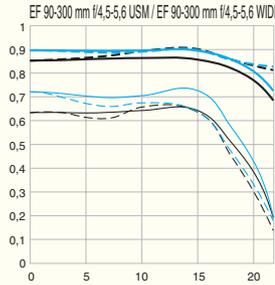
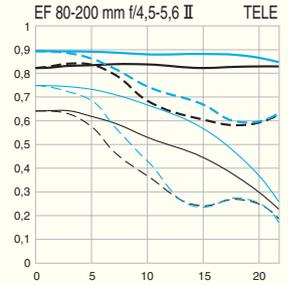
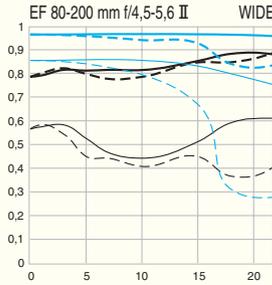
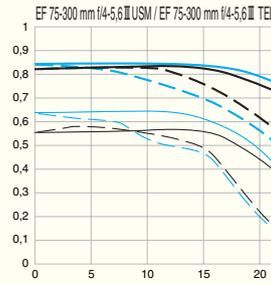
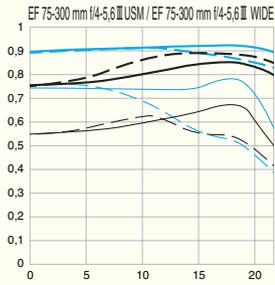
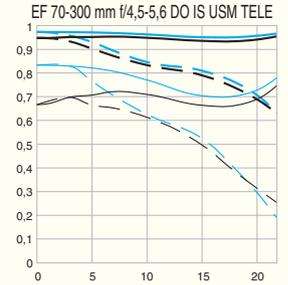
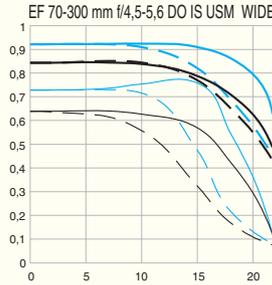
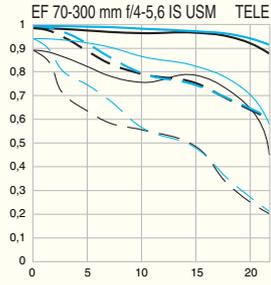
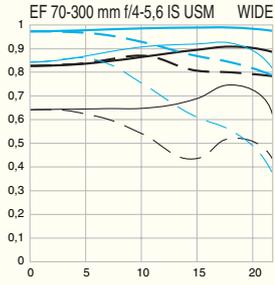
## Zooms



# Zooms

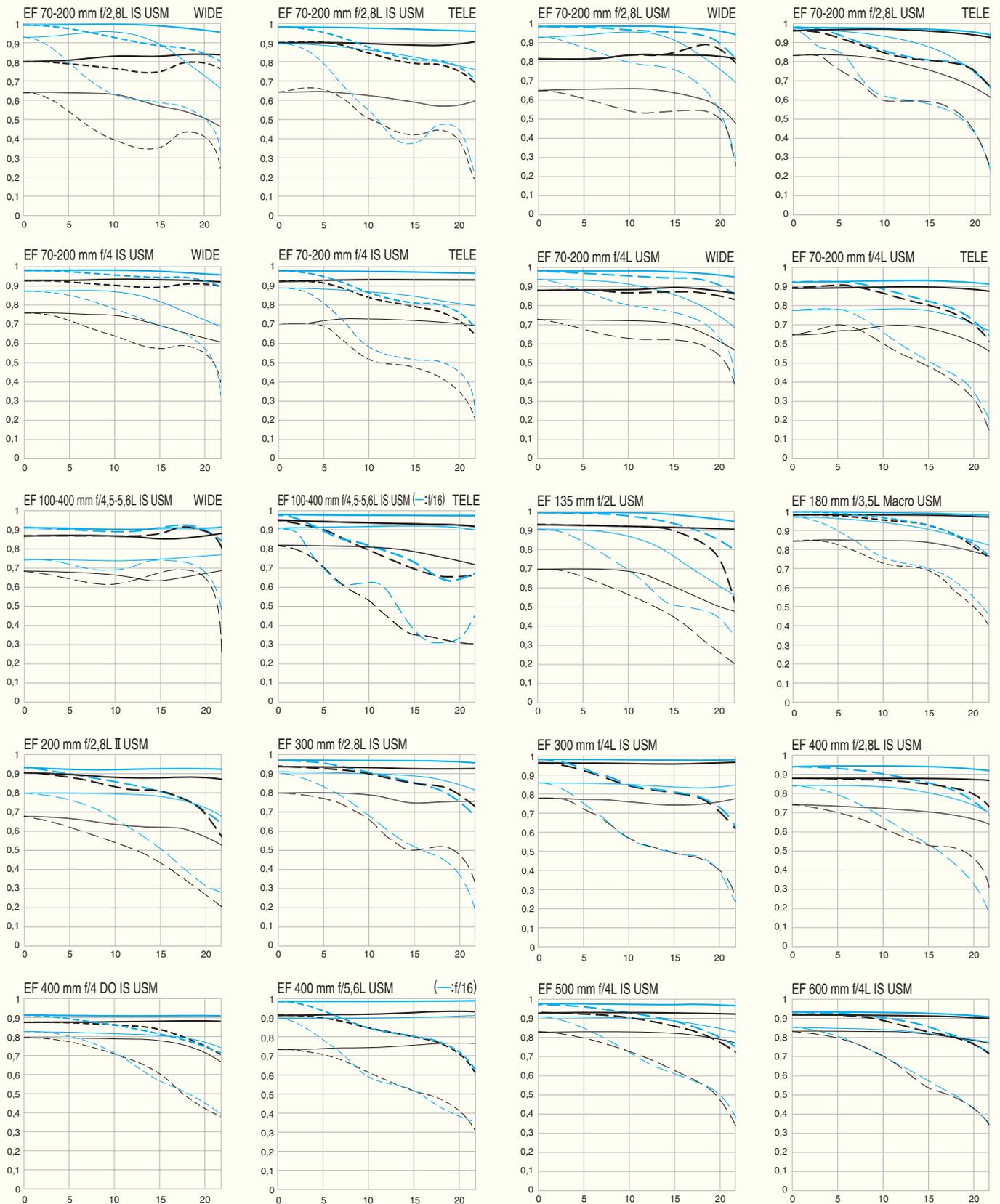


# Caractéristiques MTF (fonction de transfert de modulation)



# Extenders (multiplicateurs)

## EF 1,4x II



## EF 2x II



# EF LENS WORK III Les yeux d'EOS

Septembre 2006, Huitième édition

---

**Organisation et publication**

Canon Inc. Lens Products Group

**Production et éditorial**

Canon Inc. Lens Products Group

**Impression**

Nikko Graphic Arts Co., Ltd.

**Remerciements pour leur coopération :**

Brasserie Le Solférino/Restaurant de la Maison  
Fouraise, Chatou/ Hippodrome de Marseille  
Borély/Cyrille Varet Créations, Paris/Jean Pavie,  
artisan luthier, Paris/Participation de la Mairie de  
Paris/Jean-Michel OTHONIEL, sculpteur

©Canon Inc. 2003

---

Les produits et caractéristiques techniques sont sujets à modification sans préavis.

Les photos du présent document sont la propriété de Canon Inc., ou utilisées avec l'autorisation des photographes.

**CANON INC.** 30-2, Shimomaruko 3-chome, Ohta-ku, Tokyo 146-8501, Japan