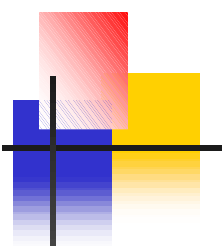


Les aberrations optiques

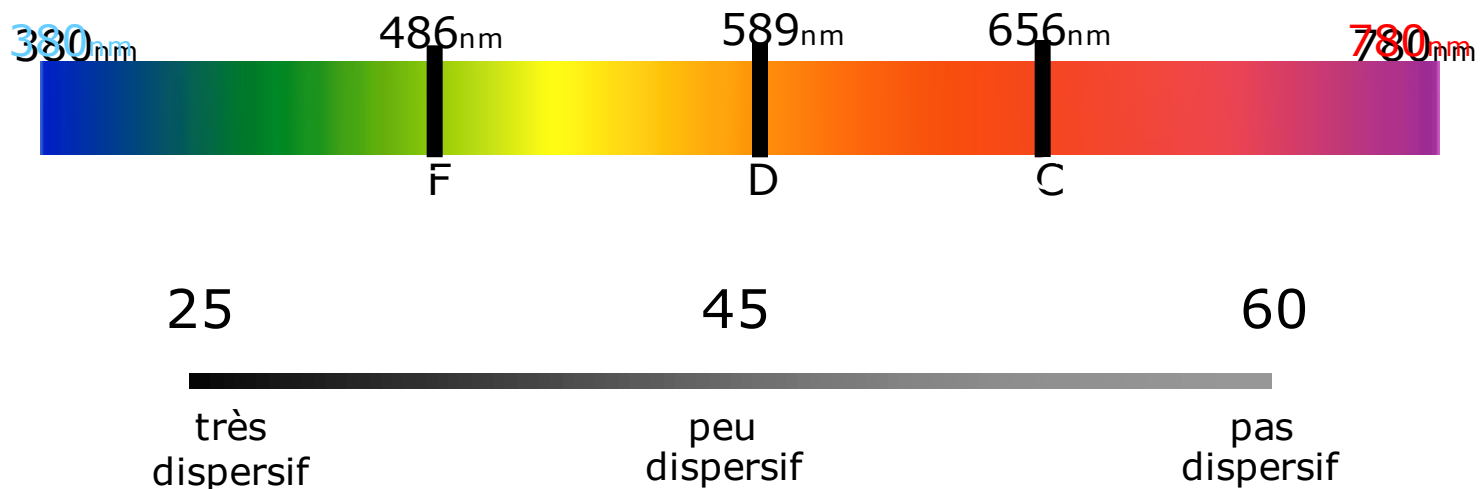
- 
- Aberrations chromatiques
 - Chromatisme axial
 - Chromatisme de grandeur
 - Aberrations géométriques
 - Aberration d 'ouverture
 - Aberration sphérique
 - Aberrations de champ
 - Coma
 - Astigmatisme
 - Courbure de champ
 - Autres aberrations
 - Distorsion
 - Vignettage

Les aberrations optiques

- **Les aberrations chromatiques :**

- Elles sont dues au fait que l'indice de réfraction des verres varie avec la longueur d'onde
- Un verre est caractérisé par son indice moyen " n_D " mesuré pour 589 nm et par son indice de dispersion chromatique

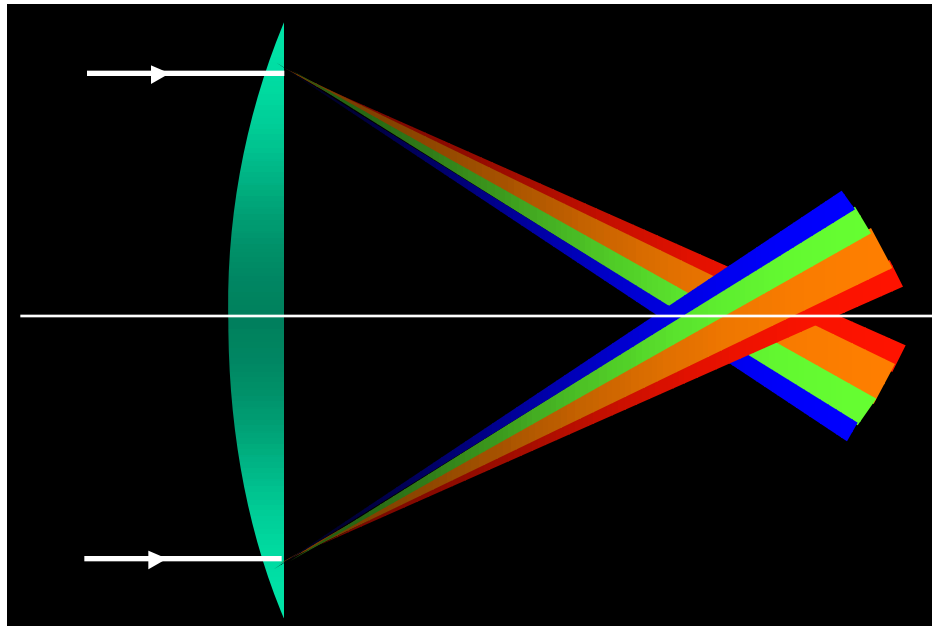
$$\nu = (n_D - 1) / (n_F - n_C)$$



Les aberrations optiques

- **Les aberrations chromatiques :**

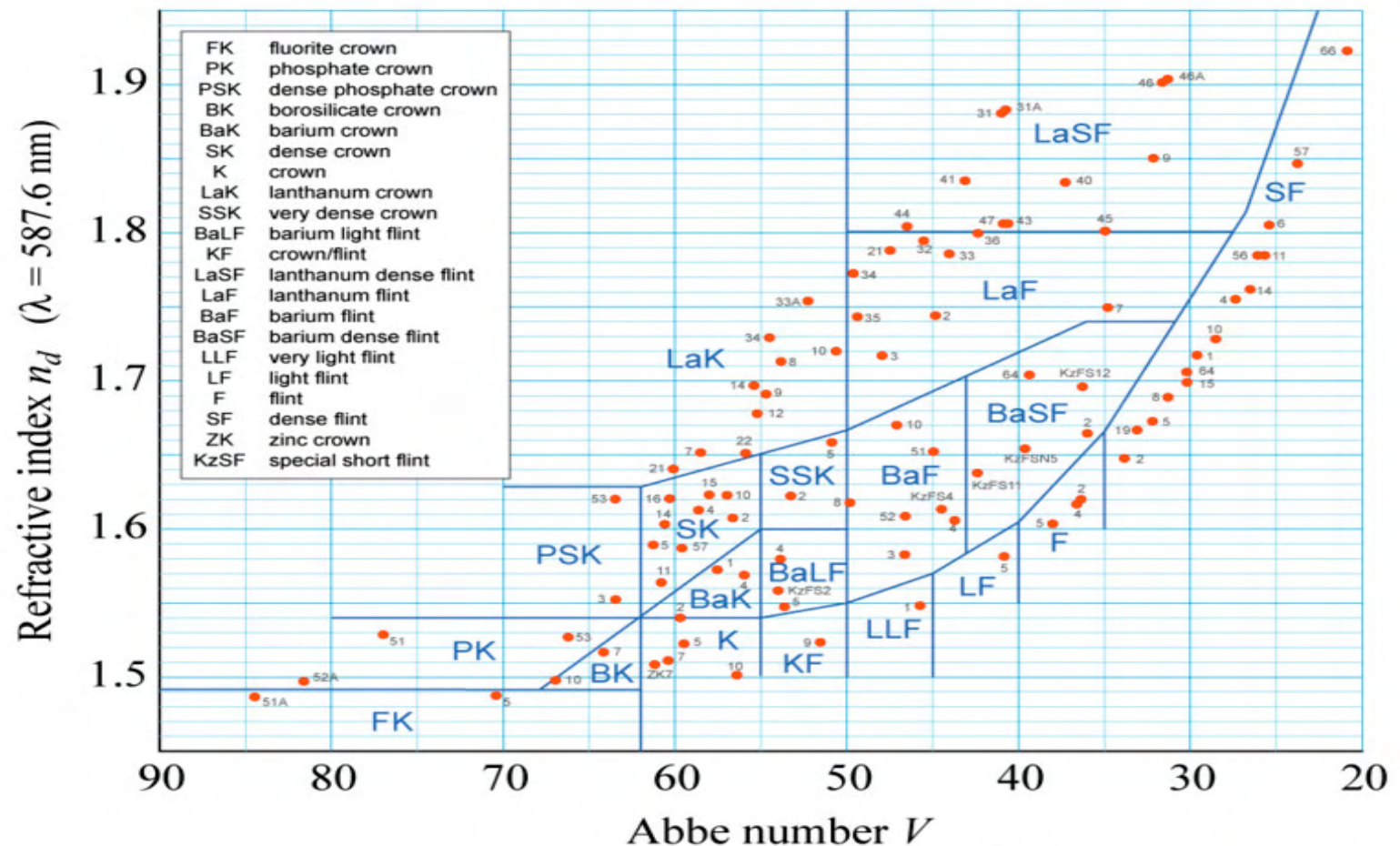
- Chromatisme axial : le plan de meilleure mise au point varie selon la couleur
- Chromatisme de grandeur (encore appelé chromatisme latéral) est assimilable à une variation de la focale (donc de la dimension de l 'image) avec la couleur.



Les aberrations

- **Les aberrations chromatiques :**

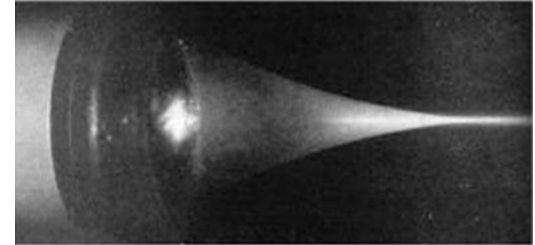
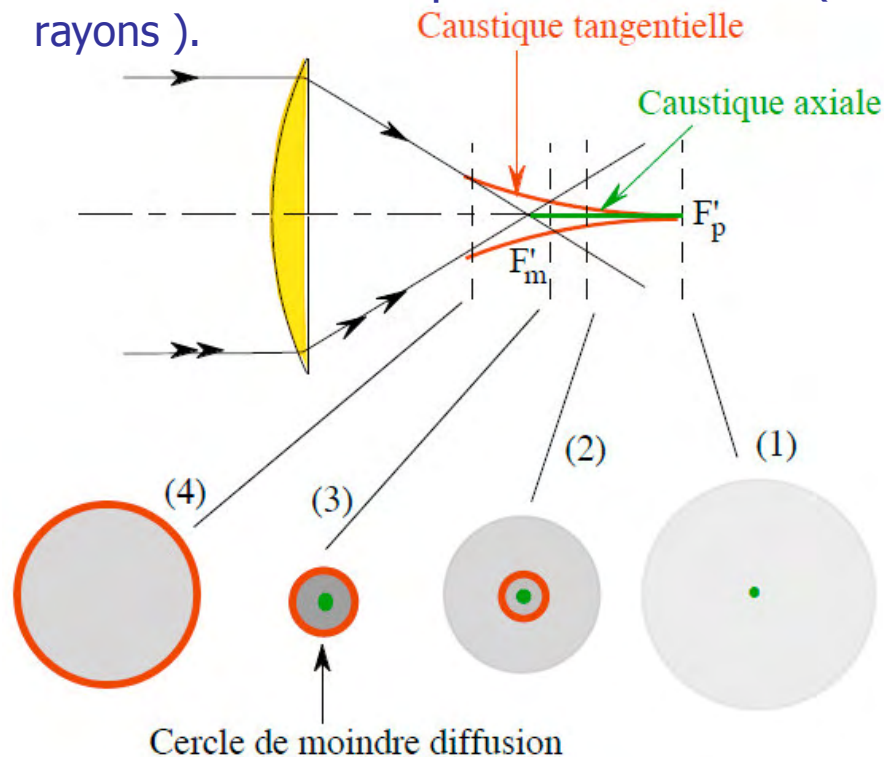
- Il est possible de les réduire en associant des lentilles convergentes et divergentes de verres différents



Les aberrations optiques

- **Les aberrations géométriques :**

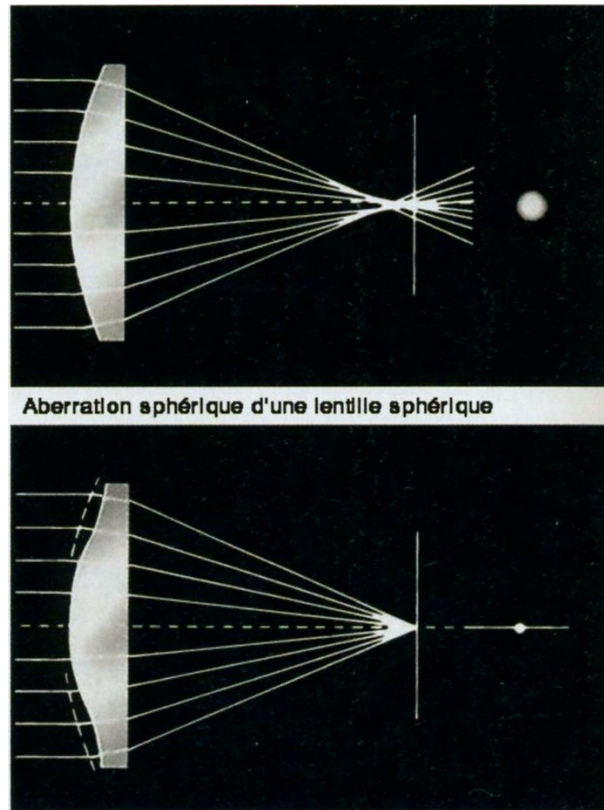
- Aberration sphérique : Elle est due au fait que les rayons convergent de façon différente selon leur hauteur sur la pupille,
- Elle est présente sur l'axe et dans le champ, elle varie beaucoup avec l'ouverture (aussi appelée aberration d'ouverture),
- Création de caustiques d'aberration (forme enveloppe de tous les rayons).



Les aberrations optiques

- **Les aberrations géométriques :**

- Aberration sphérique : Possibilité de réduire cette aberration en introduisant des surfaces asphériques.

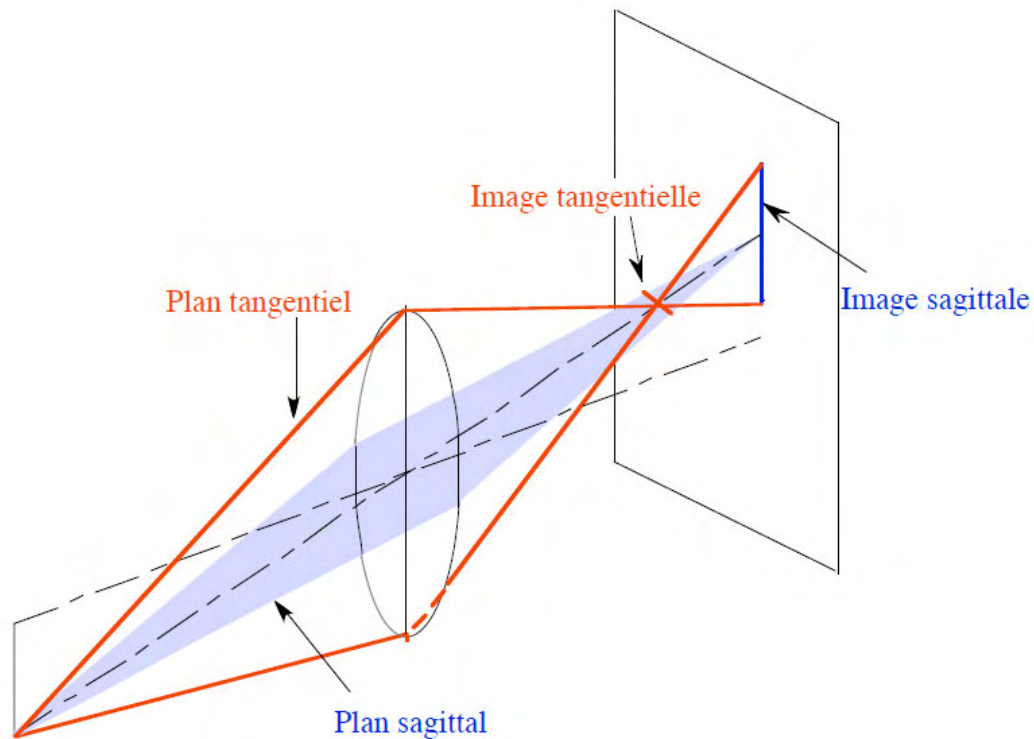


Une lentille en verre dont la surface est une portion de sphère fait converger les rayons situés loin de l'axe en avant de la surface sensible. Une lentille asphérique corrige ce problème.

Les aberrations optiques

- **Les aberrations géométriques :**

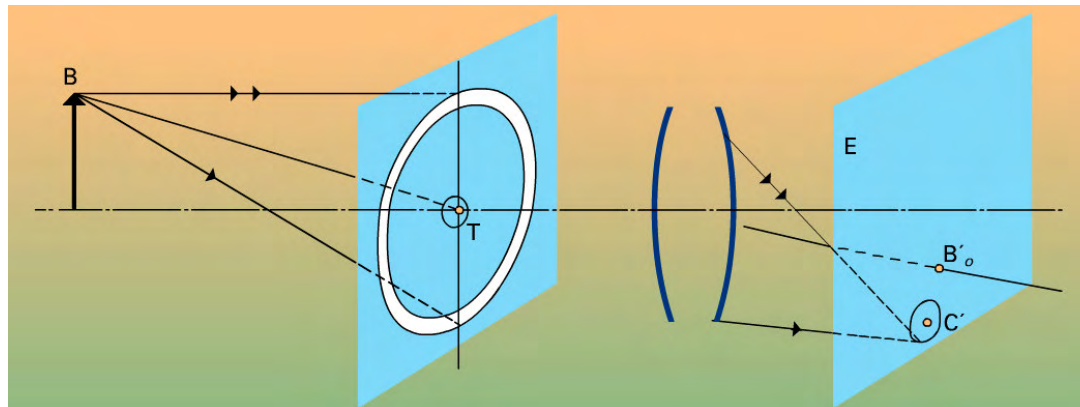
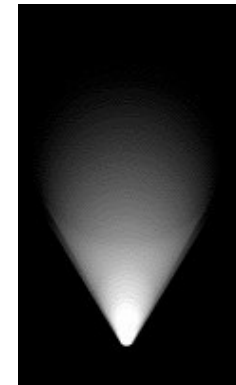
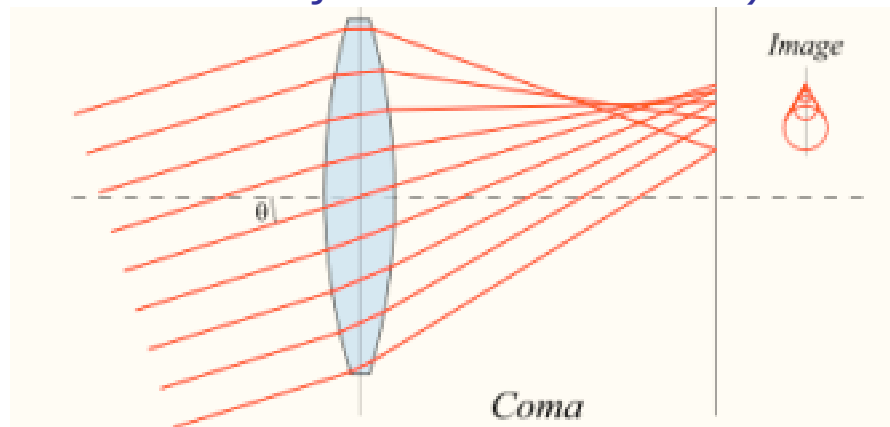
- L'astigmatisme : Aberration courante en ophtalmologie, elle se manifeste par un plan de focalisation des rayons différent selon l'orientation de l'image,
- C'est une aberration qui n'apparaît que dans le champ (sauf si l'objectif est mal construit).



Les aberrations optiques

- **Les aberrations géométriques :**

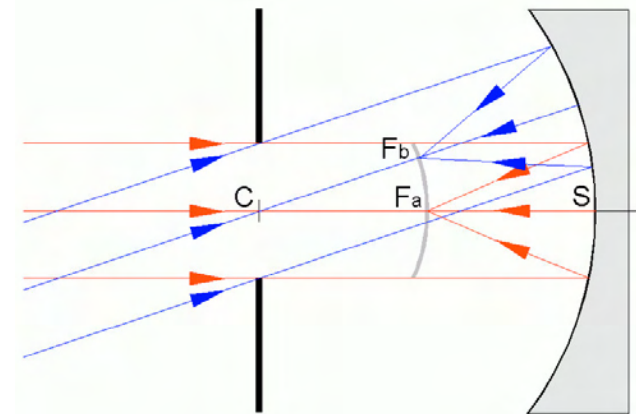
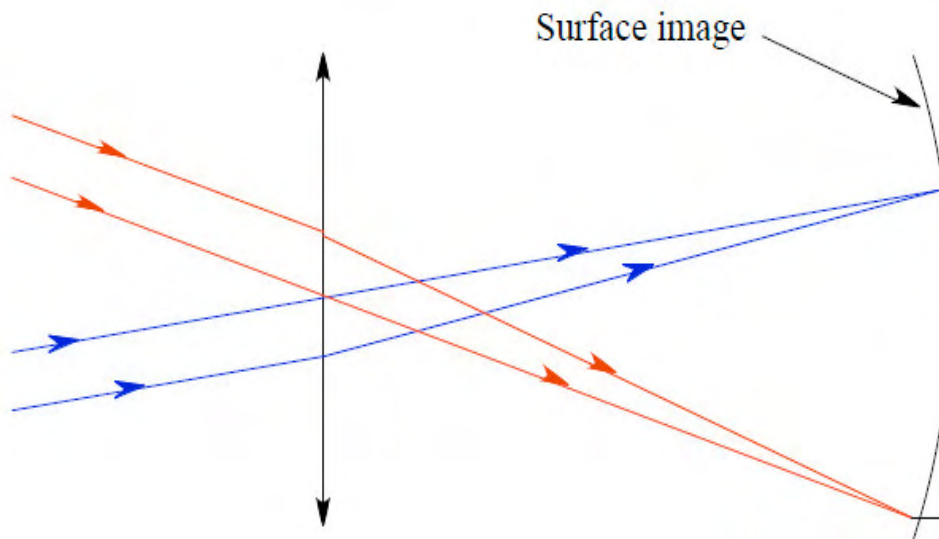
- La coma : elle se manifeste en donnant une image d'un point source en forme de "comète",
- C'est une aberration qui n'apparaît que dans le champ (sauf si l'objectif est mal construit).



Les aberrations optiques

- **Les aberrations géométriques :**

- La courbure de champ : l'image ne se forme pas sur une surface plane mais sur une surface courbe. Si la mise au point est réglée sur l'axe, alors les points en bord de champ sont défocalisés si le capteur (ou le film) est plan.

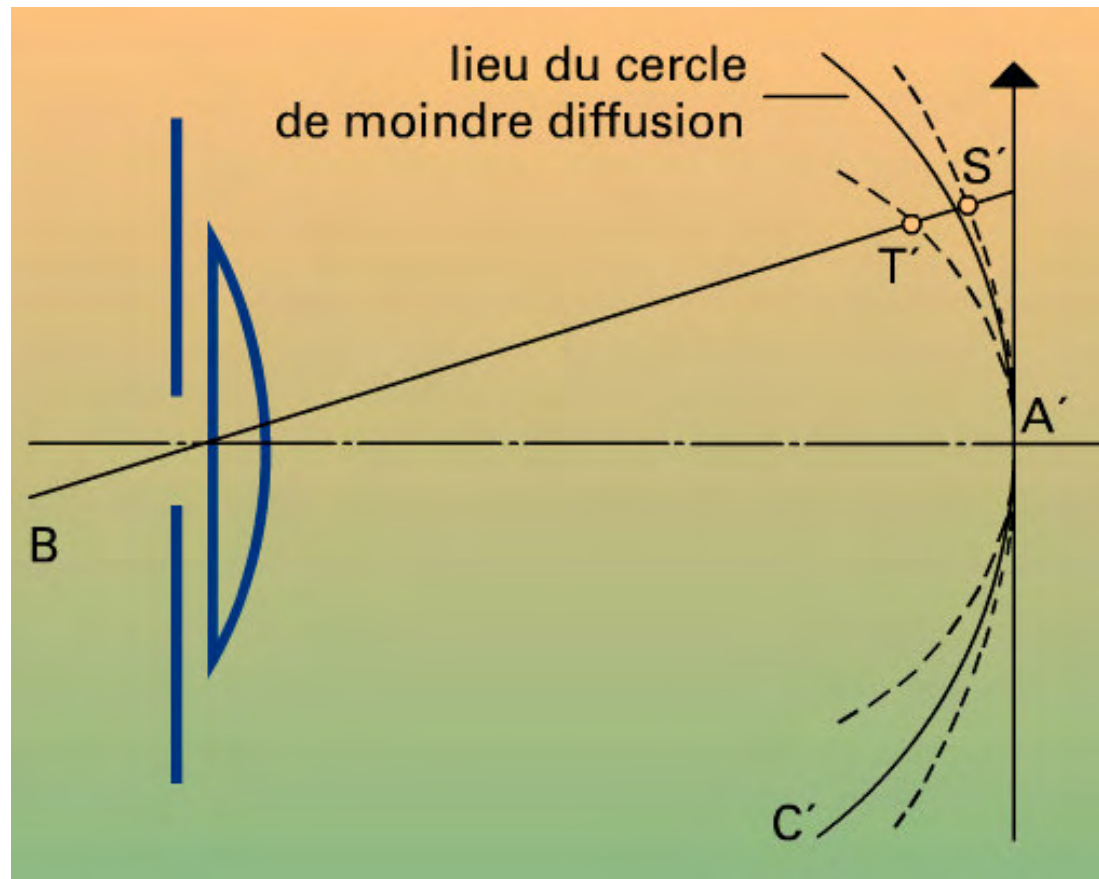


Exemple simple du miroir sphérique

Les aberrations optiques

- **Les aberrations géométriques :**

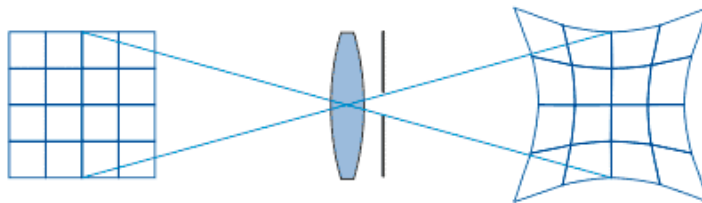
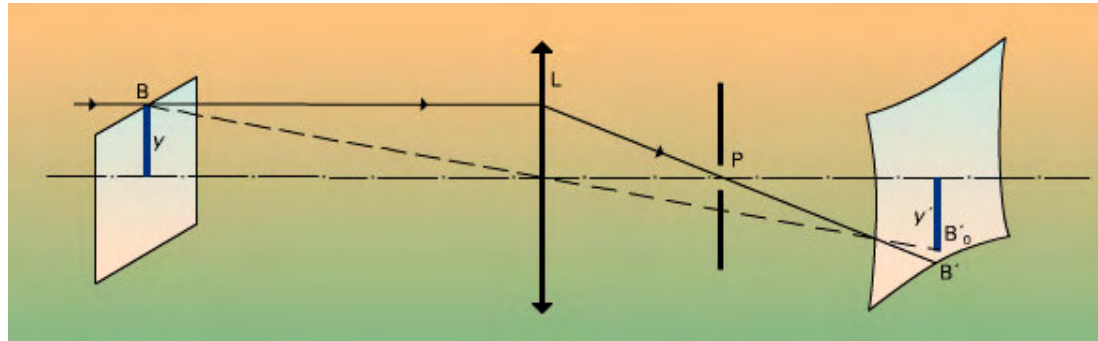
- La courbure de champ et astigmatisme :



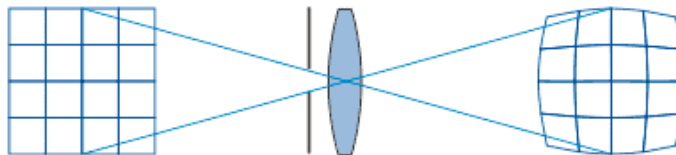
Les aberrations optiques

- **Les autres "aberrations" :**

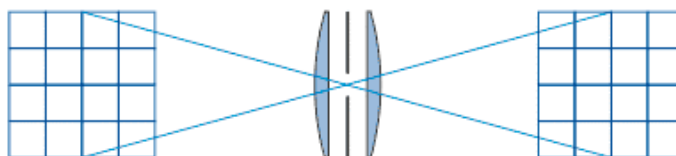
- La distorsion d'image :



Distorsion en " Coussinet "



Distorsion en " Barillet "



Les aberrations optiques

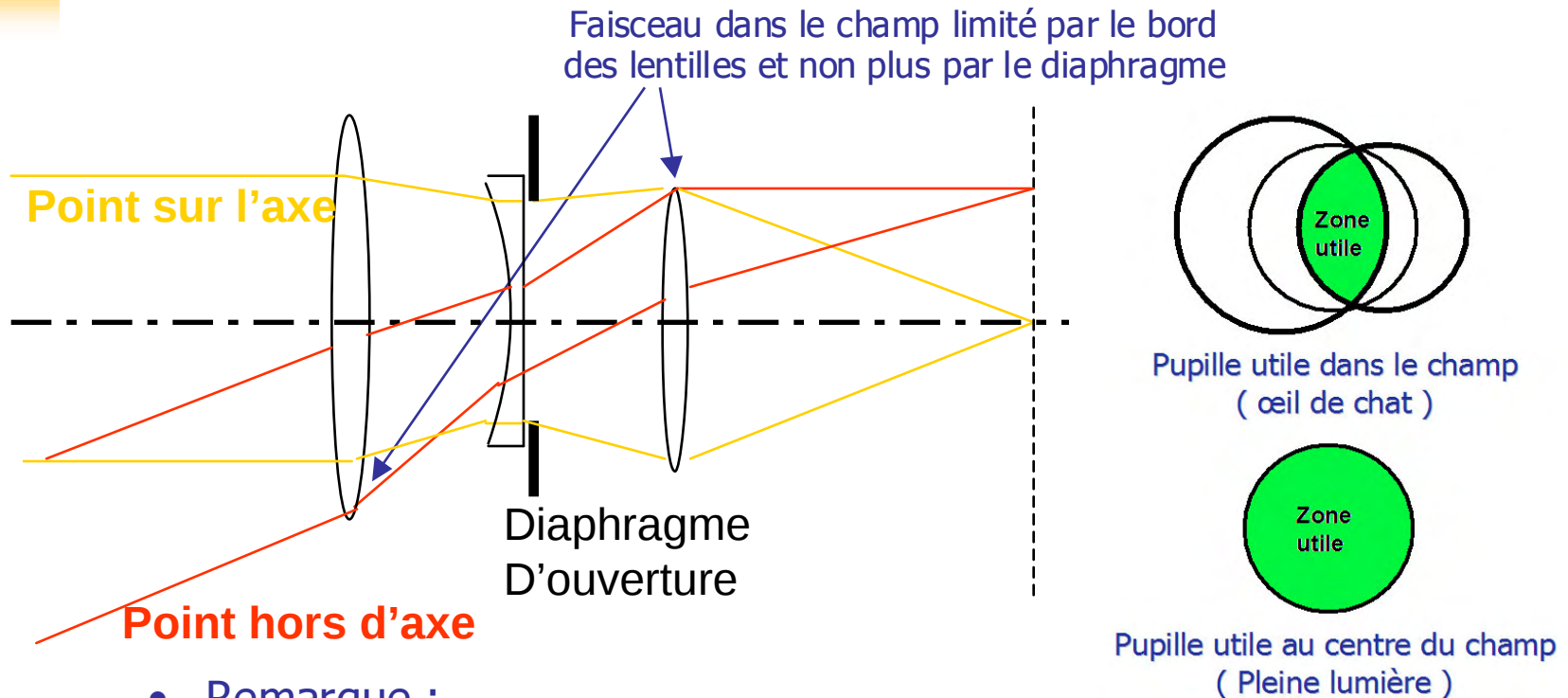
- **Les autres "aberrations" :**

- Le vignettage :
 - Il se traduit par un assombrissement des angles de l'image
 - Exemple ci-dessous



Les aberrations optiques

- **Le vignettage - Explications :**



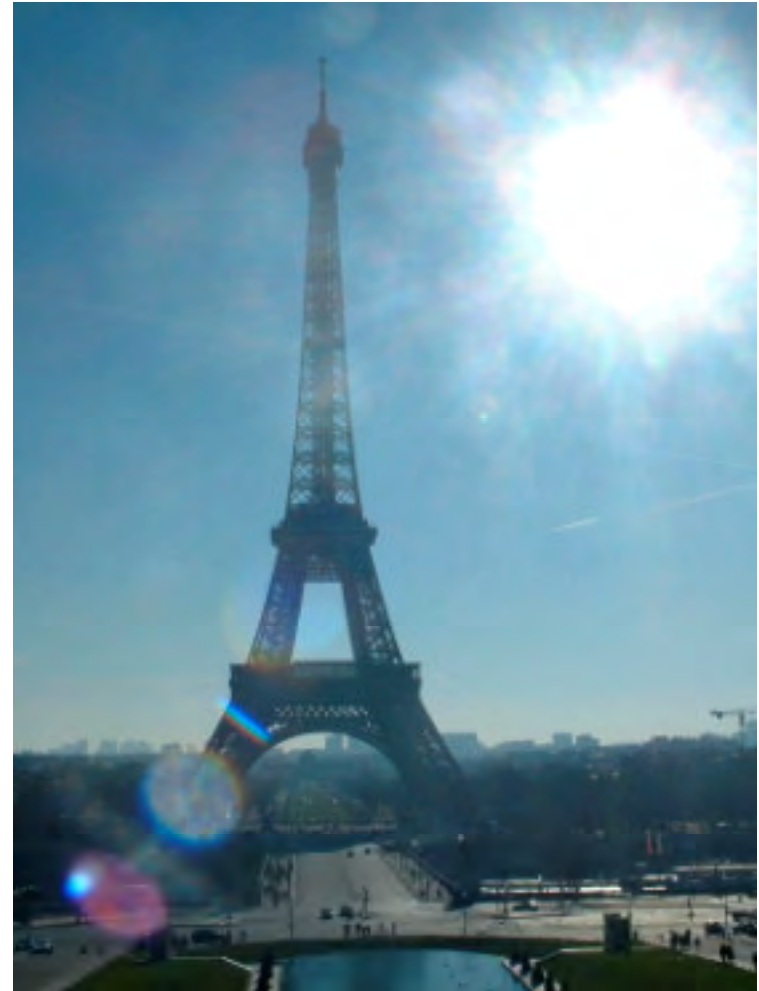
- Remarque :

- Les concepteurs utilisent parfois le vignettage pour " couper " les rayons de champ fortement aberrants, au détriment de l 'uniformité d 'éclairage
- Pour limiter le vignettage, il faut travailler à ouverture réduite

Les Performances d 'une optique

- **Transmission d 'un objectif :**

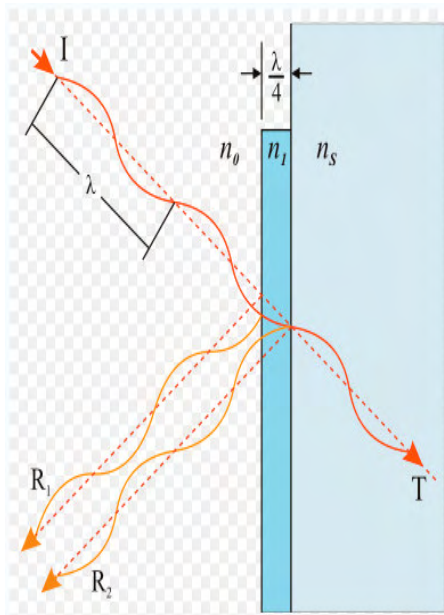
- Réflexion sur un dioptre :
 $R = 4\%$ pour les verres
($n_1=1$ et $n_2=1,5$)
- 2 conséquences de cette réflexion :
 - Perte de transmission (8 %
par lentilles, sans considérer
l 'absorption de la lumière par
les verres)
 - Réflexions internes, entre
dioptre provoquant une perte
de contraste de l 'image et des
halos de lumière parasite.
- Nécessité d 'appliquer des
traitements de surface sur les
lentilles pour minimiser ces
pertes par réflexion.



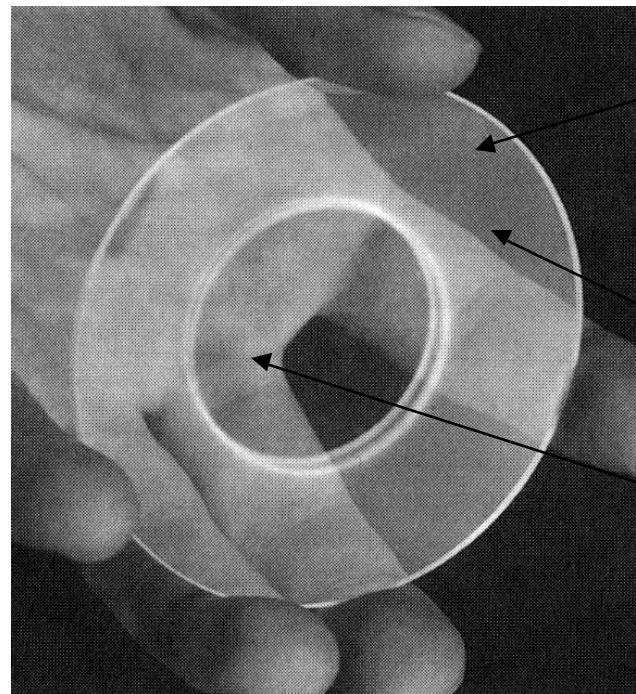
Les Performances d'une optique

• Traitements antireflet :

- Par dépôts de couches minces multi-diélectriques sur les dioptries
- Difficultés :
 - Efficacité
 - Large bande spectrale et uniformité spectrale
 - Prise en compte de la variation d'incidence



Principe



Disque de verre

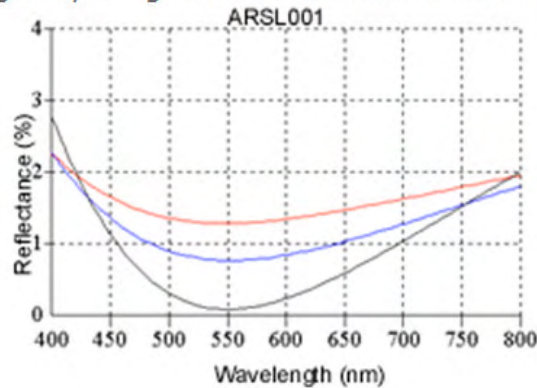
Couronne externe
non traitée AR

Partie centrale
traitée AR

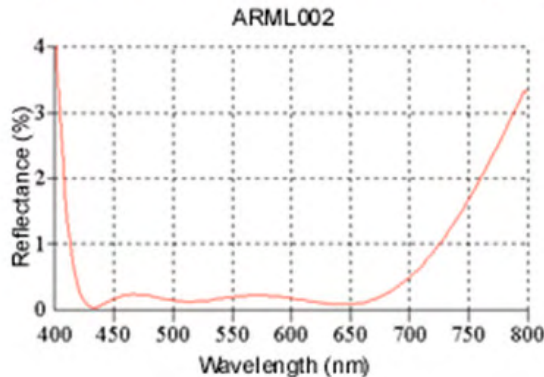
Les Performances d'une optique

- **Traitements antireflet** : Exemples de courbes de réflexion spectrale

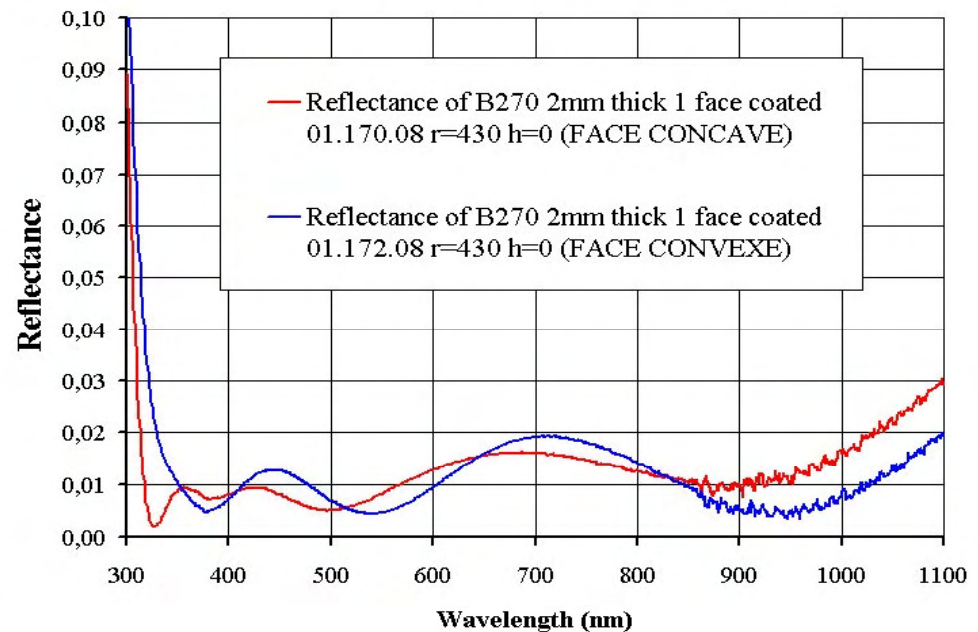
Single layer MgF2 on various index substrates



Multilayer ultra-low reflection on SF6 (n=1.8)



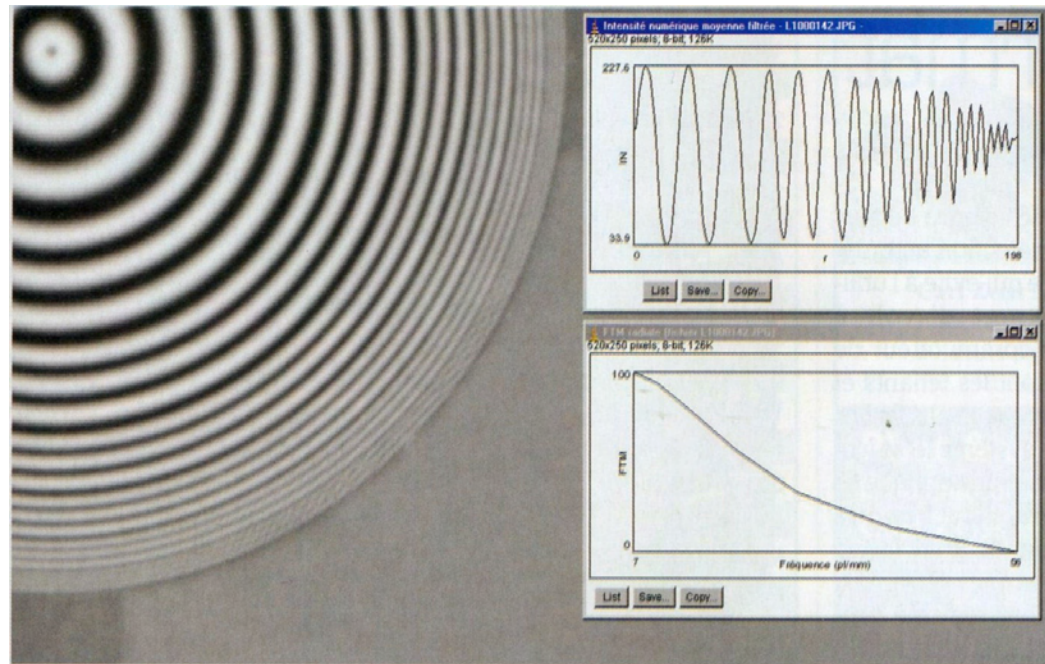
SAGEM : CFHT-WFC AR coating on L1



Les Performances d 'une optique

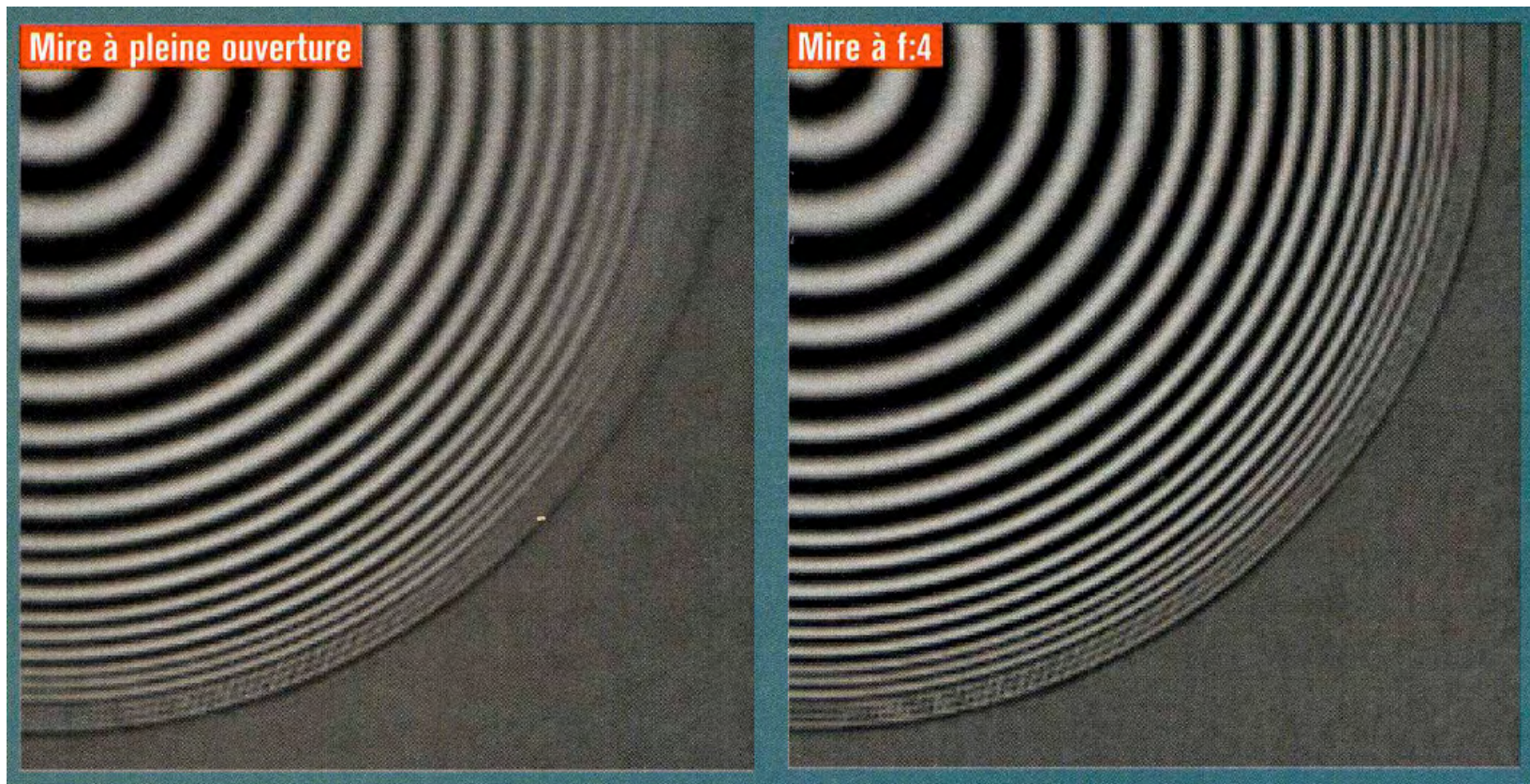
- **La qualité d 'un objectif est caractérisée par la Fonction de Transfert de Modulation (FTM)**
 - C 'est l 'aptitude de l 'objectif à restituer de fins détails dans l 'image, encore appelé " piqué ".
 - La courbe de FTM donne le taux de modulation, ou contraste, en fonction de fréquences spatiales (plus elles sont élevées, plus cela correspond à des détails de l 'image).

Exemple de mire et de courbe de FTM



Les Performances d'une optique

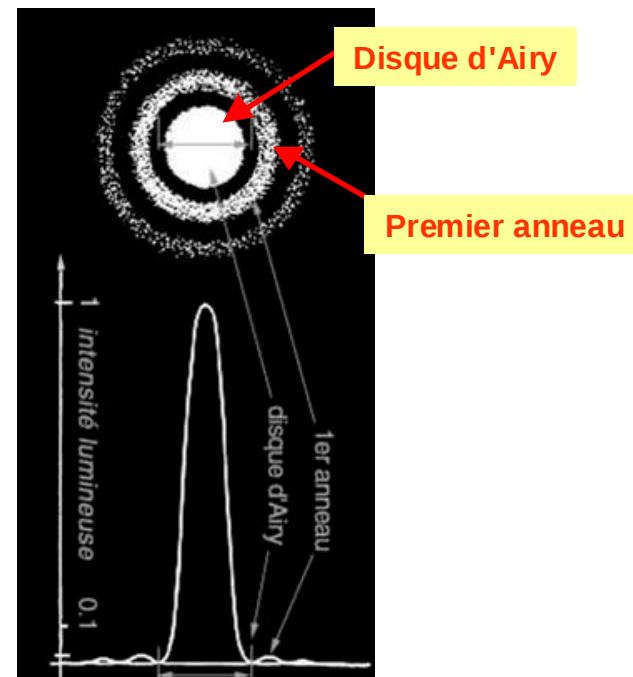
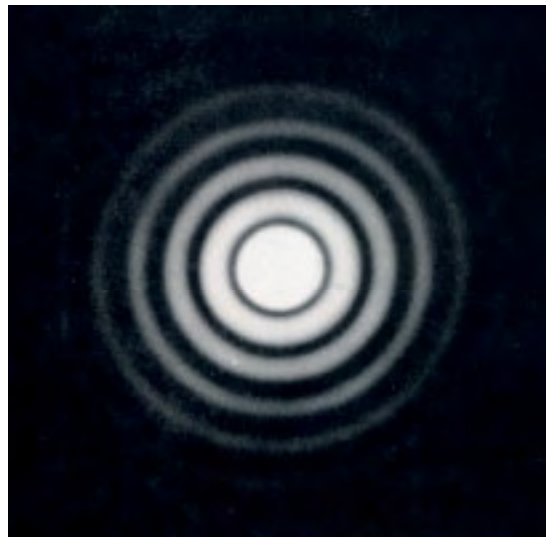
- La FTM dépend des aberrations de l'optique, donc de l'ouverture et du champ.



Les Performances d'une optique

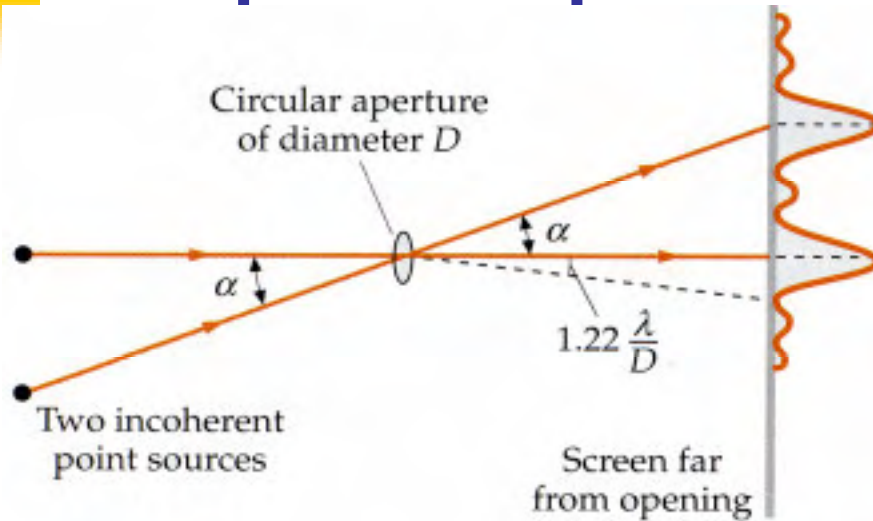
- **La diffraction :**

- L'image d'un point ponctuel sera une figure d'Airy. Ce phénomène est présent même si l'optique est sans défaut, c'est une limite physique !
- Le diamètre de la tache d'Airy est inversement proportionnel au diamètre de la pupille de l'optique (et proportionnel à la longueur d'onde).

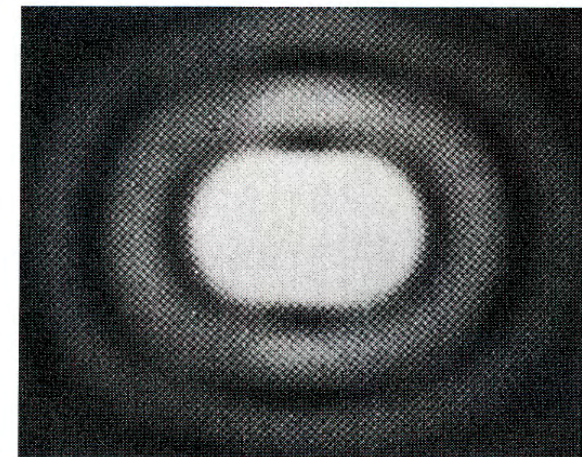
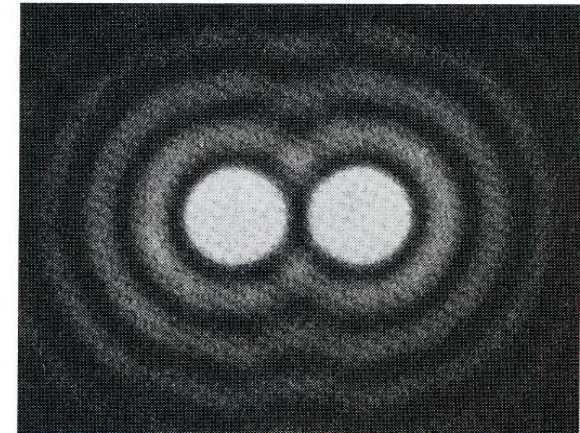


Les Performances d'une optique

- Le pouvoir séparateur d'une optique :



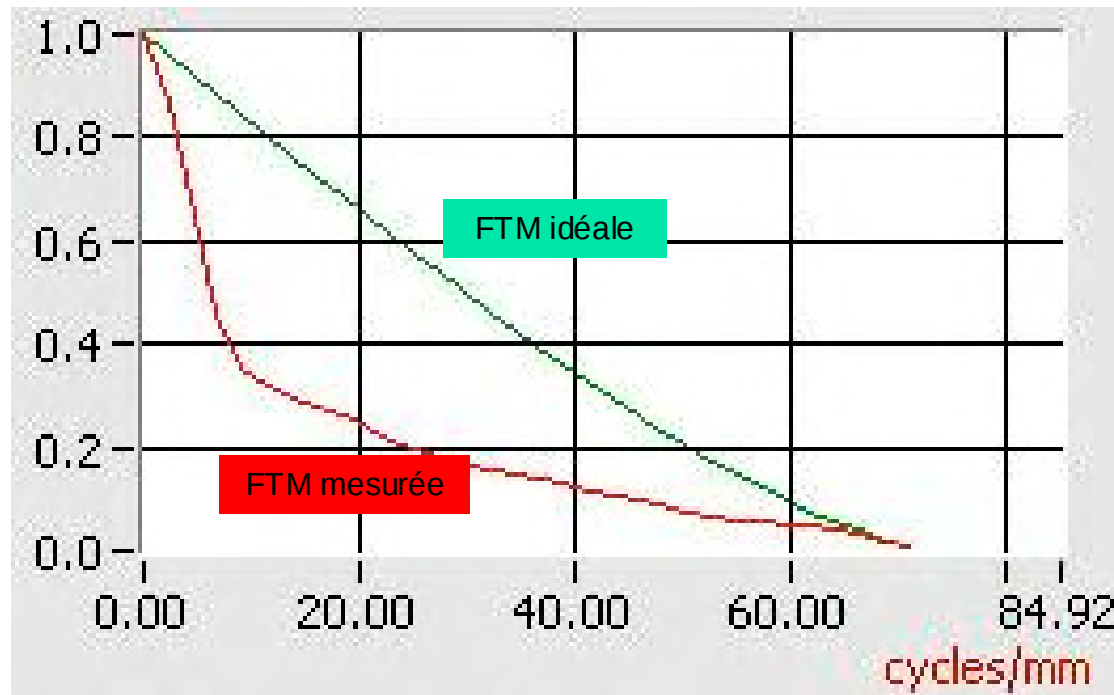
Two distant sources that subtend an angle α . If α is much greater than $1.22\lambda/D$, where λ is the wavelength of light and D is the diameter of the aperture, the diffraction patterns have little overlap and the sources are easily seen as two sources. If α is not much greater than $1.22\lambda/D$, the overlap of the diffraction patterns makes it difficult to distinguish two sources from one.



Les Performances d'une optique

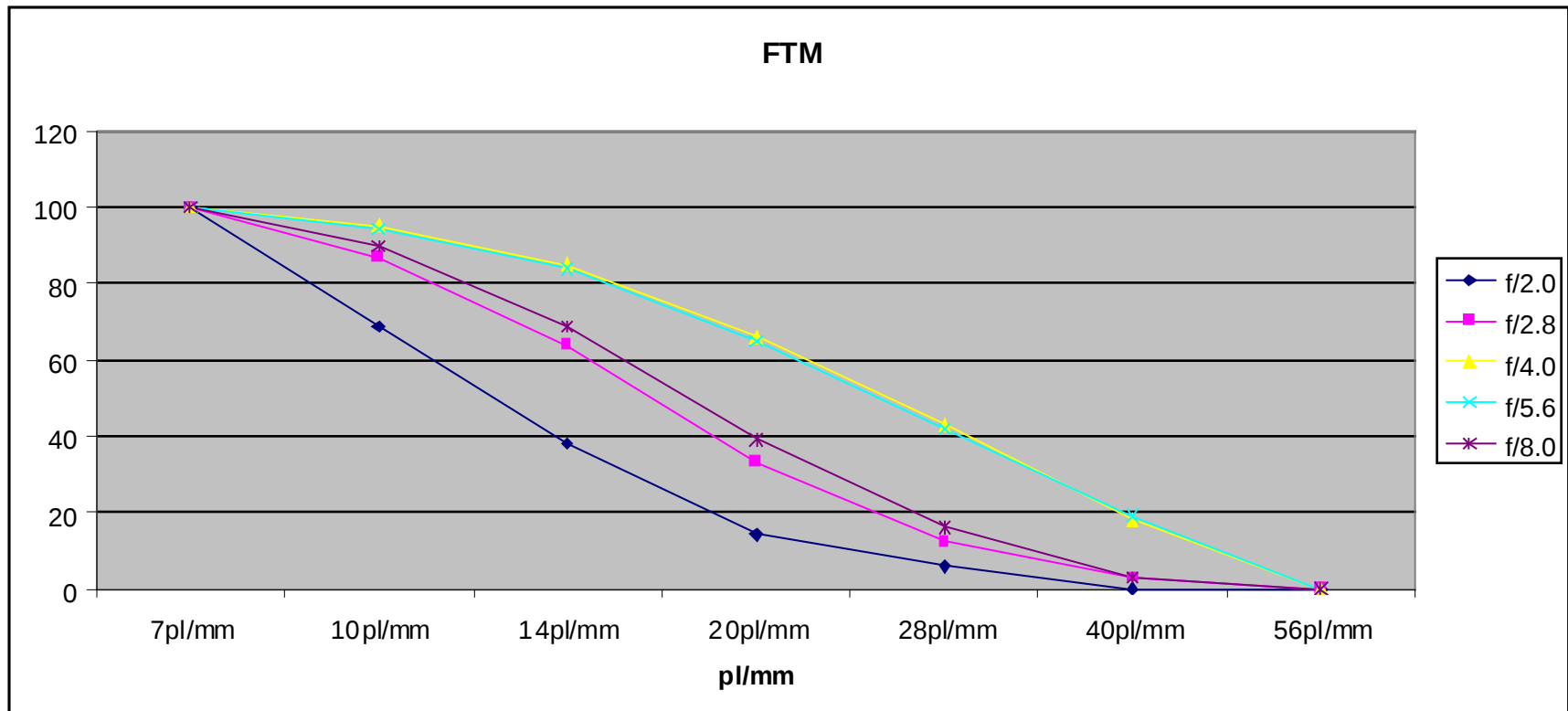
- **La qualité d'un objectif dépend :**

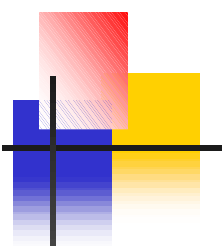
- De la qualité de correction des aberrations (chromatique, coma, astigmatisme, courbure de champ)
 - Plus l'ouverture numérique est faible, moins les aberrations seront présentes
- De la diffraction, limite ultime de la qualité d'une optique
 - Plus l'ouverture numérique est faible (Plus le nombre d'ouverture est grand), plus la diffraction est importante.



Les Performances d'une optique

- **Courbes de FTM à différentes ouvertures d'un objectif réel :**





Comment sont conçus les objectifs

- Avant les objectifs, ils étaient calculés à la main et avec la table de logarithme ...
- Maintenant ils sont calculés à l'aide de puissants logiciels de simulation, ce qui permet d'explorer de très nombreuses combinaisons et de créer des objectifs beaucoup plus performants, en un temps raisonnable !
- Une formule optique reste néanmoins un compromis entre tous les paramètres qui la caractérisent :
 - Nombre de lentilles, poids, volume
 - Caractéristiques : focale fixe ou zoom, ouverture, champ ...
 - Performances : qualité image, transmission ...
 - Fabricabilité
 - Coût de revient
 - ...