

# Introduction aux aberrations optiques

# Aberrations

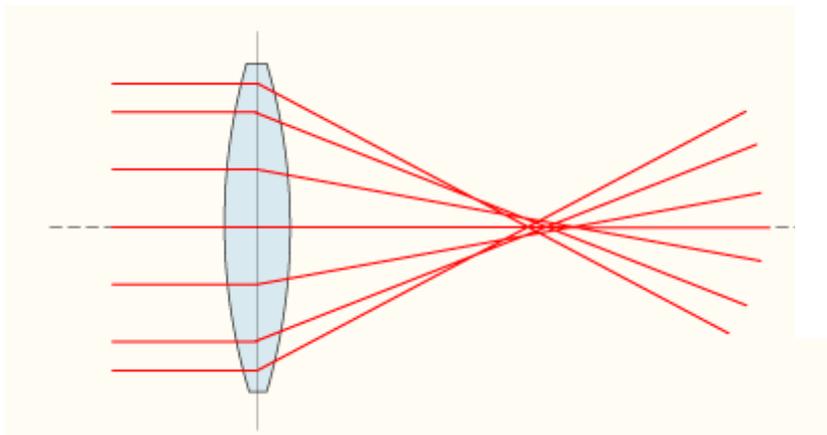
Les aberrations sont les défauts d'un système optique simple qui font que l'image d'un point ou d'un objet étendu obtenu par l'intermédiaire de ce système optique est de mauvaise qualité.

Les aberrations rencontrées sont de deux types:

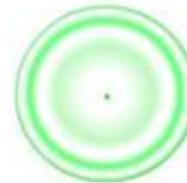
1. Aberrations d'ordre **géométrique**. Ces aberrations apparaissent en lumière **monochromatique**.
2. Aberrations d'ordre physique
  - Ce type d'aberration est lié au caractère ondulatoire de la lumière et à sa dispersion qui provient de la variation de l'indice avec la longueur d'onde: c'est **l'aberration chromatique**.
  - Un autre effet, également lié au caractère ondulatoire de la lumière, intervient: c'est la **diffraction** qui d'un objet ponctuel ne permet d'obtenir qu'une tache entourée d'anneaux.

# Principales aberrations géométriques

Un objet ponctuel situé ou au voisinage immédiat de l'axe optique d'un système envoie un faisceau lumineux ouvert sur ce système optique et comme les dioptries sphériques présents en général dans ce système ne sont **pas stigmatiques**, le faisceau émergent ne passera pas par un seul point mais formera une **caustique**: c'est **l'aberration de sphéricité**.



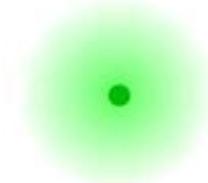
Foyer marginal



Meilleur foyer (au sens de la moindre diffusion)



Foyer paraxial



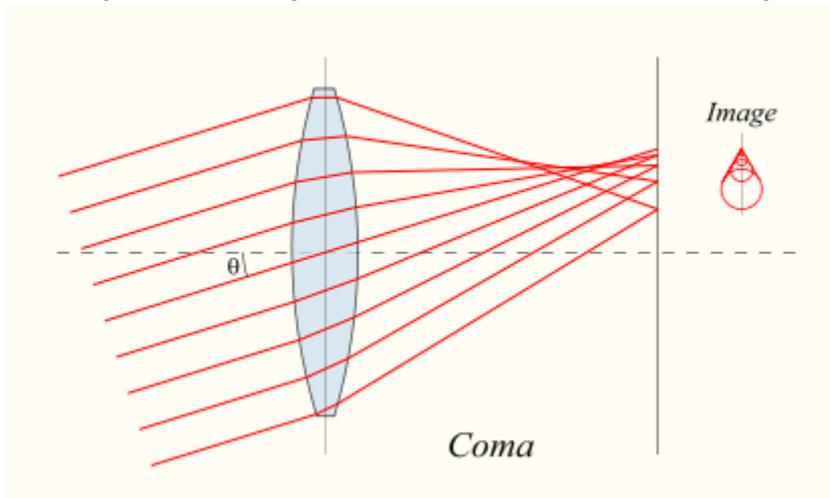
Le foyer marginal : c'est celui correspondant à l'intersection des rayons marginaux (i.e. ceux qui passent par les bords de la pupille du système optique).

Ces aberrations sont bien illustrées avec des animations sur le site:

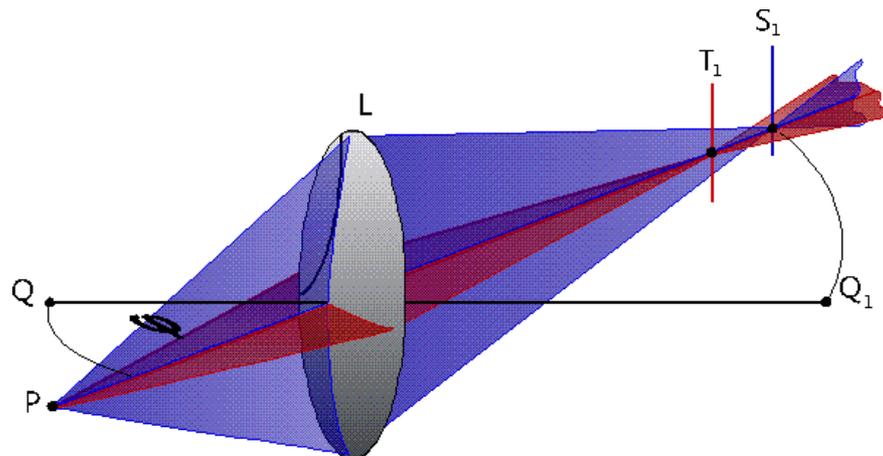
<http://h10.etud.u-psud.fr/pcsm/physique/optigeo/index.htm>

L'**aberration de coma** désigne une aberration qui dépend du champ d'une part et de l'ouverture d'autre part (i.e. de la distance du point d'impact des rayons sur la pupille par rapport au centre de celle-ci). Cette aberration est dite "de champ" car elle n'existe pas sur l'axe optique. L'effet de cette aberration est de produire une tache en forme d'aigrette dans un plan d'observation : Les rayons parallèles qui ne sont pas dans l'axe optique de la lentille ne convergent pas tous en un même point sur le plan focal.

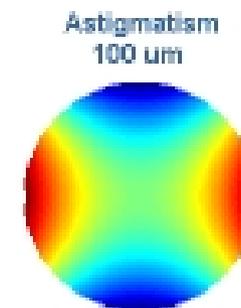
Les rayons qui passent sur les bords de la lentille peuvent être focalisés plus loin ou plus près de l'axe optique que ceux passant au centre de la lentille. On parle respectivement de coma positive et de coma négative.



Si l'objet est étendu un point situé hors de l'axe du système envoie un faisceau lumineux qui présentera après traversée du système deux focales: c'est le défaut d'**astigmatisme**.



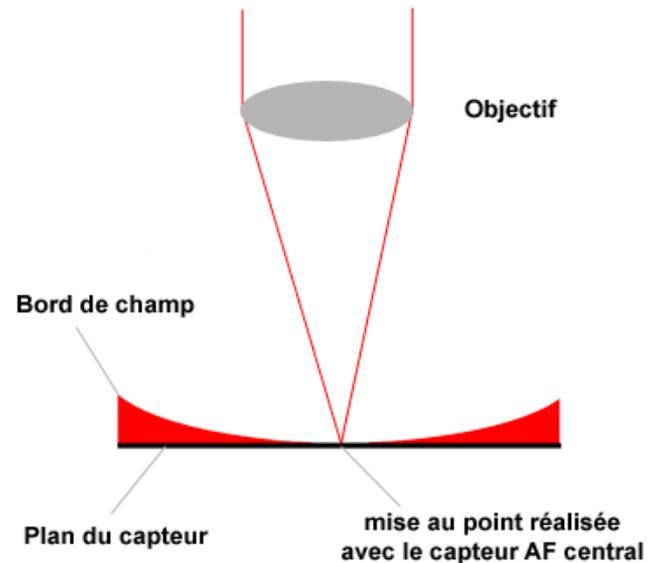
Quelque part entre S et T on aura un **cercle de moindre diffusion**, une «image» floue du point objet P



Correction de l'astigmatisme

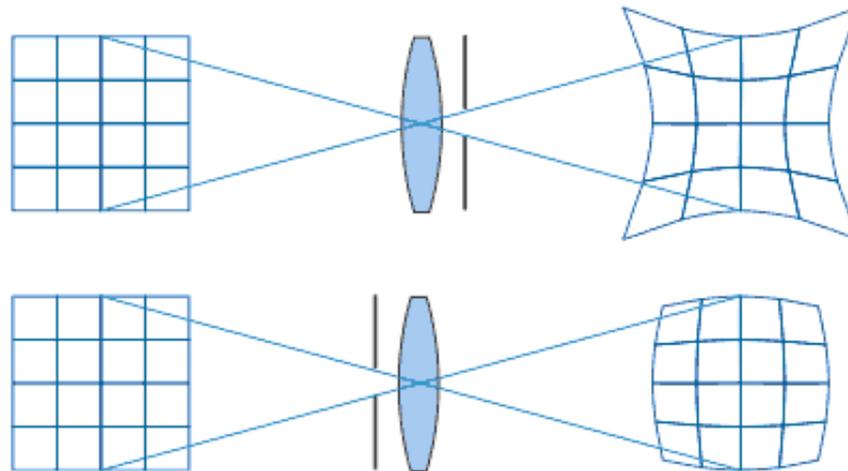
Ces aberrations sont bien illustrées avec des animations sur le site:  
<http://h10.etud.u-psud.fr/pcsm/physique/optigeo/index.htm>

Le plan dans lequel se forme l'image ne peut plus être confondu avec le plan tangent normal à l'axe: c'est le défaut de **courbure de champ**.



Ces aberrations sont bien illustrées avec des animations sur le site:  
<http://h10.etud.u-psud.fr/pcsm/physique/optigeo/index.htm>

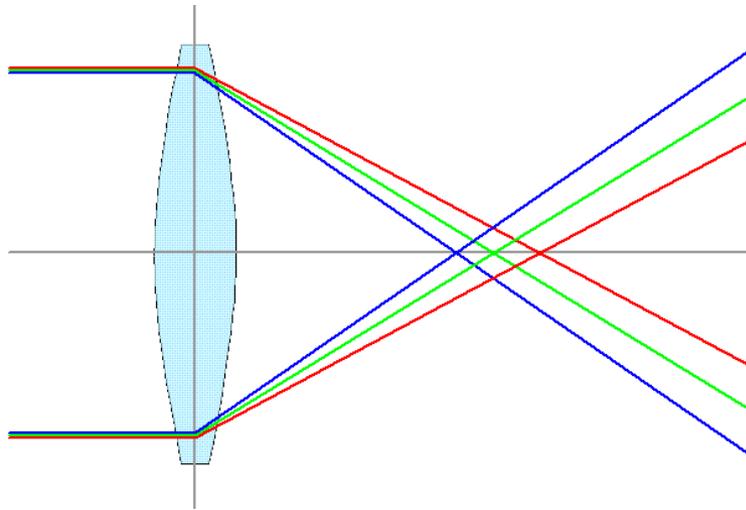
De plus le grandissement n'est pas constant pour deux plans conjugués déterminés, ce qui provoque une **distorsion**.



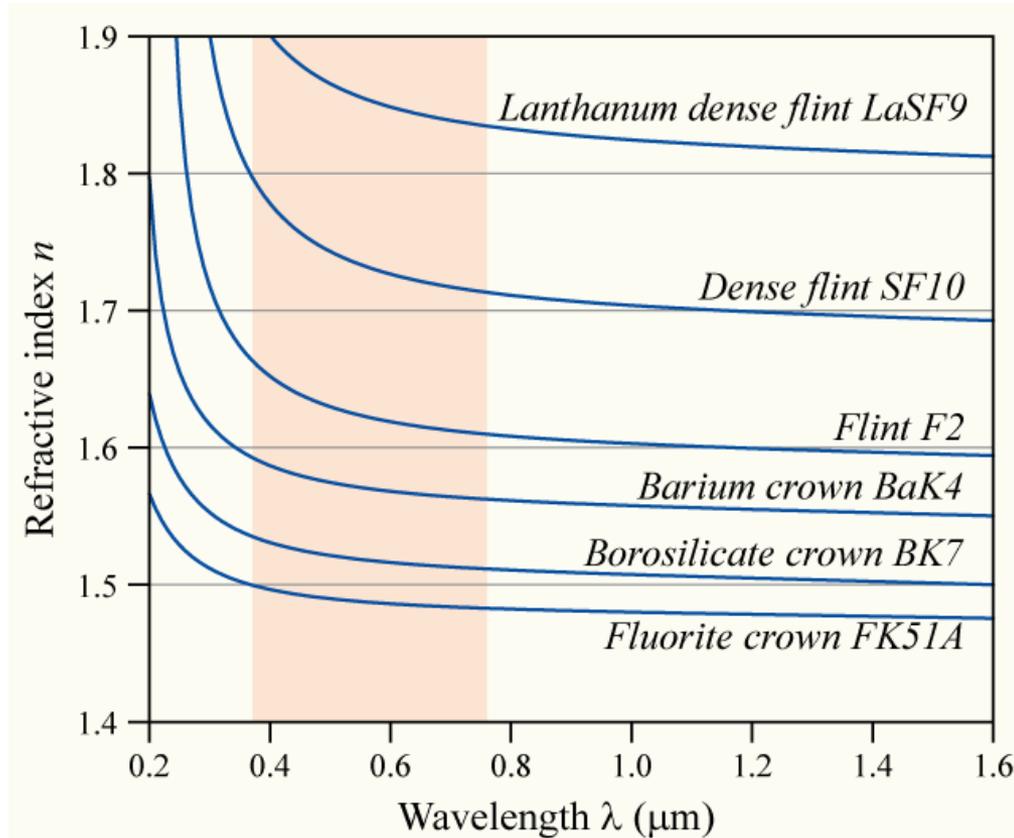
Ces aberrations sont bien illustrées avec des animations sur le site:  
<http://h10.etud.u-psud.fr/pcsm/physique/optigeo/index.htm>

# Aberration chromatique

La cause de cette aberration est la variation de l'indice de réfraction du matériau composant les lentilles en fonction de la longueur d'onde de la lumière qui les traverse. Il en résulte une distance focale variable, de sorte que la mise au point ne peut être effectuée simultanément pour toutes les couleurs du spectre. Si, par exemple, la mise au point est effectuée pour le rouge, le bleu est alors flou: l'image d'un objet blanc présente alors sur ses bords une irisation bleutée.



L'indice de réfraction du verre étant dépendant de la longueur d'onde de la lumière, il s'ensuit que la distance focale dépend elle aussi de la longueur d'onde.



En général l'indice décroît avec la longueur d'onde, donc la focale d'une lentille convergente est légèrement plus longue pour le rouge que pour le bleu. Pour une lentille divergente, c'est le contraire.

# Correction de l'aberration chromatique

L'aberration chromatique est un problème récurrent qui se résout de différentes manières:

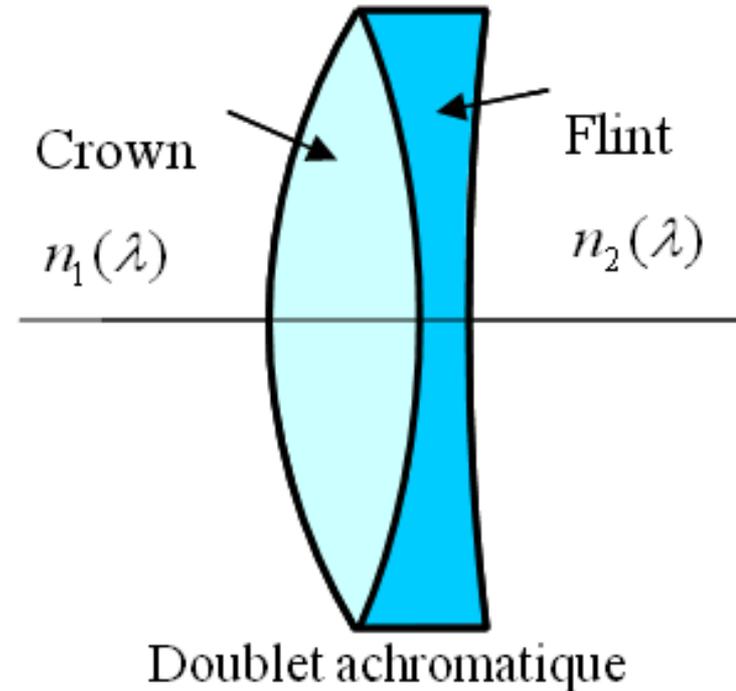
- Ajout d'un filtre laissant passer une bande spectrale étroite.
- Utilisation préférentielle de miroirs dans le système optique, qui ne présentent pas d'aberration chromatique (mais une aberration de sphéricité ou des aberrations de champ);
- Utilisation d'associations de lentilles qui ont des propriétés achromatiques. La correction de l'aberration chromatique, dans les **objectifs apochromatiques**, est obtenue en associant lentilles convergentes et divergentes.

# Doublet accolé

Dans la pratique, on peut corriger en grand partie ce défaut en accolant deux lentilles faites avec des verres différents: c'est ce qu'on appelle un doublet achromatique.

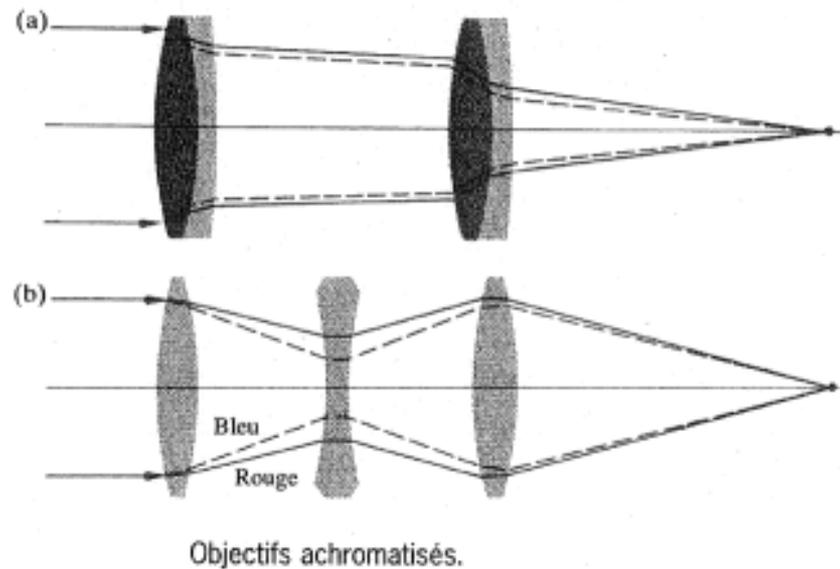
Le verre **crown** contient des oxydes de sodium et de calcium et disperse peu. Des types de verre crown encore moins dispersifs sont disponibles où sont ajoutés des oxydes de baryum ou de lanthane.

Le verre **flint** avec une proportion importante d'oxyde de plomb ainsi que du silicate de potassium. Fort pouvoir dispersif.



# Doublet à lentilles séparées

Il est aussi possible de corriger l'aberration chromatique avec des objectifs à plusieurs lentilles séparées.



En particulier pour un doublet à lentilles (**constituées d'un même verre**) séparées d'une distance  $d$ , on trouve que le doublet devient approximativement achromatique si les focales  $f_1$  et  $f_2$  sont comptés à la même couleur et

$$d = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

# Travail personnel

- Etudier tout le **chapitre 9** du polycopié.
- Exercer les applets indiquées sur la page des supports de cours