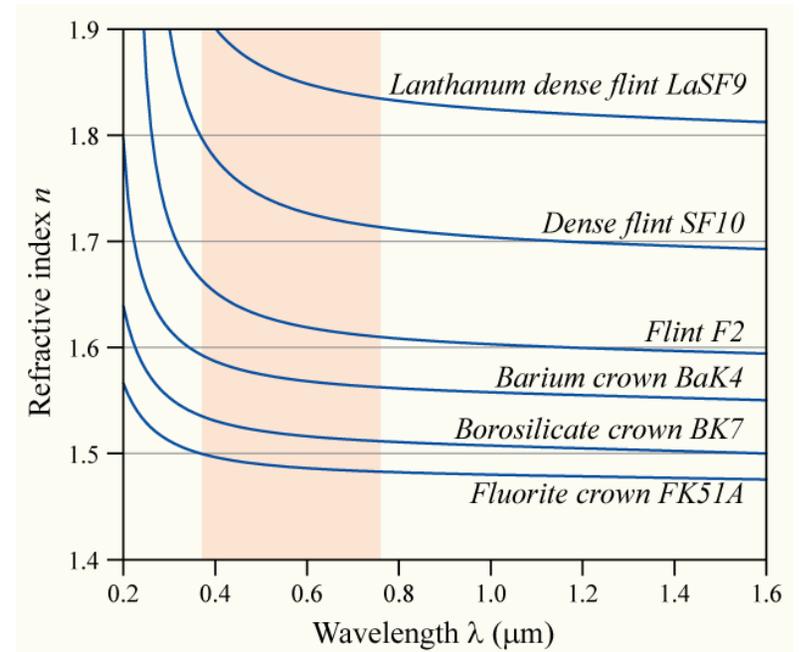


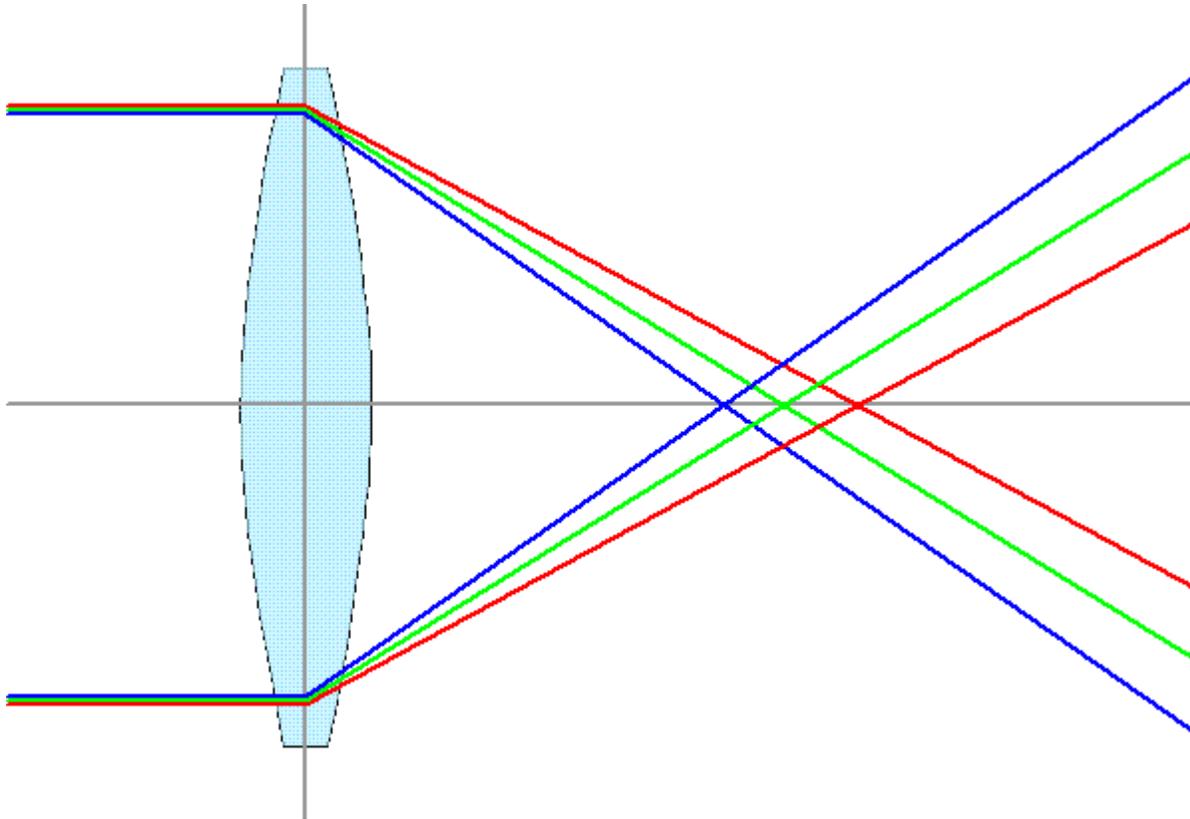
Correction des aberrations chromatiques

Indices de réfraction de divers type de verre



line	λ (nm)	N-FK51	BK7	N-PSK3	F1	SF66
h	404,7	1,49618	1,53024	1,56688	1,65741	2,00775
g	435,8	1,49364	1,52669	1,56302	1,64851	1,98229
F	486,1	1,49056	1,52238	1,55835	1,63827	1,95452
e	546,1	1,48794	1,51872	1,55440	1,63004	1,93325
d	587,6	1,48656	1,51680	1,55232	1,62588	1,92286
C	656,3	1,48480	1,51432	1,54965	1,62074	1,91033
r	706,5	1,48379	1,51289	1,54811	1,61790	1,90361

Aberration chromatique



Cette aberration est fonction du matériau constituant la lentille et ne peut être diminuée en diaphragmant celle-ci.

Dispersion chromatique

Pour définir le pouvoir dispersif d'un verre, on mesure l'indice pour trois radiations caractéristiques :

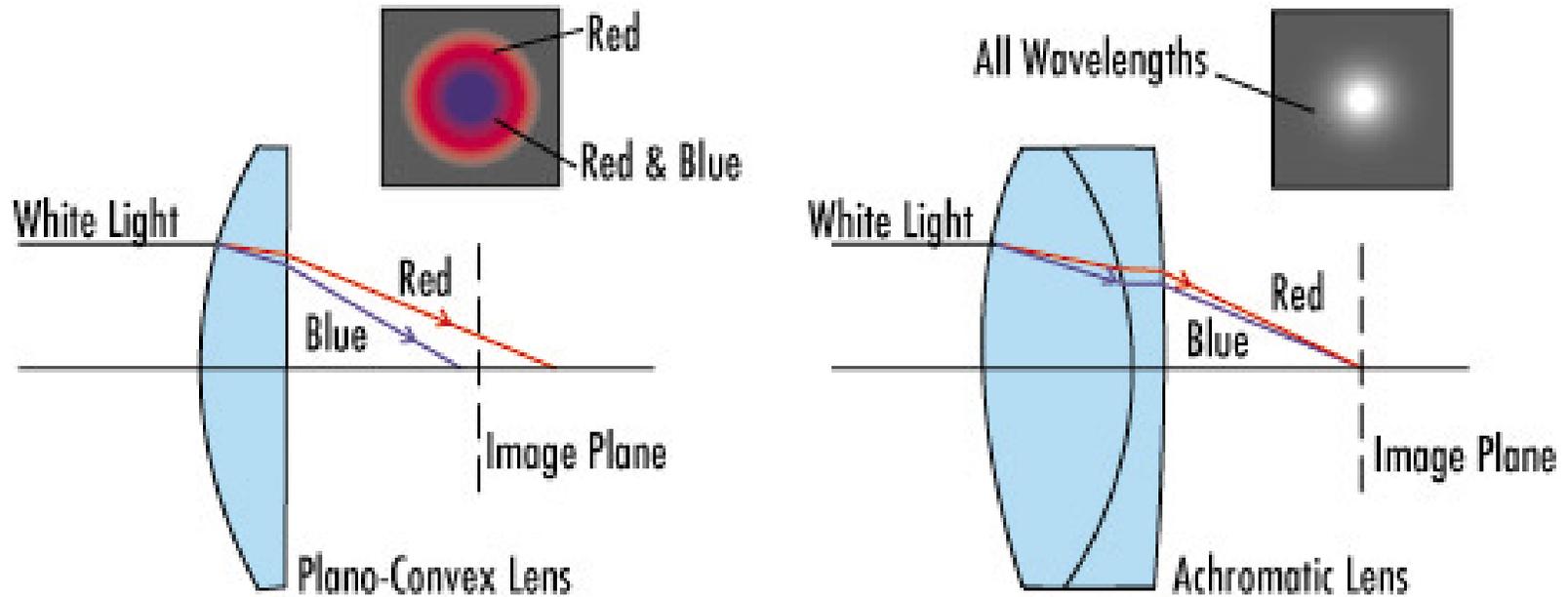
- raie C de l'hydrogène 656,3 nm,
- raie D de l'hélium 587,6 nm,
- raie F de l'hydrogène à 486,1 nm.

On définit le **nombre d'Abbe V** par le rapport:

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Correction des aberrations chromatiques

On peut effectuer une très bonne correction en utilisant deux lentilles (minces) accolées constitués de **deux matériaux différents**.



Principe d'un doublet accolé achromatique

Rappels: focale de lentilles en contact

L'association de deux lentilles **en contact** a une focale effective f :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

La distance focale d'une lentille mince d'indice n et dont les faces ont pour rayons R_1 et R_2 est donnée par la relation

$$D = \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

La vergence peut donc être prise comme

$$D = \rho \cdot (n - 1)$$

où ρ est une constante dépendante de la géométrie de la lentille.

Comme l'indice est fonction (non linéaire) de la longueur d'onde, la vergence D varie avec la couleur de la lumière.

Correction des aberrations chromatiques

On peut effectuer une très bonne correction en utilisant deux lentilles minces accolées.

La vergence de l'ensemble est:

$$D = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = D_1 + D_2 = \rho_1(n_1 - 1) + \rho_2(n_2 - 1)$$

La variation de vergence pour les raies F et C est donc

$$\Delta D_{F-C} = \rho_1 \cdot (n_{1F} - n_{1C}) + \rho_2 \cdot (n_{2F} - n_{2C})$$

De plus les vergences moyennes (raie D) sont :

$$D_{1D} = \rho_1 \cdot (n_{1D} - 1)$$

$$D_{2D} = \rho_2 \cdot (n_{2D} - 1)$$

on a donc

$$\rho_1 = D_{1D} / (n_{1D} - 1)$$
$$\rho_2 = D_{2D} / (n_{2D} - 1)$$

et ensuite

$$\Delta D_{F-C} = D_{1D} / (n_{1D} - 1) \cdot (n_{1F} - n_{1C}) + D_{2D} / (n_{2D} - 1) \cdot (n_{2F} - n_{2C})$$

et en introduisant les nombres de Abbe [ex. $V_1 = (n_{1D} - 1) / (n_{1F} - n_{1C})$], on obtient:

$$\Delta D_{F-C} = D_{1D} / V_1 + D_{2D} / V_2$$

Les distances focales pour les raies C et F seront donc identiques si

$$D_{1D} / V_1 + D_{2D} / V_2 = 0$$

Correction des aberrations chromatiques

Les distances focales pour les raies C et F seront identiques si

$$D_{1D} / V_1 + D_{2D} / V_2 = 0$$

Par ailleurs on a aussi

$$D_D = D_{1D} + D_{2D}$$

La solution du système d'équations donne:

$$D_{1D} = D_D V_1 / (V_1 - V_2)$$

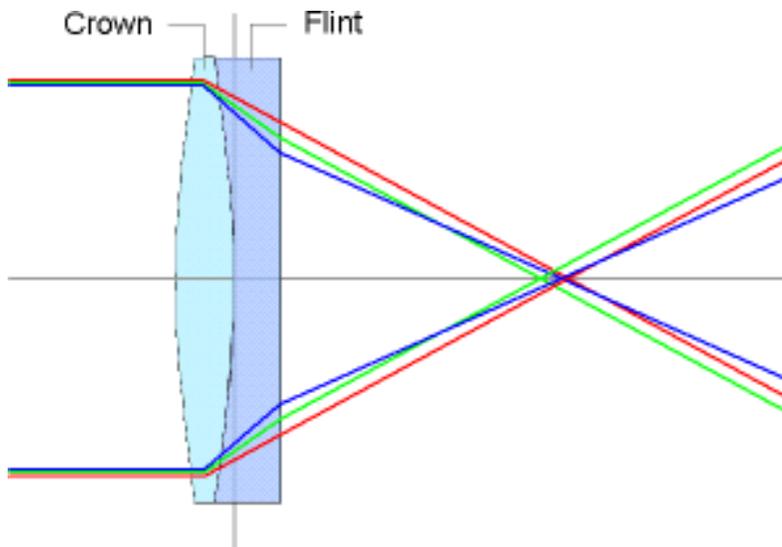
$$D_{2D} = - D_D V_2 / (V_1 - V_2)$$

On trouve que les deux lentilles

1. doivent être faites avec des verres différents pour que V_1 soit $\neq V_2$,
2. être de natures différentes (convergente et divergente)

Chromatisme résiduel

Dans l'analyse précédente, seuls les rayons *C* et *F* étaient focalisés au même point, et la raie *d* a été introduite pour établir la focale du doublet. Il n'est pas possible pour *toutes* les longueurs d'onde traversant un achromat d'être focalisées au même point. Le chromatisme résiduel est appelé *spectre secondaire*. Éliminer le spectre secondaire peut s'avérer particulièrement pénible si l'on impose l'utilisation de verres courants. La combinaison de la fluorine (CaF_2) et d'un verre approprié permet d'achromatiser un doublet pour trois longueurs d'onde et de réduire fortement le spectre secondaire. Plus souvent, on utilisera des triplets pour corriger trois ou même quatre longueurs d'onde.



Dans cette illustration on a fait coïncider les focales pour les couleurs extrêmes rouge et bleu. Toutefois le vert et le jaune, pourtant intermédiaires, sont moins corrigés.

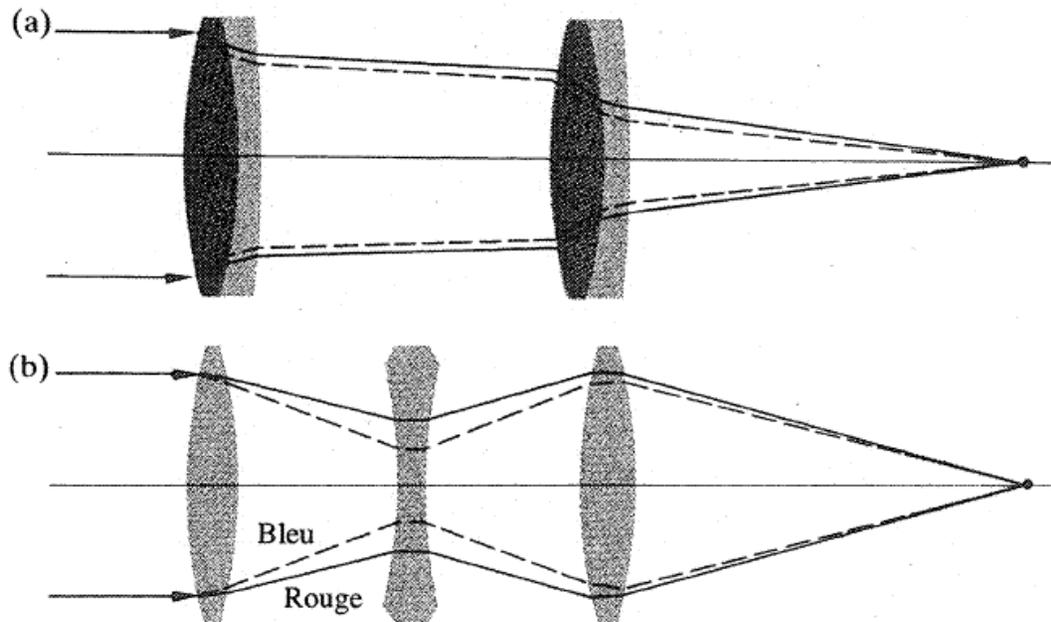
Doublets achromatique à lentilles séparées

Dans ce cas on utilise l'équation de la focale de la combinaison de deux lentilles épaisses:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

Et on trouve que le doublet devient achromatique si f_1 et f_2 sont comptés à la même couleur et

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



Objectifs achromatisés.

Exercice

Déterminer les lentilles à utiliser pour fabriquer un achromat convergent de 20 cm de distance focale en utilisant les verres dont les caractéristiques sont données dans le tableau :

Radiation	C	D	F
λ (nm)	656,3	587,6	486,1
Crown, $n=$	1,5153	1,5179	1,5241
Flint, $n=$	1,6182	1,6231	1,6355

Développement de la solution:

1. Calculer les nombres de Abbe
2. Calculer les vergences des deux lentilles avec
 - $D_{1D} = D_D V_1 / (V_1 - V_2)$
 - $D_{2D} = -D_D V_2 / (V_1 - V_2)$
3. Dimensionner les lentilles pour que deux surfaces soient accolées

(rappel)
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Exercice – travail personnel

1. Déterminer le rayon de courbure d'une lentille convergente de 200 mm en BK7 pour $\lambda=587,6$.
2. Tracer un diagramme de la focale en fonction de la longueur d'onde.
3. Dimensionner un doublet achromatique accolé en BK7 avec un verre d'un autre type (par exemple F1) pour avoir une focale de 200 mm.
4. Tracer le diagramme de la focale du doublet accolé en fonction de la longueur d'onde.

line	λ (nm)	N-FK51	BK7	N-PSK3	F1	SF66
h	404,7	1,49618	1,53024	1,56688	1,65741	2,00775
g	435,8	1,49364	1,52669	1,56302	1,64851	1,98229
F	486,1	1,49056	1,52238	1,55835	1,63827	1,95452
e	546,1	1,48794	1,51872	1,55440	1,63004	1,93325
d	587,6	1,48656	1,51680	1,55232	1,62588	1,92286
C	656,3	1,48480	1,51432	1,54965	1,62074	1,91033
r	706,5	1,48379	1,51289	1,54811	1,61790	1,90361

Travail personnel

- Chapitre *SYSTÈMES DE LENTILLES ACHROMATIQUES*
du photocopié et exercices