

## TP n°4

### Partie 1 : Les aberrations optiques

### Partie 2 : Le miroir sphérique



*« Les miroirs feraient bien de réfléchir un peu plus avant de renvoyer les images. »  
de Jean Cocteau*

#### **Objectifs**

*Lors de cette séance de TP, nous allons :*

- *Mettre en évidence certaines aberrations optiques, aussi bien chromatiques que géométriques, de façon à attirer votre attention sur les précautions d'utilisation des lentilles.*
- *Caractériser un miroir sphérique concave. Observer une image subjective.*

## Partie 1. Les aberrations optiques

On définit les **aberrations optiques** comme étant l'écart entre l'image réelle formée par un système optique et son image idéale formée par un système optique parfait. Dans un système optique idéal tous les rayons émis par un point situé dans le plan objet seraient parfaitement focalisés en un seul point dans le plan image : le système optique est rigoureusement stigmatique. Dans un système optique réel, les différentes causes faisant que certains rayons ne se focalisent pas en ce point sont appelées aberrations.

Il est possible de classer les aberrations en deux groupes :

- les aberrations **chromatiques**, qui dépendent de la longueur d'onde
- les aberrations **géométriques**, qui dépendent de paramètres géométriques (angle d'inclinaison du faisceau incident sur le système optique, position du rayon par rapport à l'entrée du système ...).

Les aberrations optiques diminuent la qualité des systèmes optiques. Leur réduction fait souvent appel à des techniques perfectionnées (verres de grandes dimensions, nombreuses lentilles, dont les aberrations s'annulent mutuellement, lentilles asphériques...).

### I. Les Aberrations chromatiques

- Le matériau constituant la lentille est un **milieu dispersif**. La loi de Cauchy donne l'indice  $n$  d'un matériau en fonction de la longueur d'onde

$$n = n_0 + \frac{A}{\lambda^2} \quad (1)$$

- La formule donnant la distance focale  $F$  d'une lentille épaisse montre que celle-ci dépend de l'indice de réfraction  $n$  du verre constituant la lentille :

$$\frac{1}{F} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \left( 1 + \frac{n-1}{n} \frac{e}{R_2 - R_1} \right) \quad (2)$$

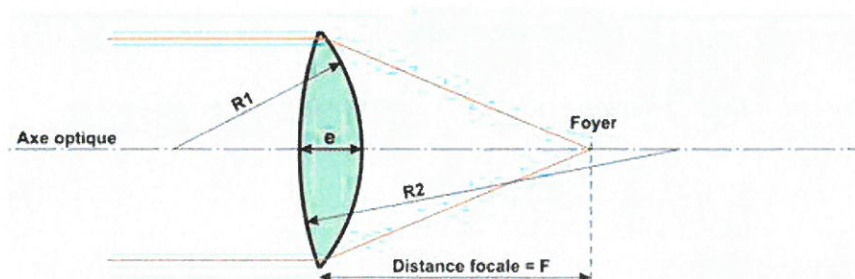


Figure 1 : distance focale d'une lentille épaisse

Ces relations (1) et (2) permettent d'expliquer la dépendance de la focale  $F$  vis-à-vis de la longueur d'onde pour un verre dispersif. En conséquence, **un point lumineux forme autant d'images distinctes qu'il y a de radiations monochromatiques dans la lumière qu'il émet.** Dans le cas d'une lumière « blanche », on observe effectivement un décalage transversal entre les images bleu et rouge.

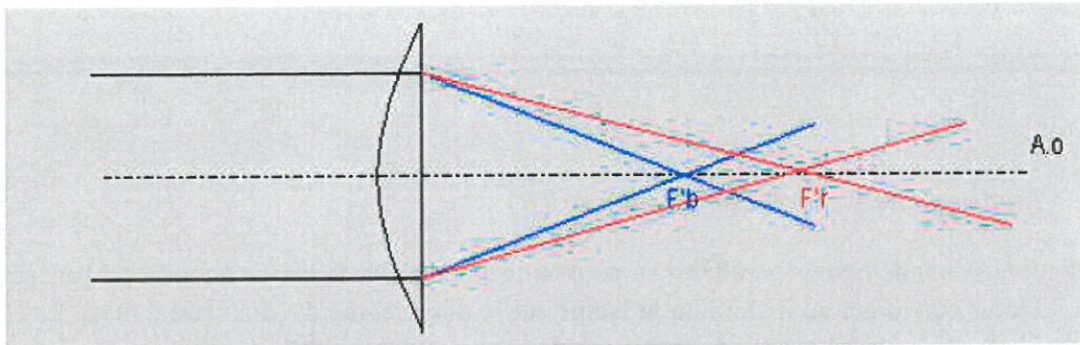


Fig. 2 différents foyers selon les longueurs d'onde des radiations



Fig. 3 photos illustrant les aberrations chromatiques

Expliquer pourquoi on n'observe pas d'aberration chromatique en utilisant uniquement des miroirs dans les système optiques.  
Rappeler les conditions de Gauss

### Préparation à réaliser avant le TP

- Visionnez la vidéo proposée sur le site :

<https://www.youtube.com/watch?v=IdNOGYXGOQs> concernant les aberrations chromatiques

### *Étude qualitative à réaliser en salle de TP*

Créez un faisceau de rayons parallèles en poussant l'ampoule de la lampe à fond vers l'arrière

- Faites converger au maximum la lampe sur le diaphragme  $d_1$  (diamètre 3 mm). Le faisceau conique émergent éclaire **toute** la surface d'une lentille de grande ouverture.
- a) Commencez par observer les aberrations chromatiques en déplaçant l'écran.
- b) Vous pouvez aussi observer les aberrations en ajoutant un second diaphragme  $d_2$  (diamètre 1 mm) entre la lentille et l'écran : observez la différence entre les images obtenues avec ou sans diaphragme  $d_2$ .
- Interprétez qualitativement les couleurs observées sur l'écran dans les cas a) et b) : pour cela il est impératif de réaliser des schémas les plus fidèles possibles montrant la convergence plus ou moins forte des faisceaux rouge et bleu.

Faire l'image du trou avec un doublet achromatique : l'image n'est plus irisée. La distance focale est pratiquement indépendante de  $\lambda$ .

## II. Aberrations géométriques

Les lois de l'optique géométrique sont basées sur l'approximation de Gauss, qui revient à l'approximation  $\sin \theta = \theta$ . Dès que l'on s'éloigne de l'axe optique cette approximation n'est plus valable et les points parfaits de l'optique géométrique se transforment en tâches de forme plus ou moins circulaire. **Les aberrations géométriques sont ces écarts à l'approximation de Gauss.**

Il existe plusieurs types d'aberrations géométriques :

- l'aberration sphérique, provoquée par la forme sphérique des dioptres traversés
- la coma, donnant une forme de comète à l'image d'un point-
- l'astigmatisme
- la distorsion

### Préparation à réaliser avant le TP

Visionnez la vidéo proposée sur le site : <https://www.youtube.com/watch?v=PqmWyBLtUfM> concernant les aberrations géométriques.

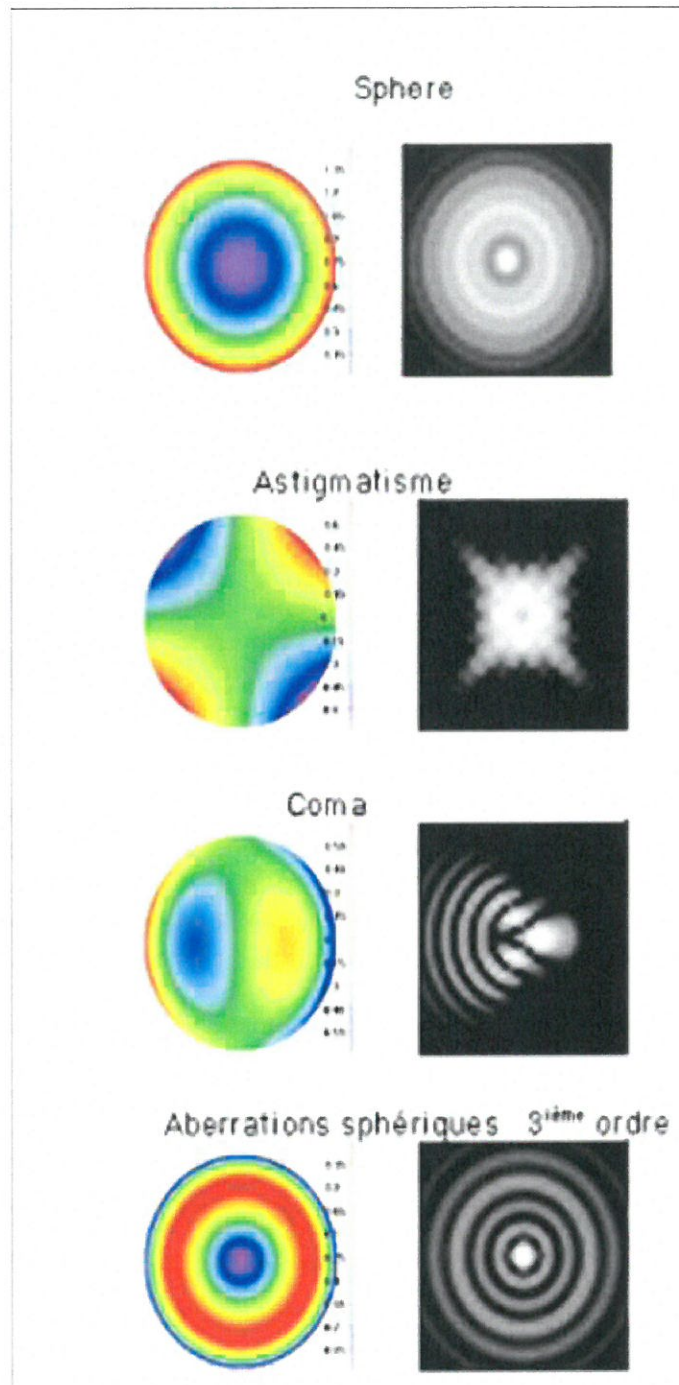
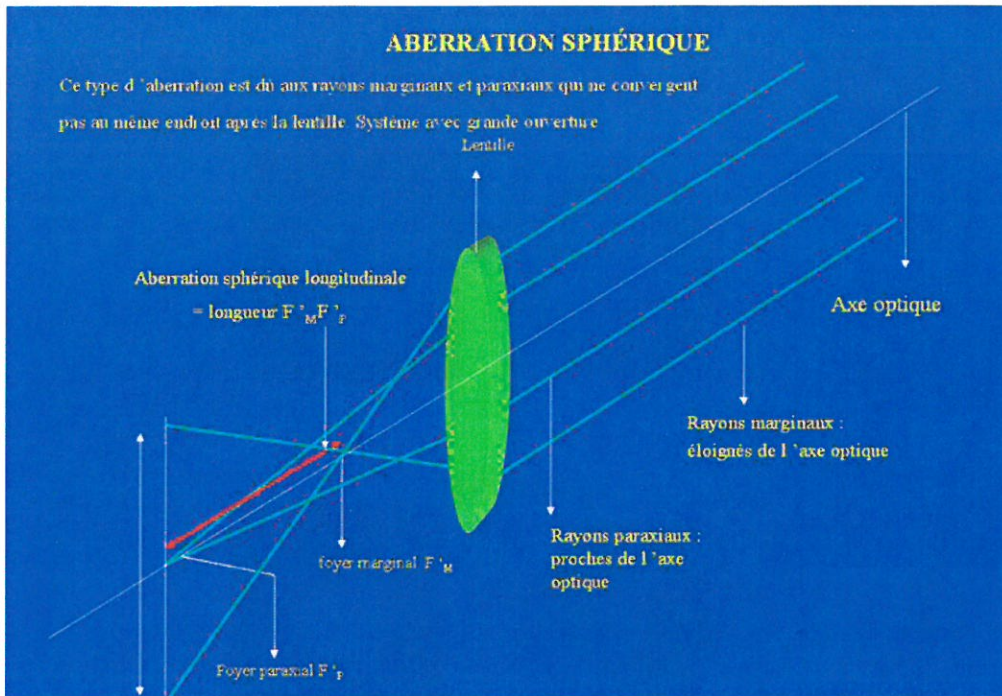


Fig. 4 photos illustrant les aberrations géométriques

*a) Aberrations de sphéricité*

Elle est observée sur l'image d'un point objet situé sur l'axe pour un système optique de grande ouverture. Les rayons marginaux (éloignés de l'axe optique) convergent plus que les rayons paraxiaux (proches de l'axe optique), les premiers convergent en  $F'_m$  (foyer marginal), les seconds en  $F'_p$  (foyer paraxial), la distance les séparant est l'aberration sphérique longitudinale.



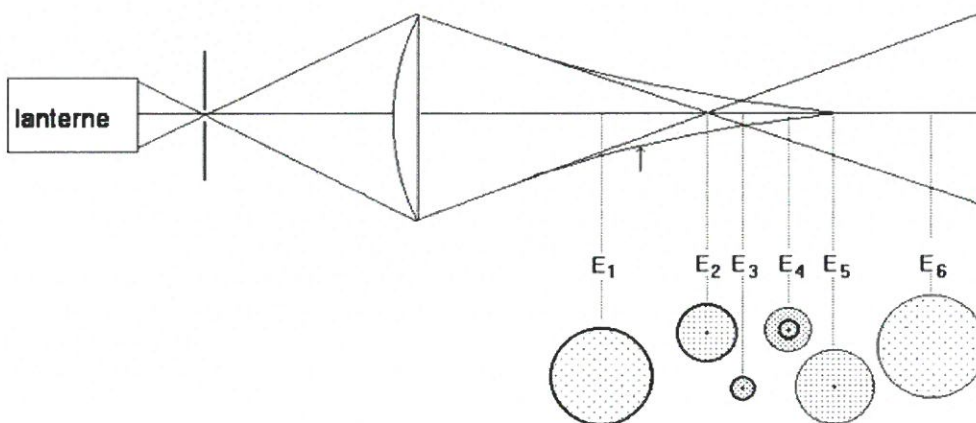
**Fig. 5 schéma explicatif des aberrations de sphéricité**

Observation de la caustique :

La caustique est l'enveloppe des rayons lumineux subissant une réflexion ou une réfraction. Son observation vous permettra de repérer les effets des nappes tangentielle et sagittale.

- Faites converger au maximum la lampe sur le diaphragme (1 ou 2 mm). Le faisceau conique émergent éclaire toute la surface d'une lentille de grande ouverture. On peut placer un filtre coloré derrière le trou pour s'affranchir de l'aberration chromatique.

**Figure 6 : montage pour l'observation de différentes sections de la caustique**



- Déplacez un écran derrière la lentille et visualisez les différentes figures observées (de  $E_1$  à  $E_6$ ) qui sont des sections de la caustique de la lentille. Cette caustique est formée de deux nappes : la nappe tangentielle donnant les anneaux lumineux, la nappe sagittale responsable du centre lumineux. Faites appel à l'enseignant afin de lui expliquer votre interprétation des figures observées.

### b) *La coma*

Elle est observée sur l'image d'un point faiblement écarté de l'axe optique pour un système optique de grande ouverture. Les rayons paraxiaux convergent en un point différent des rayons marginaux, plus près de l'axe optique. L'image obtenue a la forme d'une comète :

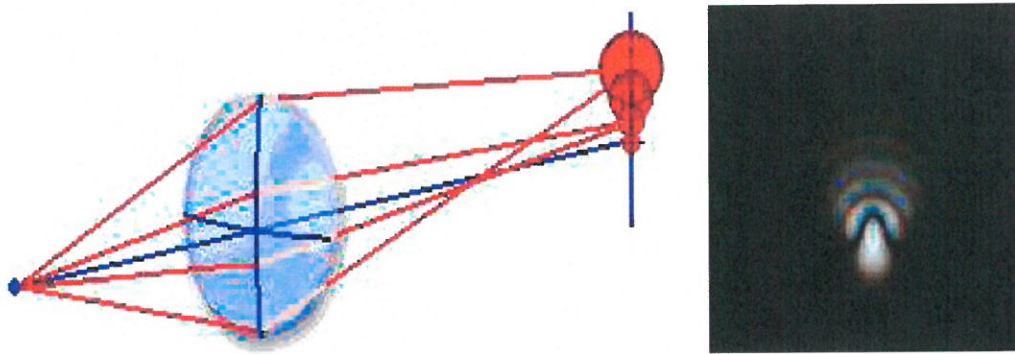


Fig. 7 Aberration de coma

Pour visualiser cette aberration, il faut créer un point source et l'écarté de l'axe optique.

Réalisez un faisceau source parallèle en faisant converger la source lumineuse sur un diaphragme de 1mm. Puis positionnez ce diaphragme au foyer objet d'une lentille convergente de 10 cm de focale.

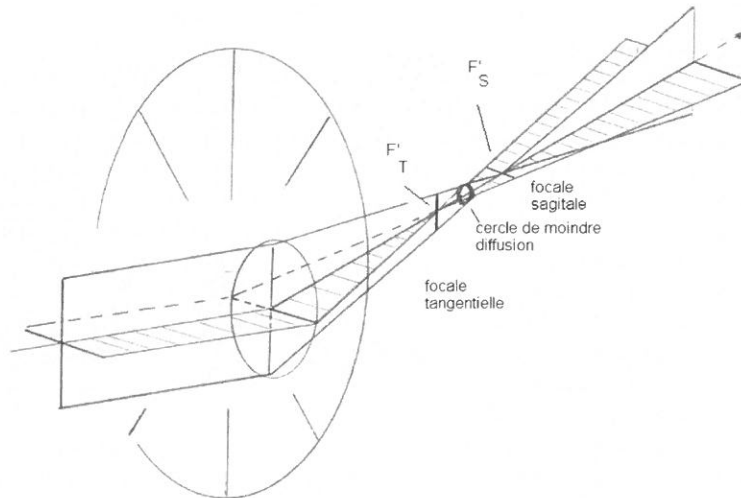
Inclinez la lentille en la faisant tourner autour d'un axe vertical. Le point brillant se décentre par rapport à l'anneau de forme elliptique allongé horizontalement et la tache prend la forme d'une comète.

- Réalisez le montage
- Faites appel à l'enseignant, montrez lui la coma que vous observez
- Dessinez la forme de l'image obtenue sur l'écran

### c. *L'astigmatisme*

L'astigmatisme concerne les objets (lentilles, yeux) n'ayant pas la même puissance de réfraction dans toutes les directions (il y a inégalité de courbure des dioptries). De ce fait, l'image d'un point objet n'est pas un point simple et unique, mais est constitué de deux droites focales.

On appelle cercle de moindre diffusion, le lieu, dans un système astigmatique, où les déformations sont identiques dans toutes les directions. Le cercle de moindre diffusion se situe entre les deux lignes focales.



**Figure 8 : les deux lignes focales d'un système astigmaté et le cercle de moindre diffusion**

- Avec le montage précédent (visualisation de la coma), inclinez la lentille davantage : la coma se transforme en une droite horizontale. En déplaçant l'écran du côté de la lentille, on trouve une autre position pour laquelle la tache est une droite verticale
  - Faites appel à l'enseignant afin qu'il vérifie vos observations

#### ***d. La distorsion***

Lorsque le diaphragme est entre la lentille et l'écran ( figure 9 ), l'image de A est formée avec des rayons près de l'axe optique. Plus on va vers B dans l'objet, plus on utilise des rayons marginaux pour former l'image d'un point de l'objet. Or comme la lentille est plus convergente sur les bords qu'au centre cela a pour effet d'éloigner B' de A'. Le grandissement augmente pour les points B qui s'écartent de l'axe. On observe une distorsion en coussinet.

Si le diaphragme est placé entre l'objet et la lentille, on observe une distorsion en barillet. Dans ce cas, l'accroissement de vergence sur les bords rapproche B' de A'.



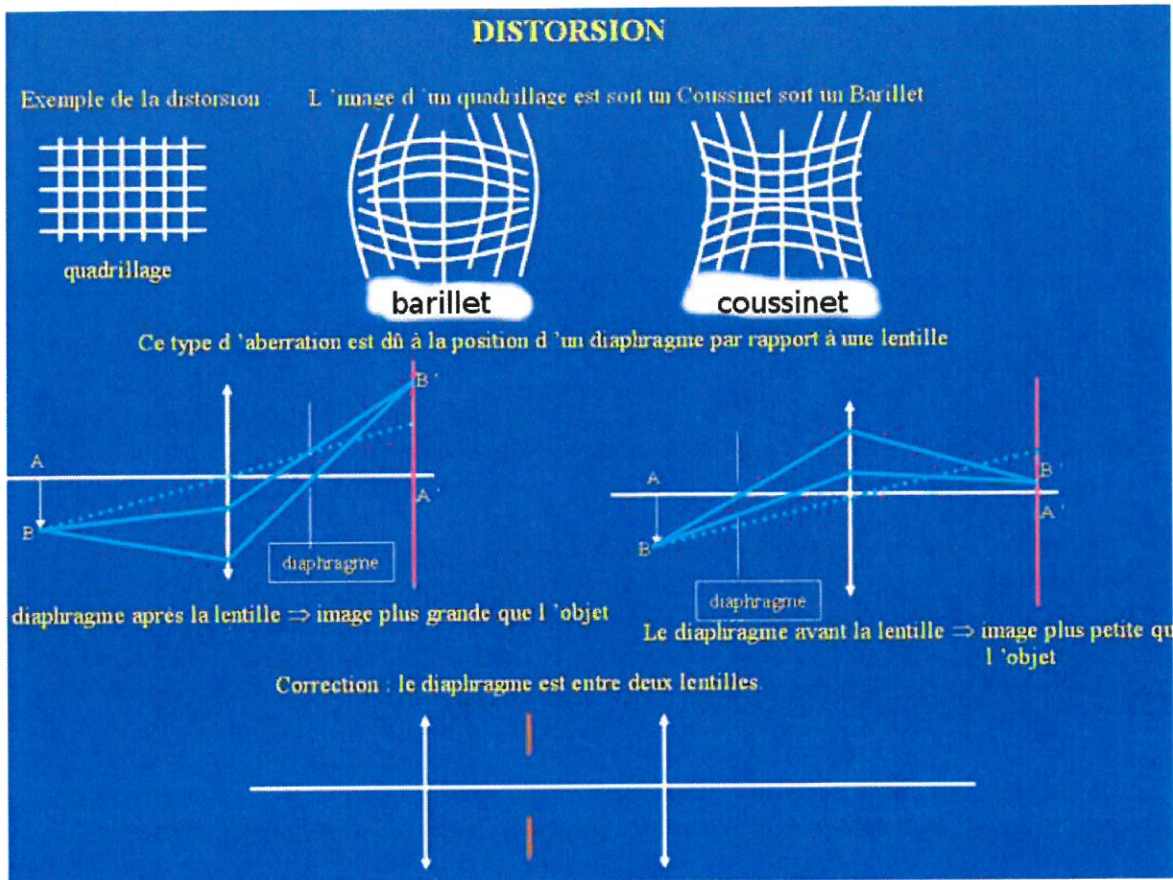


Figure 9 : schéma explicatif de la formation des distorsions

- Faites l'image d'une grille en interposant le diaphragme (diamètre 3mm) avant la lentille
- Dessinez cette image
- Faites l'image de la grille en interposant le diaphragme après la lentille
- Dessinez cette image
- Que constatez-vous ?

## Partie 2. Miroir sphérique concave. Observation d'une image subjective

Si vous n'avez pas encore abordé le chapitre concernant les miroirs sphériques en enseignement, il vous est demandé de vous familiariser avec ce système optique en étudiant par exemple sur « Université en Ligne » :

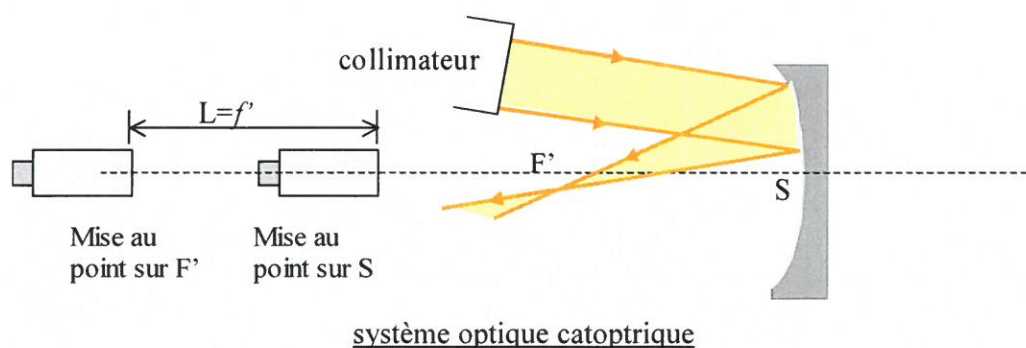
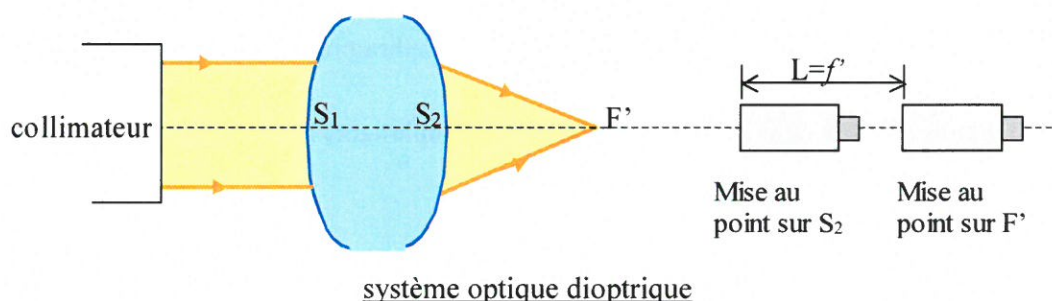
[http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo\\_ch03/co/optigeo\\_ch03.html](http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo_ch03/co/optigeo_ch03.html)

### I. Principe

A la différence de l'observation d'une image objective, qui se fait sur un écran, l'observation d'une image subjective se fait toujours dans une lunette de visée.

Le principe général de cette méthode est le suivant : l'image conjuguée d'un objet à l'infini se situe dans le plan focal de tout système optique. Il suffit, sans modifier le réglage de mise au point d'une lunette de visée, de mettre au point successivement sur le plan focal image et sur la face de sortie du système optique étudiée. La mesure du déplacement  $L$  de la lunette nécessaire à ces deux mises au point successives donne directement la valeur de la distance focale recherchée.

Le principe de cette méthode est illustré ci-dessous dans le cas d'un système dioptrique supposé mince (focalisation par transmission) ou catoptrique (focalisation par réflexion).



## II. Manipulations

### *a) Réglage du collimateur*

Un faisceau de lumière parallèle issu d'un collimateur est avantageusement équivalent à un objet situé à l'infini (qu'il est techniquement impossible à réaliser). Il est donc important de régler au préalable, et définitivement, le collimateur : la qualité du réglage obtenu conditionne la précision des résultats de mesures ultérieures. Réaliser les opérations de réglage dans l'ordre suivant :

1. Régler la lunette à l'infini en visant par la fenêtre un point éloigné du paysage environnant.
2. Placer la lunette sur le banc optique et l'aligner sur le faisceau de lumière issu du collimateur.
3. Modifier le réglage du collimateur en observant dans la lunette de visée jusqu'à obtenir une image nette du réticule du collimateur. La lunette étant réglée à l'infini, le réticule est donc dans le plan focal du collimateur et le faisceau de lumière véhiculant ce réticule émerge parallèlement du collimateur.

*Ne plus toucher aux réglages du collimateur dans la suite de ce travail.*

### *b) Mesure de la distance focale d'un miroir sphérique*

- a) Placer le collimateur sur un pied auxiliaire et l'écartier suffisamment du banc optique pour ne pas être gêné dans l'observation avec la lunette.
- b) Orienter légèrement le miroir et vérifier, en s'aidant au besoin d'une feuille de papier, que le faisceau lumineux réfléchi pénètre bien dans la lunette.
- c) Repérer la position  $x_1$  de la lunette réglée sur le sommet S du miroir (faire la mise au point sur la surface du miroir) : la matérialisation de la face de sortie peut très bien se faire à l'aide d'un minuscule confetti de papier que l'on place sur le miroir en l'humectant légèrement. Demander à l'enseignant de vérifier la manipulation. Évaluer  $\Delta x_1$ .
- d) Sans dérégler la lunette, la déplacer (l'éloigner) de manière à retrouver l'image du réticule du collimateur. Noter cette nouvelle position  $x_2$ . Demander à l'enseignant de vérifier la manipulation. Réaliser cinq mesures et en déduire  $x_2$  moyen et  $\Delta x_2$ . (on pourra présenter les résultats dans un tableau).
- e) En déduire la distance focale  $f'$  et son incertitude  $\Delta f'$ .