

Optique Géométrique

CHAPITRE 2

Systèmes centrés et approximation de Gauss

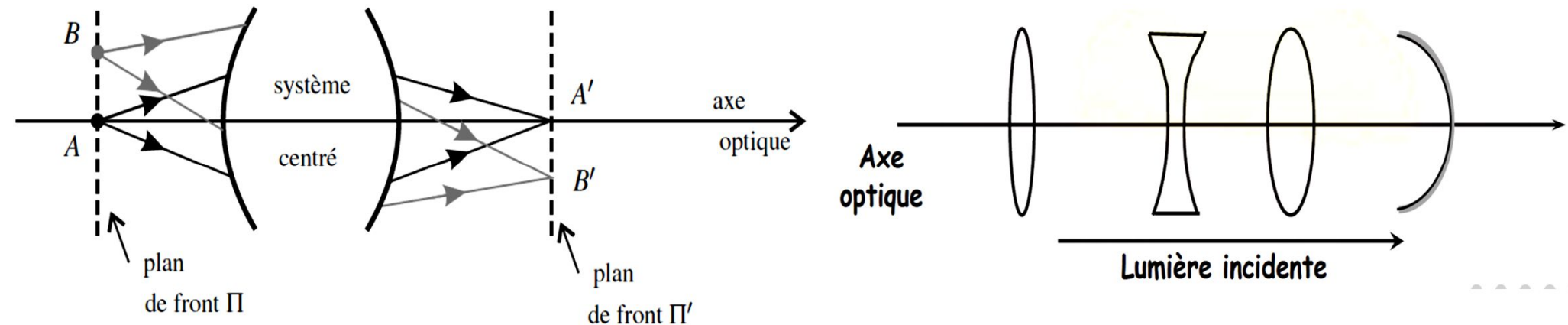
Dr N'CHO Janvier Sylvestre

Systemes Optiques Centrés

Définitions (1)

Un système optique est centré lorsqu'il possède un axe de symétrie de révolution Δ définissant ainsi **l'axe optique** du système. Par exemple les lentilles minces que nous allons étudier sont des systèmes optiques centrés. Les plans perpendiculaires à l'axe optique sont appelés plan de front.

Un rayon arrivant suivant l'axe optique d'un système optique n'est pas dévié.

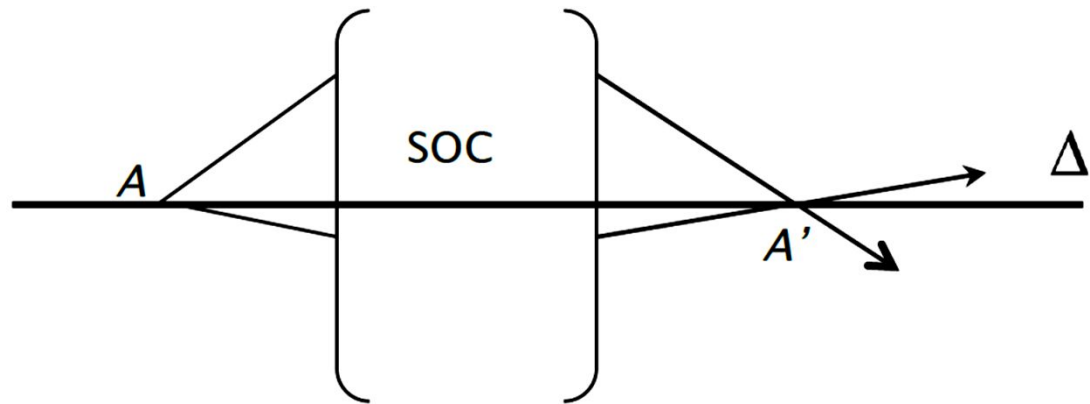


Définitions (2)

Les dioptries et les miroirs, qui constituent les systèmes optiques centrés que nous étudierons, possèdent un plan tangent perpendiculaire à l'axe optique. C'est pourquoi les rayons lumineux qui sont suivant Δ ne sont pas déviés (loi de Snell-Descartes).

Un Système Optique Centré (noté SOC) est parfaitement stigmatique si tout rayon incident qui passe par A émerge en A' .

Si $A \in \Delta$ et A' image de A , alors $A' \in \Delta$.



Approximation de Gauss

Exemple d'une lentille demi-boule

La figure suivante montre des rayons incidents parallèles traversant une demi-boule transparente d'indice $n = 1,5$, placée dans l'air d'indice $n_{air} = 1$. Les rayons sortant de la demi-boule sont les rayons émergents. La demi-boule est un système centré. Les rayons incidents sont parallèles à son axe de symétrie, c'est-à-dire son axe optique. Ces rayons proviennent d'un point objet réel A situé à distance infinie dans la direction des rayons. On constate que les rayons émergents ne passent pas tous par un point image.

Cependant les cinq rayons les plus proches de l'axe optique passent quasiment par le même point F' indiqué par la flèche sur la figure. **La demi-boule ne donne pas une image rigoureuse comme le miroir plan, mais une image approchée si l'on se restreint aux rayons proches de l'axe.**

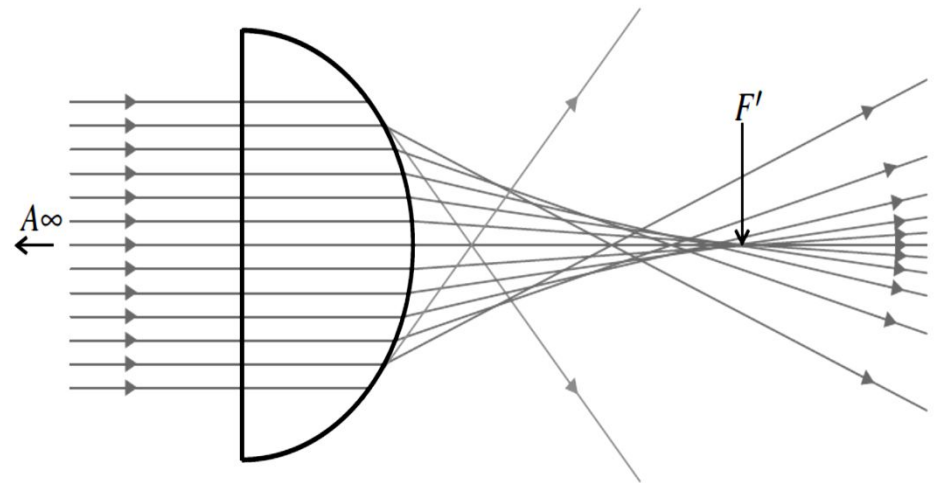


Figure 5.11 – Lentille demi-boule éclairée par un faisceau parallèle.

Rayons paraxiaux, conditions de Gauss (1)

CONDITIONS DE GAUSS (stigmatisme approché)

- ➔ On ne prend que les rayons faiblement inclinés par rapport à l'axe optique
 - ➔ On ne considère que les rayons voisins de cet axe optique
- } RAYONS PARAXIAUX

Dans la pratique, pour réaliser les conditions de Gauss, il faut que le système optique possède un diaphragme d'entrée limitant l'inclinaison des rayons, dans ce cas **$\sin\alpha \approx \tan\alpha \approx \alpha$** . Mais si le diaphragme est trop petit, l'image est peu lumineuse (la quantité de lumière qui rentre dans le S.O est faible) et on voit apparaître le phénomène de diffraction (il faut trouver le bon compromis) (cf. figure ci-après).

Rayons paraxiaux, conditions de Gauss (2)

Bilan: Facteurs jouant sur la dimension de l'image d'un objet ponctuel donc sur la netteté de formation des images :

- ⇒ Les **aberrations géométriques** dues au système optique lui-même en l'absence de stigmatisme rigoureux.
- ⇒ Les **aberrations chromatiques** dues à la nature polychromatique de la lumière naturelle.
- ⇒ La **structure granulaire** du récepteur.
- ⇒ La **nature ondulatoire de la lumière** provoquant de la diffraction et limitant la résolution des instruments d'optique

Rayons paraxiaux, conditions de Gauss (3)

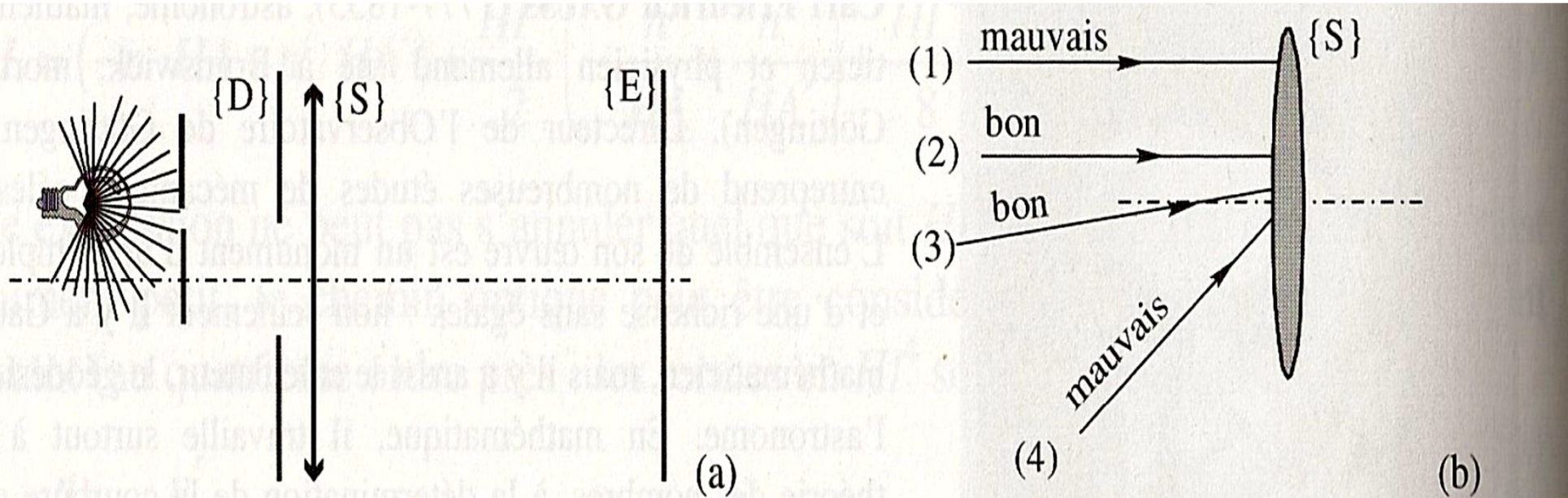


Fig. 3.36 Conditions de Gauss : (a) L'image sur l'écran $[E]$ est convenable si $[E]$ est à distance convenable, si S n'est pas éloignée de l'axe et le diaphragme (D) peu ouvert. (b) Les *bons rayons* (2) et (3) rencontrent la lentille près de l'axe et sont peu inclinés sur l'axe : ils obéissent aux conditions de Gauss. Il faut se limiter aux bons rayons, pour obtenir une image convenable (stigmatisme approché).

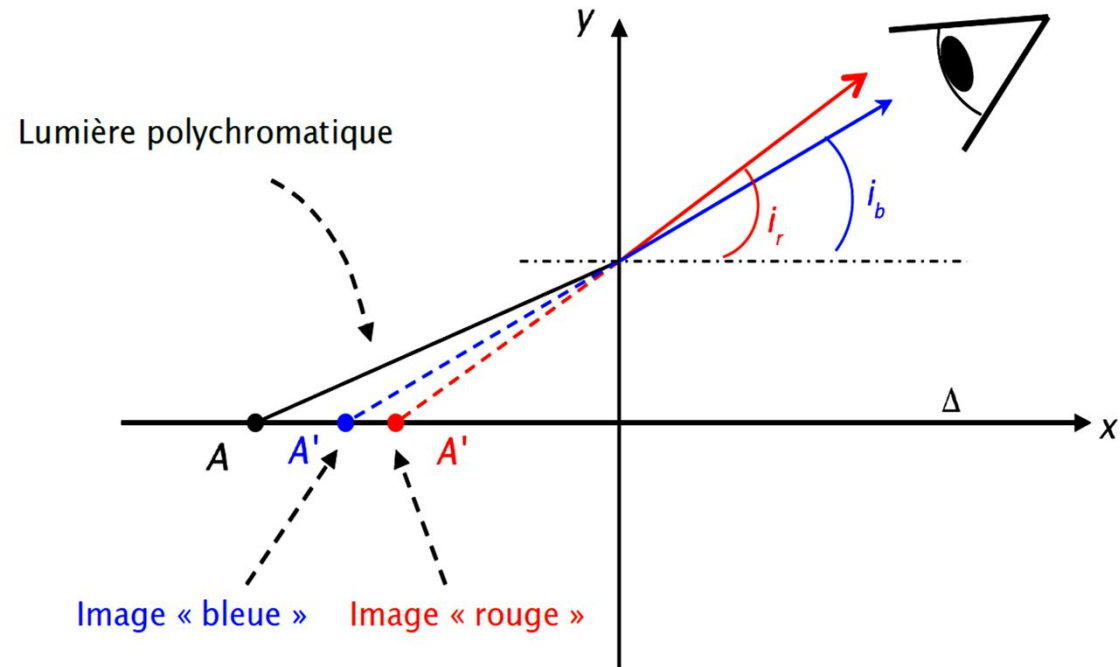
Lumière polychromatique, (1) aberrations chromatiques

On se place toujours dans le cas des rayons lumineux faiblement inclinés par rapport à l'axe optique. Mais à présent, on considère un objet qui **émet de la lumière polychromatique** (ce qui est quasiment toujours le cas dans la pratique). Nous savons que l'indice de réfraction est fonction de la longueur d'onde considérée ; $n = f(\lambda_0)$. Ainsi à chaque longueur d'onde (chaque couleur) correspond une image spécifique. Globalement cela produit une image trouble irisée. On parle **d'aberrations chromatiques**.

Lumière polychromatique, (2) aberrations chromatiques

Quand on souhaite former l'image d'un objet par un système optique (un appareil photo par exemple), la netteté de l'image est toujours limitée d'une part par les aberrations géométriques et d'autre part par les aberrations chromatiques (il ne faut pas confondre ces deux types d'aberration).

L'aberration chromatique n'existe qu'en lumière polychromatique et est due à la dispersion des rayons selon leur longueur d'onde. Autrement dit, il n'y a pas de stigmatisme pour l'objet en lumière blanche, car **l'image rouge ne coïncide pas avec l'image bleue** d'où une irisation de l'image globale



Propriétés d'un SOC dans les conditions de Gauss

Propriété

Un instrument utilisé dans les conditions de Gauss présentera un aplanétisme et un stigmatisme approchés que l'on considérera comme rigoureux, tant dans les tracés que dans les calculs

Stigmatisme approché

On admet le résultat suivant :

Un système centré utilisé dans les conditions de Gauss donne de tout point objet (pouvant être réel ou virtuel) une image ponctuelle approché (pouvant être réelle ou virtuelle).

L'image de tout objet A appartenant à l'axe optique est un point A' appartenant aussi à l'axe optique. **Les points objet et image sont dits conjugués par le système optique.**

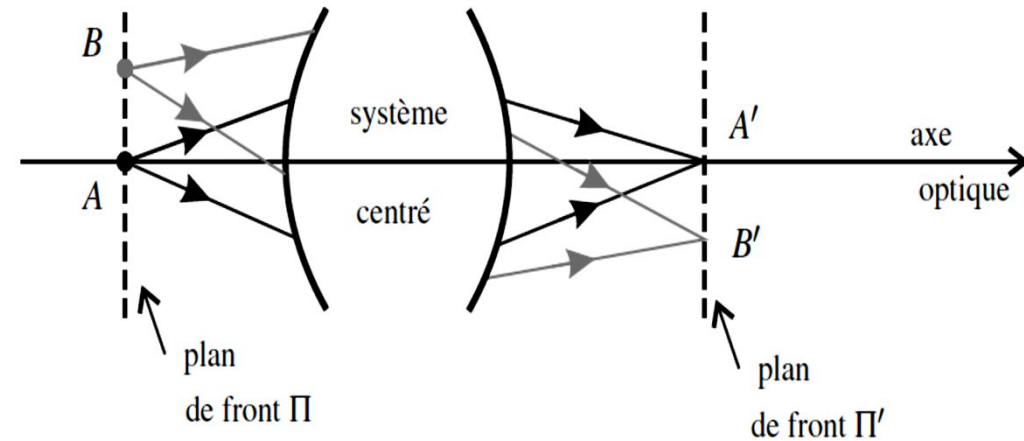


Figure 5.12 – Stigmatisme et aplanétisme dans les conditions de Gauss.

Aplanétisme approché (1)

Un point B du plan de front passant par A a son image B' dans le plan de front passant par A' .

Les plans de front Π et Π' passant par A et par A' sont conjugués par le système optique. De plus par symétrie, les vecteurs $\overrightarrow{A'B'}$ et \overrightarrow{AB} sont colinéaires. On définit le grandissement linéaire par le nombre sans dimension γ tel que :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$$

les mesures algébriques étant prises le long de deux axes orientés dans le même sens. Le grandissement γ est indépendant du point B mais il dépend des plans de front Π et Π' conjugués.

Aplanétisme approché (2)

La signification physique du grandissement γ est la suivante :

- si $|\gamma| > 1$ l'image est plus grande que l'objet
- si $|\gamma| < 1$ l'image est plus petite que l'objet
- si $\gamma > 0$ l'image est droite c'est-à-dire de même sens que l'objet
- si $\gamma < 0$ l'image est renversée par rapport à l'objet.

Foyers objet, Foyers image

Point à l'infini

Un point à l'infini est un point situé à distance infinie du système. **Les rayons passant par un point à l'infini sont parallèles entre eux.** Le point est localisé à l'infini, dans la direction commune aux rayons.

Foyers principaux (1)

□ Foyer image principal

On appelle **foyer image principal** l'image du point objet situé **à l'infini** dans la direction de l'axe optique. Ce point est noté F' . Les rayons incidents parallèles à l'axe optique donnent des rayons émergents qui passent tous par F' .

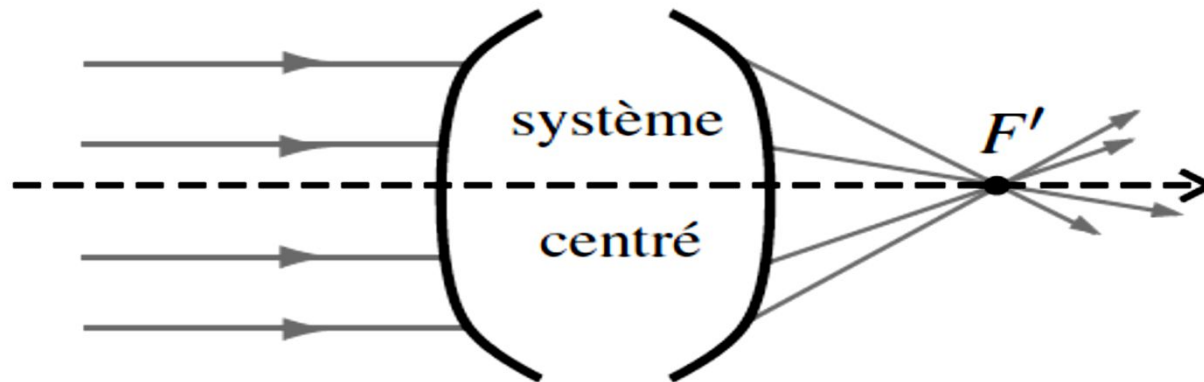


Figure 5.13 – Foyer image principal.

Foyers principaux (2)

□ Foyer objet principal

On appelle **foyer objet principal** le point objet dont l'image est située à **l'infini** dans la direction de l'axe optique. Ce point est noté F . Les rayons incidents issus de F donnent des rayons émergents tous parallèles à l'axe optique.

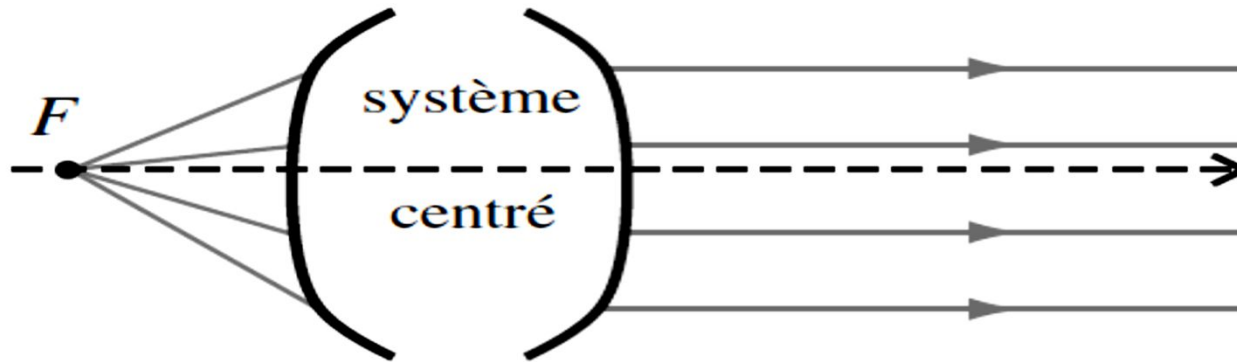


Figure 5.14 – Foyer objet principal.

Foyers secondaires (1)

□ Foyer image secondaire

Par aplanétisme, tout point objet à l'infini mais hors de l'axe optique a son image dans le plan de front passant par F' . Ce plan est appelé **plan focal image**. Les points du plan focal image sont des **foyers image secondaires** et notés F'_S .

Un faisceau incident de rayons parallèles entre eux, mais non parallèle à l'axe optique, est transformé en un faisceau convergent vers un foyer image secondaire.

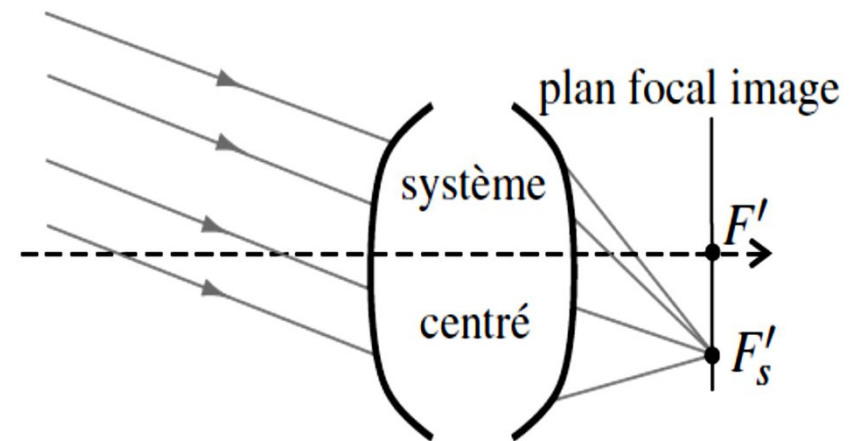


Figure 5.15 – Foyer image secondaire.

Foyers secondaires (2)

□ Foyer objet secondaire

De même on appelle **plan focal objet** le plan de front passant par F . Les points F_s de ce plan sont des **foyers objet secondaires**.

Un faisceau incident issu d'un foyer objet secondaire donne un faisceau de rayons parallèles entre eux, mais non parallèle à l'axe optique.

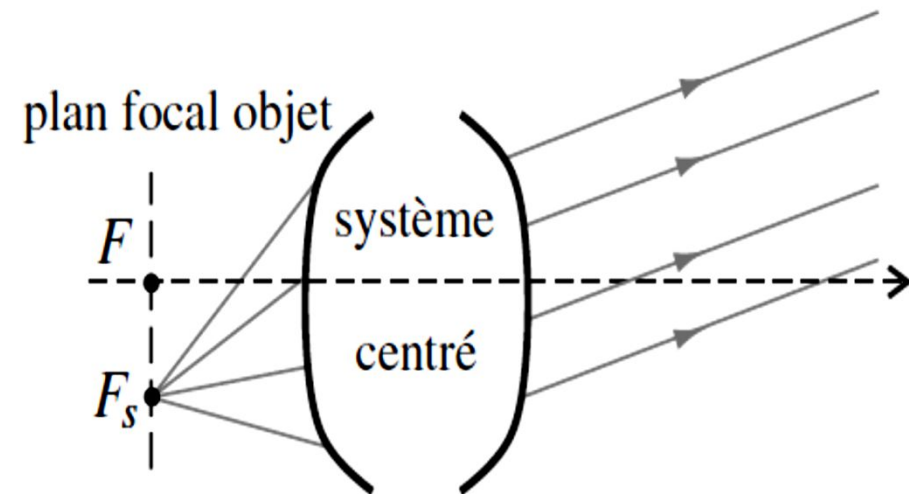


Figure 5.16 – Foyer objet secondaire.

Système afocal

Un système afocal qui transforme un faisceau incident parallèle en un faisceau émergent parallèle, conjugue un point objet à l'infini avec un point image de l'infini. Il n'y a donc pas de foyers et est qualifié de **système afocal**.

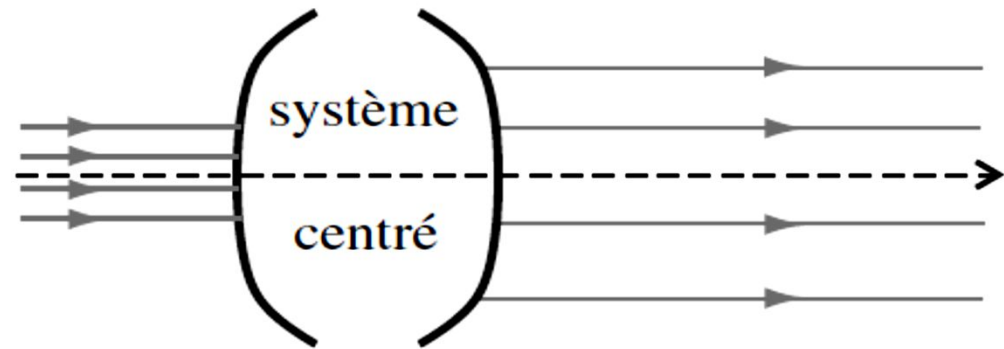


Figure 5.17 – Système afocal.