

Cours d'optique

O13-Lentilles

Table des matières

1	Introduction	2
2	Différents types de lentilles	2
2.1	Définition d'une lentille	2
2.2	Deux types de lentilles	2
3	Points particuliers et grandeurs caractéristiques	3
3.1	Centre optique	3
3.2	Foyers	3
3.2.1	Cas d'une lentille convergente	3
3.2.2	Cas d'une lentille divergente	4
3.3	Distance focale et vergence	4
4	Relations de grandissement et de conjugaison	4
4.1	Relations de Newton (origine aux foyers)	5
4.2	Relations de Descartes (origine au centre)	5
4.3	Lentilles accolées	6
5	Des constructions pour toutes les configurations	6
5.1	Cas d'une lentille convergente	6
5.2	Cas d'une lentille divergente	7
6	Construction de l'émergent correspondant à un incident donné	7
7	Aberrations des systèmes optiques	8
7.1	Aberrations chromatiques	8
7.2	Aberration de sphéricité	9
7.3	La distorsion	9
8	Références	10

1 Introduction

Nous allons aborder ce chapitre comme la partie sur les miroirs du chapitre précédent : après avoir défini une lentille et les différents types de lentilles, nous nous intéresserons aux grandeurs caractéristiques de celles-ci, puis aux formules de conjugaison et grandissement.

On présentera ensuite toutes les constructions possibles ainsi que la construction d'un rayon émergent correspondant à un rayon incident donné.

Enfin, nous nous intéresserons aux similitudes et différences entre lentilles et miroirs, notamment en parlant de leur défauts (aberrations).

2 Différents types de lentilles

2.1 Définition d'une lentille

Une lentille est un milieu transparent limité par deux dioptries, les deux peuvent être sphériques ou l'un est sphérique et l'autre est plan (on les nomme souvent lentilles sphériques).

Nous étudierons le cas des lentilles minces : une lentille est mince si son diamètre est très grand devant son épaisseur.

Rigoureusement, si on appelle R_1 le rayon du premier dioptre sphérique de la lentille, R_2 le rayon de son deuxième dioptre et si e est l'épaisseur de la lentille ; toute lentille est mince à conditions que $e \ll R_1$, $e \ll R_2$ et $e \ll |R_1 - R_2|$.

Nous n'oublierons pas que la lentille mince sphérique a la propriété de changer la direction de propagation de la lumière du fait de la réfraction qui se produit sur chaque dioptre de celle-ci.

2.2 Deux types de lentilles

On distingue deux types de lentilles, celles à bords minces et celles à bords épais. Les premières sont convergentes, les secondes sont divergentes.

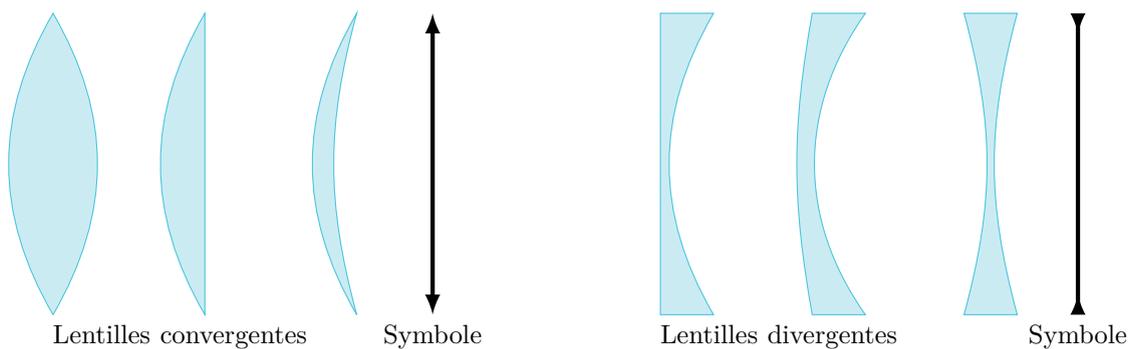


FIGURE 1 – Différents types de lentilles et leur symbole

3 Points particuliers et grandeurs caractéristiques

Les lentilles sphériques, comme les miroirs sphériques, ne sont pas des systèmes optiques rigoureusement stigmatiques et aplanétiques. Comme pour le miroir, on peut montrer que des rayons arrivant parallèles sur toute la hauteur de la lentille ne convergent pas en un seul point.

Cependant, si les lentilles sont utilisées dans les conditions de Gauss définies dans le chapitre précédent, on parle de stigmatisme et aplanétisme approchés. on pourra alors définir la notions de foyers.

3.1 Centre optique

On appelle centre optique de la lentille, noté O , le point de l'axe optique de la lentille par lequel passe le rayon réfracté correspondant à un rayon incident dont le rayon émergent correspondant lui est parallèle.

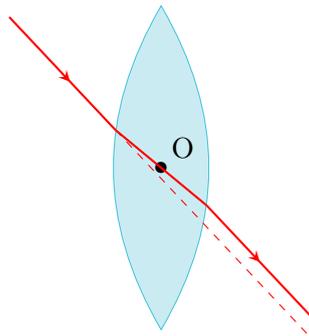


FIGURE 2 – Définition du centre optique de la lentille

3.2 Foyers

3.2.1 Cas d'une lentille convergente

Une lentille convergente comporte deux foyers, appelés foyer principal objet et foyer principal image :

- Tout rayon incident passant par F , foyer principal objet, émerge parallèle à l'axe optique. Ce foyer a donc son image à l'infini (voir figure 3).
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par F' , foyer principal image. Ce foyer est donc l'image d'un objet à l'infini (voir figure 4).
- Ces foyers sont symétriques par rapport au centre optique de la lentille.

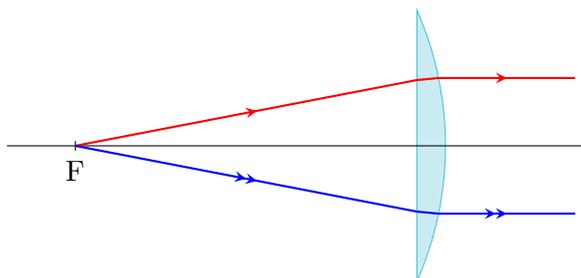


FIGURE 3 – Foyer principal objet d'une lentille convergente

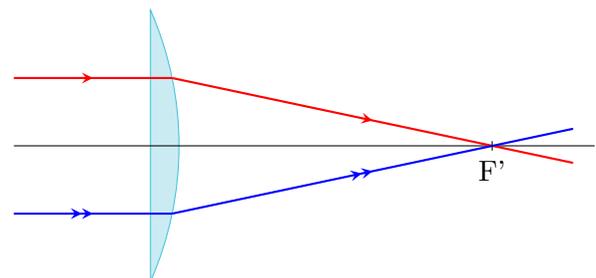


FIGURE 4 – Foyer principal image d'une lentille convergente

Remarque

Rappelons que le plan transverse à la lentille qui passe par F' est appelé plan focal image. Des rayons parallèles mais inclinés par rapport à l'axe optique se croisent en un point, appelé foyer secondaire image, de ce plan focal image.

De même avec le plan focal objet, ce sera également le cas avec les lentilles divergentes.

3.2.2 Cas d'une lentille divergente

Une lentille divergente comporte aussi deux foyers, dont les positions sont inversées par rapport à ceux de la lentille convergente :

- Tout rayon incident dont le prolongement passe par F , foyer principal objet, émerge parallèle à l'axe optique (voir figure 5).
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de façon à ce que leur prolongement passe par F' (voir figure 6).
- Ces foyers sont également symétriques par rapport au centre optique de la lentille.

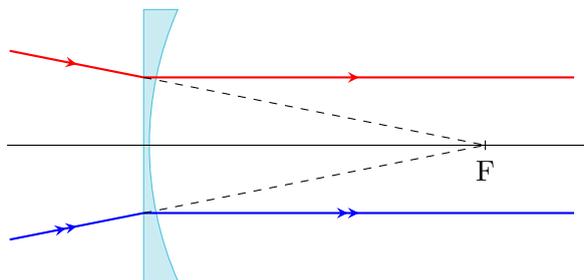


FIGURE 5 – Foyer principal objet d'une lentille divergente

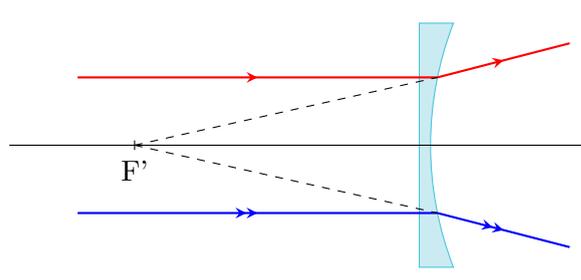


FIGURE 6 – Foyer principal image d'une lentille divergente

3.3 Distance focale et vergence

A retenir

- La distance focale est la grandeur algébrique $\overline{OF'}$ qui s'exprime en mètre (m). Elle est donc positive pour une lentille convergente mais négative pour une lentille divergente.
- La vergence est définie par :

$$V = \frac{1}{\overline{OF'}}$$
 (1)

Elle s'exprime en dioptries (δ) ou (m^{-1}). Elle est positive dans le cas d'une lentille convergente, négative dans le cas d'une lentille divergente.

4 Relations de grandissement et de conjugaison

Pour établir celles-ci, nous nous servons de la construction la plus classique de l'image d'un objet AB situé au delà du foyer de la lentille convergente ($|\overline{OA}| > |\overline{OF}|$).

Mais on notera que ceci est valable quelle que soit la position de l'objet et quelle que soit la nature de la lentille.

Pour effectuer cette construction, on peut tracer trois rayons dont les directions de propagation sont connues :

- Le rayon qui passe par le centre optique de la lentille n'est pas dévié ;
- Le rayon qui arrive parallèlement à l'axe optique sur la lentille émerge en passant par F' ;
- Le rayon qui passe par F avant d'intercepter la lentille émerge parallèlement à l'axe optique.

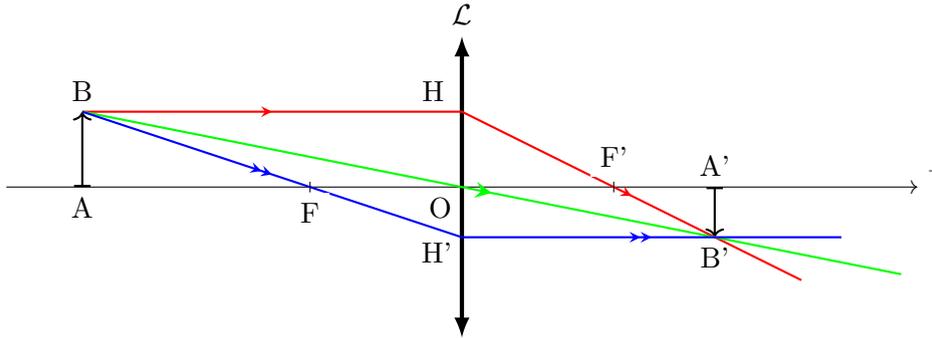


FIGURE 7 – Construction de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente

4.1 Relations de Newton (origine aux foyers)

D'après le théorème de Thalès appliqué dans les triangles ABF et $OH'F$:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OH'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} \quad (2)$$

D'après le théorème de Thalès appliqué dans les triangles HOF' et $F'A'B'$:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OH'}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} \quad (3)$$

En combinant les deux relations précédentes, on obtient :

$$\boxed{\overline{F'A'} \overline{FA} = \overline{F'O} \overline{FO} = -f'^2} \quad (4)$$

4.2 Relations de Descartes (origine au centre)

Pour obtenir le grandissement, on applique le théorème de Thalès dans les triangles OAB et $OA'B'$:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad (5)$$

Pour obtenir la relation de conjugaison, on part de la relation de Newton et on introduit le point O :

$$(\overline{F'O} + \overline{OA'}) (\overline{FO} + \overline{OA}) = -f'^2 \quad (6)$$

On remplace $\overline{F'O}$ par $-f'$ et \overline{FO} par f' , on développe, les termes en f'^2 disparaissent. On a :

$$f' \overline{OA'} - f' \overline{OA} + \overline{OA} \overline{OA'} = 0 \quad (7)$$

Et en divisant par $f' \overline{OA} \overline{OA'}$, on obtient :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}} \quad (8)$$

4.3 Lentilles accolées

Soient deux lentilles de vergence V_1 et V_2 accolées : on considère leurs centres optiques comme confondus. La première lentille donne une image qui devient l'objet pour la deuxième lentille. L'application de la relation de conjugaison à ce système permet de montrer que ce doublet se comporte comme une lentille unique de vergence $V = V_1 + V_2$.

On pourra donc appliquer la relation de conjugaison comme s'il s'agissait une seule lentille.

Attention ! Si les lentilles ne sont pas accolées, la relation de conjugaison n'est plus valable.

5 Des constructions pour toutes les configurations

5.1 Cas d'une lentille convergente

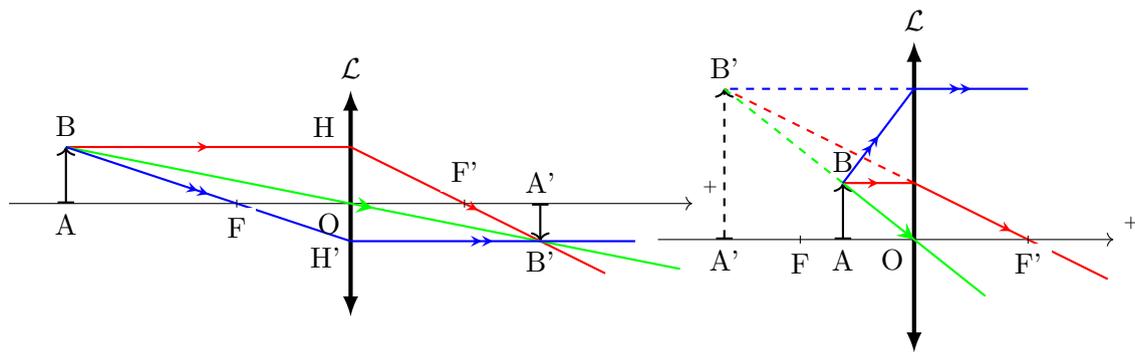


FIGURE 8 – Construction de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente

FIGURE 9 – Lentille convergente : objet réel, image virtuelle

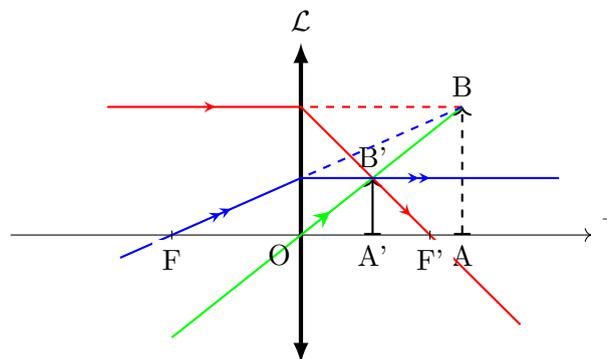


FIGURE 10 – Lentille convergente : objet virtuel, image réel

5.2 Cas d'une lentille divergente

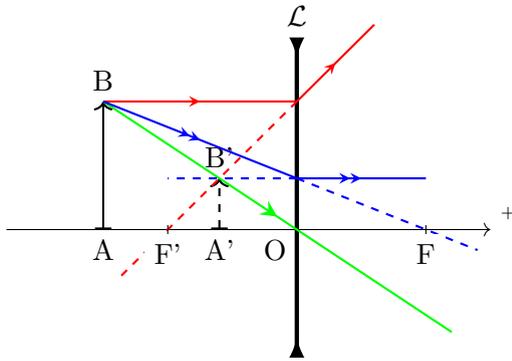


FIGURE 11 – Lentille divergente : objet réel, image virtuelle

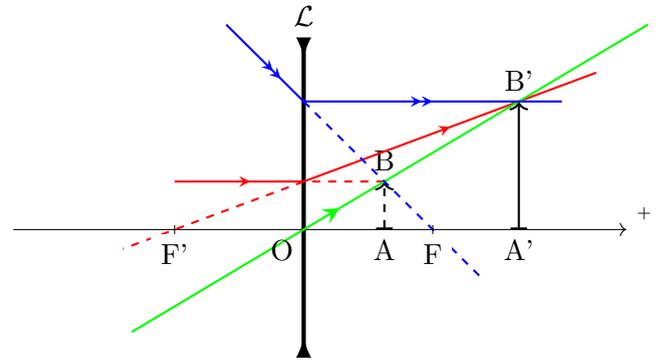


FIGURE 12 – Lentille divergente : objet virtuel, image réelle

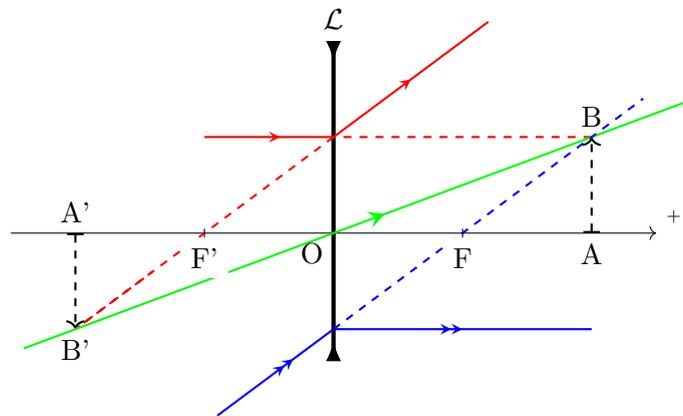


FIGURE 13 – Lentille divergente : objet virtuel, image virtuelle

6 Construction de l'émergent correspondant à un incident donné

De la même manière que pour les miroirs, on utilise un rayon dont on connaît le parcours : le rayon qui passe par le centre optique de la lentille, qui n'est pas dévié. Soit on le trace parallèle à l'incident et on sait qu'il croisera l'émergent dans le plan focale image ; soit on le trace croisant l'incident dans le plan focale objet, et on sait qu'il sera parallèle à l'émergent.

Voici des constructions qui montrent le principe de ce travail :

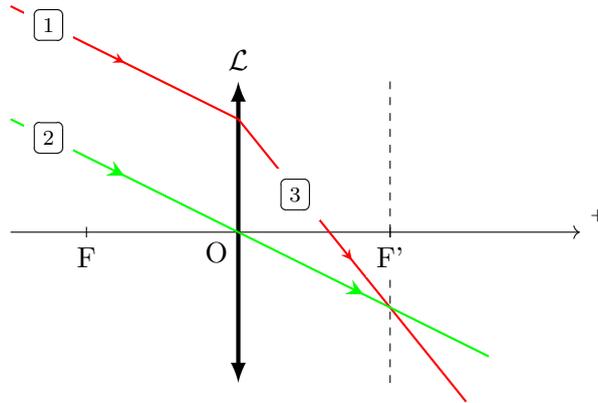


FIGURE 14 – Cas d’une lentille convergente et de l’utilisation d’un foyer secondaire image

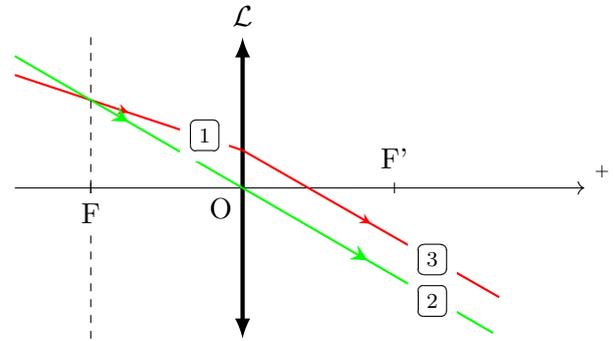


FIGURE 15 – Cas d’une lentille convergente et de l’utilisation d’un foyer secondaire objet

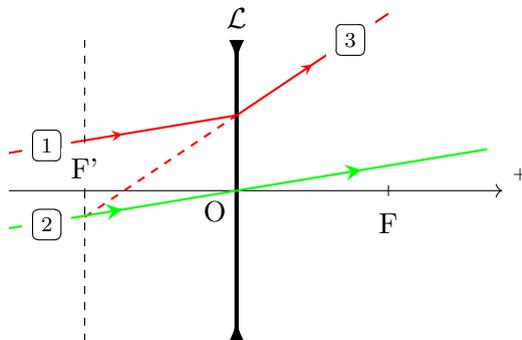


FIGURE 16 – Cas d’une lentille divergente et de l’utilisation d’un foyer secondaire image

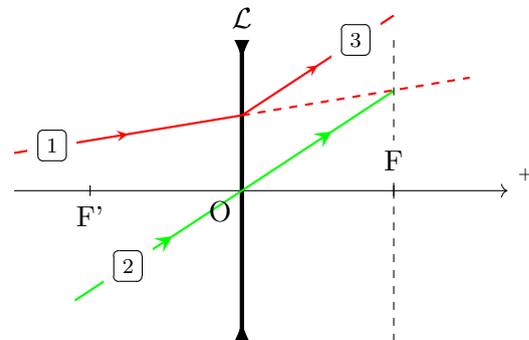


FIGURE 17 – Cas d’une lentille divergente et de l’utilisation d’un foyer secondaire objet

7 Aberrations des systèmes optiques

On désigne par le terme **aberrations** les défauts que présente l’image créée par un système optique du fait des écarts aux conditions de Gauss ou à la dispersion. On distingue donc deux types d’aberrations :

- Les aberrations chromatiques dues à la dispersion de la lumière blanche ;
- Les aberrations géométriques dues aux écarts par rapport aux conditions de Gauss.

7.1 Aberrations chromatiques

Comme nous l’avons vu dans le premier chapitre de ce cours d’optique les verres sont dispersifs : une radiation bleue sera davantage déviée qu’une radiation rouge. Ainsi, dans les lentilles, le foyer image qui concentre les rayons parallèles à l’axe optique, a une position différente suivant la couleur de la lumière. La focale des lentilles est donc légèrement différente suivant la couleur.

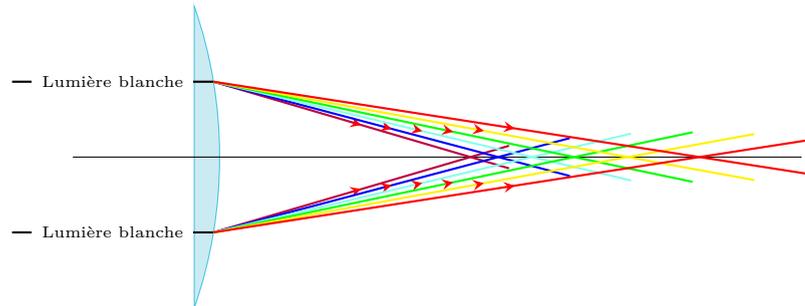


FIGURE 18 – Les rayons des différents radiations colorées ne convergent pas au même point

Il en résulte des images irisées puisque l'image finale est composée d'images superposées de différentes couleurs.

Pour corriger ce défaut, qui n'affecte que les systèmes réfracteurs (lentilles et non miroirs), on fabrique des associations de lentilles (convergente et divergente) dont les effets chromatiques se compensent.

7.2 Aberration de sphéricité

Nous l'avons déjà rencontré dans le cas des miroirs, elle existe aussi dans le cas des lentilles : cette aberration provient de la différence de convergence des rayons qui frappent la lentille (ou le miroir) loin ou près de son axe optique.

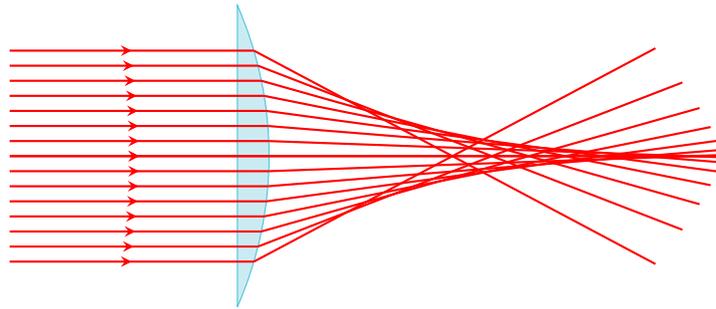


FIGURE 19 – Les rayons marginaux convergent davantage que les rayons paraxiaux

Pour corriger cette aberration, il paraît logique de placer un diaphragme sur le système et de le fermer suffisamment. Mais il en résulte une perte de luminosité. Ainsi, comme pour les aberrations chromatiques, on cherche une association de lentilles (convergente et divergente) dont les effets de sphéricité se compensent.

7.3 La distorsion

Cette aberration intervient lorsque l'on cherche à faire l'image d'un objet transverse de grande taille. On est alors amené à utiliser un diaphragme afin que la lentille soit utilisée dans les conditions de Gauss.

Mais la position du diaphragme est très importante sous peine d'obtenir une image distordue :

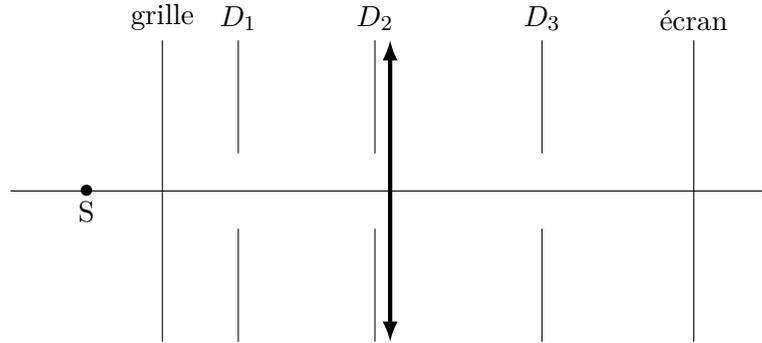
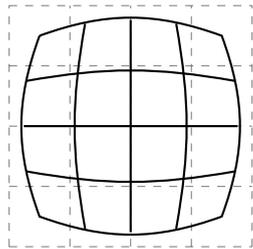
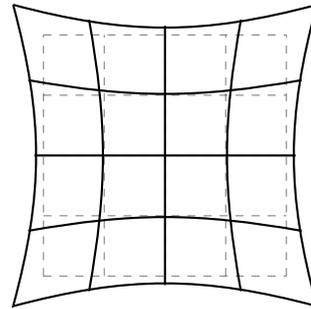
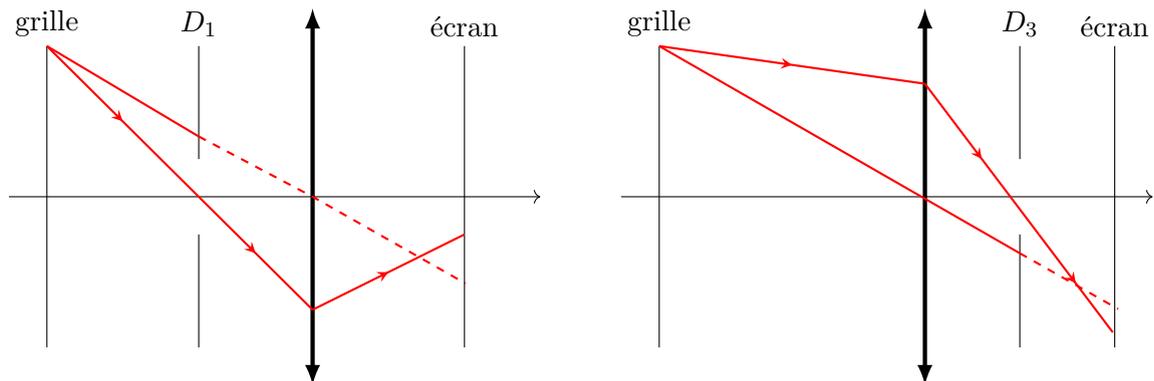


FIGURE 20 – Montage permettant d’observer l’effet de la distorsion


 FIGURE 21 – Diaphragme en D_1

 FIGURE 22 – Diaphragme en D_3

En pointillés est schématisée l’image que l’on attend.

Si le diaphragme est situé loin en avant de la lentille (position D_1), les rayons marginaux sont les seuls à passer par le diaphragme et donnent un point image qui s’écarte de l’axe optique par rapport à la position attendue. Et inversement si le diaphragme est situé loin en arrière de la lentille (position D_3).



La seule bonne position pour le diaphragme est celle où il est accolé à la lentille (position D_2), aucune distorsion n’apparaît.

8 Références

- "Physique Tout-en-un MPSI PCSI PTSI" - Marie-Noëlle Sanz / Anne-Emmanuelle Badel / François Clausset - Editions Dunod 2008 ;
- "Précis Optique MPSI PCSI PTSI - P.Brenders / M.Sauzeix - Bréal ;
- Cours sur les lentilles par Jimmy Roussel : http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=opt_C3