Principaux systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

lundi 9 octobre 2017

- on va étudier les éléments de base : miroir sphérique et lentille mince (tout surface courbe est modélisable par une portion de sphère dans les conditions de Gauss)

- on va étudier les éléments de base : miroir sphérique et lentille mince (tout surface courbe est modélisable par une portion de sphère dans les conditions de Gauss)
- chacun peut être caractérisé par un seul nombre, la distance focale

- on va étudier les éléments de base : miroir sphérique et lentille mince (tout surface courbe est modélisable par une portion de sphère dans les conditions de Gauss)
- chacun peut être caractérisé par un seul nombre, la distance focale
- elle définit des points remarquables permettant de construire graphiquement les images formées par une lentille, un miroir

- on va étudier les éléments de base : miroir sphérique et lentille mince (tout surface courbe est modélisable par une portion de sphère dans les conditions de Gauss)
- chacun peut être caractérisé par un seul nombre, la distance focale
- elle définit des points remarquables permettant de construire graphiquement les images formées par une lentille, un miroir
- rappel : stigmatisme approché, aplanétisme et existence du grandissement transversal admis dans les conditions de Gauss

1. Miroir sphérique

2. Lentilles minces

3. Applications et limites

4. Approche documentaire : caractéristiques d'un appareil photographique

Définition (Miroir sphérique)

Un *miroir sphérique* est une portion d'hémisphère dont une face est réflechissante. Il réalise un système optique centré dont l'axe, noté Δ est son axe de symétrie de révolution. Il est caractérisé par :

- son rayon, noté R, égal au rayon de l'hémisphère dont il est issu,
- son centre, noté C, centre de l'hémisphère dont il est issu,
- son sommet, noté S, intersection de l'hémisphère avec l'axe optique Δ.

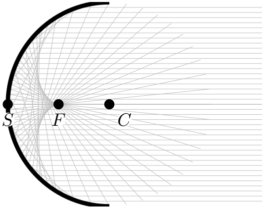
Il est dit :

concave si la face réfléchissante utilisée est celle située du côté du centre,

convexe si la face réfléchissante utilisée est celle opposée au centre.

Focalisation

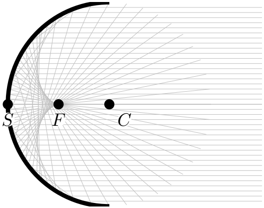
Casserole métallique remplie partiellement de lait.



Rayons d'un faisceau collimaté réfléchis par un demi-cercle de centre C et de rayon R.

Focalisation

Casserole métallique remplie partiellement de lait.



Rayons d'un faisceau collimaté réfléchis par un demi-cercle de centre C et de rayon R.

Les rayons proches de l'axe et peu inclinés passent à proximité d'un même point.

On donne des définitions générales, valable pour tout système centré :

On donne des définitions générales, valable pour tout système centré :

Définition (Foyer image)

On nomme *foyer image*, noté F', d'un système optique centré quelconque le point de convergence d'un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique Δ. C'est l'image d'un objet réel situé à l'infini sur l'axe optique. Le *plan focal image* est le plan perpendiculaire à Δ passant par F'.

On donne des définitions générales, valable pour tout système centré :

Définition (Foyer image)

On nomme *foyer image*, noté F', d'un système optique centré quelconque le point de convergence d'un faisceau collimaté incident parallèle à l'axe optique Δ. C'est l'image d'un objet réel situé à l'infini sur l'axe optique. Le *plan focal image* est le plan perpendiculaire à Δ passant par F'.

Définition (Foyer objet)

On nomme *foyer objet*, noté F, le point dont est issu un faisceau collimaté émergeant parallèlement à l'axe optique Δ. Son image est située à l'infini sur l'axe optique. Le *plan focal objet* est le plan perpendiculaire à Δ passant par F.

- les foyers peuvent être réels ou virtuels.
- les plans focaux sont les lieux des images/objets de points à l'infini situés hors de Δ, *ie* « vus sous un angle α » (une étoile par exemple).

Définition (Vergence)

On définit la *distance focale image* $f' = \overline{SF'}$, la *distance focale objet* $f = \overline{SF}$ et la vergence $V = \frac{1}{f'}$.

Définition (Vergence)

On définit la *distance focale image* $f' = \overline{SF'}$, la *distance focale objet* $f = \overline{SF}$ et la vergence $V = \frac{1}{f'}$.

- f en m, d'autant plus petit que le miroir est convergent/divergent

Définition (Vergence)

On définit la *distance focale image* $f' = \overline{SF'}$, la *distance focale objet* $f = \overline{SF}$ et la vergence $V = \frac{1}{f'}$.

- f en m, d'autant plus petit que le miroir est convergent/divergent
- V en dioptries δ : $1\delta = 1\,\mathrm{m}^{-1}$, d'autant plus grande que le système centré est convergent/divergent

Cas d'un miroir

Foyers et vergence d'un miroir sphérique

Les foyers objet et image d'un miroir sphérique sont confondus au milieu du segment $[SC]$.

Cas d'un miroir

Foyers et vergence d'un miroir sphérique

Les foyers objet et image d'un miroir sphérique sont confondus au milieu du segment $[SC]$.

miroir concave : convergent, foyers réels

Cas d'un miroir

Foyers et vergence d'un miroir sphérique

Les foyers objet et image d'un miroir sphérique sont confondus au milieu du segment $[SC]$.

miroir concave : convergent, foyers réels

miroir convexe : divergent, foyers virtuels

Foyers secondaires

Pour un faisceau collimaté incliné par rapport à Δ :

Définition (Foyers secondaires et plan focal.)

Soit α un angle orienté. On nomme *foyer image (resp. objet) secondaire*, noté F'_α (resp. noté F_α), associé à l'incidence α le point du plan focal image (resp. objet) où se focalise un faisceau collimaté incliné de l'angle α sur l'axe optique (resp. le point d'où est issu un faisceau émergent collimaté et incliné de l'angle α sur l'axe optique).

Foyers secondaires

Pour un faisceau collimaté incliné par rapport à Δ :

Définition (Foyers secondaires et plan focal.)

Soit α un angle orienté. On nomme *foyer image (resp. objet) secondaire*, noté F'_α (resp. noté F_α), associé à l'incidence α le point du plan focal image (resp. objet) où se focalise un faisceau collimaté incliné de l'angle α sur l'axe optique (resp. le point d'où est issu un faisceau émergent collimaté et incliné de l'angle α sur l'axe optique).

ils correspondent à des points « à l'infini vus sous un angle α », une étoile par exemple

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.

Positions des foyers secondaires d'un miroir sphérique

Pour un miroir sphérique, la distance à l'axe optique du foyer secondaire associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

L'aplanétisme d'un système centré assure que ses foyers secondaires sont dans les plans focaux.

Positions des foyers secondaires d'un miroir sphérique

Pour un miroir sphérique, la distance à l'axe optique du foyer secondaire associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

à retenir en valeur absolue, faire le schéma pour déterminer le signe

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Lentille biconvexe convergente

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Lentille biconvexe convergente

- air $\rightarrow$ verre concave : divergent

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Lentille biconvexe convergente

- air $\rightarrow$ verre concave : divergent
- verre $\rightarrow$ air convexe : divergent

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Lentille biconvexe convergente

- air $\rightarrow$ verre concave : divergent
- verre $\rightarrow$ air convexe : divergent

Dioptre sphérique

- air $\rightarrow$ verre convexe : convergent
- verre $\rightarrow$ air concave : convergent

Lentille biconvexe convergente

- air $\rightarrow$ verre concave : divergent
- verre $\rightarrow$ air convexe : divergent

Lentille biconcave divergente

Reconnaissance

- Les lentilles à bords minces (biconvexe, plan convexe, ménisque convergent) sont convergentes quand elles sont placées dans un milieu moins réfringent.
- Les lentilles à bords épais (biconcave, plan concave et ménisque divergent) sont divergentes quand elles sont placées dans un milieu moins réfringent.

Reconnaissance

- Les lentilles à bords minces (biconvexe, plan convexe, ménisque convergent) sont convergentes quand elles sont placées dans un milieu moins réfringent.
- Les lentilles à bords épais (biconcave, plan concave et ménisque divergent) sont divergentes quand elles sont placées dans un milieu moins réfringent.

- c'est l'inverse quand elles sont placées dans un milieu plus réfringent.
- elles sont d'autant plus convergentes/divergentes que leur courbure est importante *ie* leur rayon de courbure est faible.

Lentilles minces

Définition (lentille mince)

Une lentille est dite *mince* si son épaisseur est faible. Les dioptres la constituant sont alors considérés accolés et un rayon la traversant subit seulement un changement de direction sans que sa position ne change.

Lentilles minces

Définition (lentille mince)

Une lentille est dite *mince* si son épaisseur est faible. Les dioptres la constituant sont alors considérés accolés et un rayon la traversant subit seulement un changement de direction sans que sa position ne change.

- faible devant les deux rayons de courbe et devant la différence de leurs valeurs algébriques
- le schéma traduit le caractère mince : pas d'épaisseur

Foyers distincts

Foyers distincts

beaucoup de similitudes avec le miroir mais une différence fondamentale : $F \neq F'$

Foyers distincts

beaucoup de similitudes avec le miroir mais une différence fondamentale : $F \neq F'$

Définition (Centre optique et distance focale)

Le *centre optique*, noté O, d'une lentille mince est l'intersection du plan de la lentille avec son axe optique.
La distance focale image, notée f' (resp. objet, notée f), d'une lentille mince de foyer image F' (resp. de foyer objet F) est la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (resp. $\overline{OF}$).

- le centre est ici l'intersection avec Δ, rien à voir avec les centres des dioptres sphériques.

Foyers distincts

beaucoup de similitudes avec le miroir mais une différence fondamentale : $F \neq F'$

Définition (Centre optique et distance focale)

Le *centre optique*, noté O, d'une lentille mince est l'intersection du plan de la lentille avec son axe optique.
La distance focale image, notée f' (resp. objet, notée f), d'une lentille mince de foyer image F' (resp. de foyer objet F) est la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (resp. $\overline{OF}$).

- le centre est ici l'intersection avec Δ, rien à voir avec les centres des dioptres sphériques.
- $f' > 0$ pour convergente, $f' < 0$ pour divergente

Foyers distincts

beaucoup de similitudes avec le miroir mais une différence fondamentale : $F \neq F'$

Définition (Centre optique et distance focale)

Le *centre optique*, noté O, d'une lentille mince est l'intersection du plan de la lentille avec son axe optique.
La distance focale image, notée f' (resp. objet, notée f), d'une lentille mince de foyer image F' (resp. de foyer objet F) est la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (resp. $\overline{OF}$).

- le centre est ici l'intersection avec Δ, rien à voir avec les centres des dioptres sphériques.
- $f' > 0$ pour convergente, $f' < 0$ pour divergente
- signes différents du cas du miroir (changement de direction de propagation à la réflexion)

Une seule distance focale

On constate[1] que la distance focale image est la même quand on retourne la lentille,

1. On le montrerait avec les relations de conjugaison du dioptre sphérique.

Une seule distance focale

On constate[1] que la distance focale image est la même quand on retourne la lentille,
le principe du retour inverse assure alors que $f = -f'$:

Foyers et vergence d'une lentille mince

Les foyers objet et image d'une lentille mince sont symétriques par rapport à son centre optique. Ils sont réels (resp. virtuels) pour une lentille convergente (resp. divergente). La vergence V, définie par $V = \frac{1}{f'}$ est alors positive (resp. négative).

1. On le montrerait avec les relations de conjugaison du dioptre sphérique.

La connaissance des foyers suffit pour déterminer l'image d'un point B hors de l'axe par une lentille mince (dans Gauss).

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ :
- le rayon passant par F :
- le rayon passant par O : n

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : émerge en passant par F'
- le rayon passant par F :
- le rayon passant par O : n

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : émerge en passant par F'
- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ
- le rayon passant par O : n

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

le tracé du troisième rayon est une conséquence géométrique des deux premiers

Objet à distance finie

Pour A sur Δ, on introduit B hors de l'axe, dans le même plan orthogonal à Δ que A. On sait tracer la marche de 3 rayons particuliers passant par B :

- le rayon parallèle à Δ : émerge en passant par F'
- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ
- le rayon passant par O : émerge en passant par On

Centre optique

Un rayon passant par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.

le tracé du troisième rayon est une conséquence géométrique des deux premiers

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

On sait tracer la marche de 2 rayons parallèles particuliers d'un faisceau collimaté incliné de α.

- le rayon passant par F :
- le rayon passant par O :

Positions des foyers secondaires d'une lentille mince

La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

On sait tracer la marche de 2 rayons parallèles particuliers d'un faisceau collimaté incliné de α.

- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ
- le rayon passant par O :

Positions des foyers secondaires d'une lentille mince

La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

Objet à l'infini hors de l'axe, vu sous $\alpha \ll 1$

On sait tracer la marche de 2 rayons parallèles particuliers d'un faisceau collimaté incliné de α.

- le rayon passant par F : émerge parallèle à Δ
- le rayon passant par O : n'est pas dévié

Positions des foyers secondaires d'une lentille mince

La distance à l'axe optique du foyer secondaire d'une lentille mince associé à l'incidence α à son foyer est donnée, à l'approximation de Gauss, par $F'F'_\alpha = |\alpha f'|$.

Marche d'un rayon quelconque

On détermine la marche :

- d'un rayon quelconque tombant sur le miroir avec l'incidence α non nulle en le faisant passer par le foyer image secondaire associé à l'incidence α,

Marche d'un rayon quelconque

On détermine la marche :

- d'un rayon quelconque tombant sur le miroir avec l'incidence α non nulle en le faisant passer par le foyer image secondaire associé à l'incidence α,
- d'un rayon quelconque émergeant avec l'incidence α non nulle en le faisant provenir du foyer objet secondaire associé à l'incidence α.

Relations de Newton[2] (origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

2. Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Newton[2] (origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

Relations de Newton

Soient A un point de l'axe Δ et A' son image sur Δ :

- leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Newton :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2.$$

2. Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Newton[2] (origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

Relations de Newton

Soient A un point de l'axe Δ et A' son image sur Δ :

- leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Newton :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2.$$

- le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathcal{P}_A$ et $\mathcal{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}.$$

2. Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Newton[2] (origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

Relations de Newton

Soient A un point de l'axe Δ et A' son image sur Δ :

- leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Newton :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2.$$

- le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathcal{P}_A$ et $\mathcal{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}.$$

2. Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Newton[2] (origine aux foyers)

formules de conjugaison : donnent la position de l'image en fonction de celle de l'objet

Relations de Newton

Soient A un point de l'axe Δ et A' son image sur Δ :

- leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Newton :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2.$$

- le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathcal{P}_A$ et $\mathcal{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}.$$

Démonstration géométrique, ne faisant appel qu'aux caractéristiques des foyers.

2. Sir I. Newton, physicien anglais (1643-1727).

Relations de Descartes (origine au centre)

Relations équivalentes mais repérant les positions par rapport à S (physiquement localisable)

Relations de Descartes[3]

Soient A un point de l'axe optique Δ et A' son image sur Δ.

- Leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}.$$

3. R. Descartes (1596-1650) mathématicien, physicien et philosophe français

Relations de Descartes (origine au centre)

Relations équivalentes mais repérant les positions par rapport à S (physiquement localisable)

Relations de Descartes[3]

Soient A un point de l'axe optique Δ et A' son image sur Δ.

- Leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}.$$

- Le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathcal{P}_A$ et $\mathcal{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

3. R. Descartes (1596-1650) mathématicien, physicien et philosophe français

Relations de Descartes (origine au centre)

Relations équivalentes mais repérant les positions par rapport à S (physiquement localisable)

Relations de Descartes[3]

Soient A un point de l'axe optique Δ et A' son image sur Δ.

- Leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}.$$

- Le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathcal{P}_A$ et $\mathcal{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

3. R. Descartes (1596-1650) mathématicien, physicien et philosophe français

Relations de Descartes (origine au centre)

Relations équivalentes mais repérant les positions par rapport à S (physiquement localisable)

Relations de Descartes[3]

Soient A un point de l'axe optique Δ et A' son image sur Δ.

- Leurs positions sont reliées par la *relation de conjugaison* de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}.$$

- Le grandissement transversal γ_t entre les plans $\mathcal{P}_A$ et $\mathcal{P}'_{A'}$ s'exprime selon :

$$\gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

3. R. Descartes (1596-1650) mathématicien, physicien et philosophe français.

Comparaison miroir/lentille

les constructions géométriques du miroir s'obtiennent par « retournement » de celles de la lentille

Comparaison miroir/lentille

les constructions géométriques du miroir s'obtiennent par « retournement » de celles de la lentille
il existe des relations de conjugaison pour le miroir à ne surtout pas apprendre

	miroir $f = +f'$	lentille $f = -f'$
Newton	$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = f.f' = f'^2$ $\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} (= -\frac{f'}{\overline{FA}}) = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$	$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = f.f' = -f'^2$ $\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}} (= \frac{f'}{\overline{FA}}) = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$
Descartes	$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{f'}$ $\gamma_t = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$	$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ $\gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Comparaison miroir/lentille

les constructions géométriques du miroir s'obtiennent par « retournement » de celles de la lentille

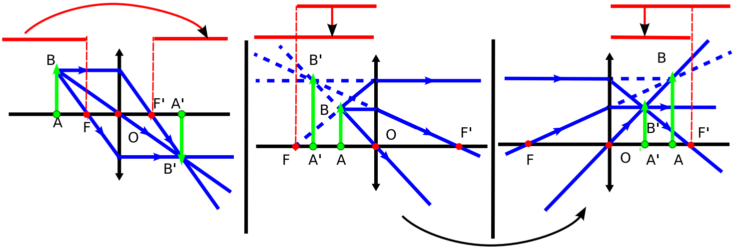
il existe des relations de conjugaison pour le miroir à ne surtout pas apprendre

	miroir $f = +f'$	lentille $f = -f'$
Newton	$\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = f.f' = f'^2$ $\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}}\left(= -\frac{f'}{\overline{FA}}\right) = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$	$\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = f.f' = -f'^2$ $\gamma_t = -\frac{f}{\overline{FA}}\left(= \frac{f'}{\overline{FA}}\right) = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$
Descartes	$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{f'}$ $\gamma_t = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$	$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ $\gamma_t = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

☠ toujours refaire un schéma pour vérifier la cohérence des résultats, comprendre le dispositif

Zones d'une lentille convergente

Figures animées pour la physique



Zone de projection : rétroprojecteur, projecteur de cinéma, objectif de lunette astronomique (ou miroir dans le cas d'un téléscope)

Zone de loupe : loupe, oculaire de lunette/télescope/microscope

Zones d'une lentille convergente

On utilise les deux formules $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

Zones d'une lentille convergente

On utilise les deux formules $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

objet		image		
réel	$\overline{FA} < 0$	réelle	$\overline{F'A'} > 0$	$\gamma_t < 0$
	$\begin{cases} -f' < \overline{OA} & < 0 \\ \rightarrow 0 < \overline{FA} & < f' \end{cases}$	virtuelle	$\begin{cases} \overline{F'A'} & < -f' \\ \rightarrow \overline{OA'} & < 0 \end{cases}$	$\gamma_t > 1$
virtuel	$\begin{cases} \overline{FA} & > f' \\ \rightarrow \overline{OA} & > 0 \end{cases}$	réelle	$\begin{cases} -f' < \overline{F'A'} & < 0 \\ \rightarrow 0 < \overline{OA'} & < f' \end{cases}$	$0 < \gamma_t < 1$

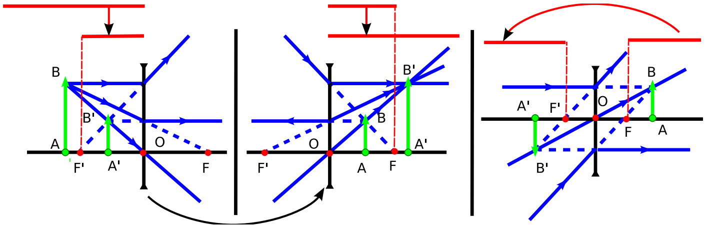
Zones d'une lentille convergente

On utilise les deux formules $\overline{FA}\cdot\overline{F'A'} = -f'^2 \quad \gamma_t = \frac{f'}{\overline{FA}}$

objet		image		
réel	$\overline{FA} < 0$	réelle	$\overline{F'A'} > 0$	$\gamma_t < 0$
réel	$\begin{cases} -f' < \overline{OA} & < 0 \\ \rightarrow 0 < \overline{FA} & < f' \end{cases}$	virtuelle	$\begin{cases} \overline{F'A'} & < -f' \\ \rightarrow \overline{OA'} & < 0 \end{cases}$	$\gamma_t > 1$
virtuel	$\begin{cases} \overline{FA} & > f' \\ \rightarrow \overline{OA} & > 0 \end{cases}$	réelle	$\begin{cases} -f' < \overline{F'A'} & < 0 \\ \rightarrow 0 < \overline{OA'} & < f' \end{cases}$	$0 < \gamma_t < 1$

- ♡ configuration « $2f - 2f$ », $\gamma_t = -1$
- on en déduit les zones du miroir concave par repliement de l'espace image :
- zone de projection <-> miroir de téléscope
- zone de loupe <-> miroir grossissant

Zones d'une lentille divergente



Zones d'une lentille divergente

	objet	image		
réel	$\begin{cases}\overline{OA} & < 0 \\ \to \overline{FA} & < -\lvert f'\rvert\end{cases}$	virtuelle	$0 < \overline{F'A'} < \lvert f'\rvert$	$0 < \gamma_t < 1$
virtuel	$\begin{cases}0 < \overline{OA} & < \lvert f'\rvert \\ -\lvert f'\rvert < \overline{FA} & < 0\end{cases}$	réelle	$\begin{cases}\overline{F'A'} & > \lvert f'\rvert \\ \to \overline{OA'} & > 0\end{cases}$	$\gamma_t > 1$
	$\overline{FA} > 0$	virtuelle	$\overline{F'A'} < 0$	$\gamma < 0$

Zones d'une lentille divergente

	objet	image		
réel	$\begin{cases} \overline{OA} & < 0 \\ \rightarrow \overline{FA} & < -\|f'\| \end{cases}$	virtuelle	$0 < \overline{F'A'} < \|f'\|$	$0 < \gamma_t < 1$
virtuel	$\begin{cases} 0 < \overline{OA} & < \|f'\| \\ -\|f'\| < \overline{FA} & < 0 \end{cases}$	réelle	$\begin{cases} \overline{F'A'} & > \|f'\| \\ \rightarrow \overline{OA'} & > 0 \end{cases}$	$\gamma_t > 1$
	$\overline{FA} > 0$	virtuelle	$\overline{F'A'} < 0$	$\gamma < 0$

- 1[re]zone : verre de myope
- 2[e]zone : doubleur de focale (photographie)

Définition (Instruments objectif et subjectif)

Un instrument est dit *objectif* s'il est utilisé pour former des images réelles à distance finie.
Un instrument est dit *subjectif* s'il est utilisé pour former des images au *punctum remotum* de l'observateur.

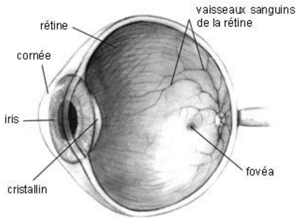
Définition (Instruments objectif et subjectif)

Un instrument est dit *objectif* s'il est utilisé pour former des images réelles à distance finie.
Un instrument est dit *subjectif* s'il est utilisé pour former des images au *punctum remotum* de l'observateur.

objectif
- l'œil forme des images sur la rétine
- un objectif d'appareil photo les forme sur la pellicule
- un rétro/vidéoprojecteur les forme sur l'écran

subjectif : il possède un *oculaire* où l'observateur vient placer son œil
- une loupe
- une lunette astronomique/télescope
- un microscope

Constitution et fonctionnement de l'œil



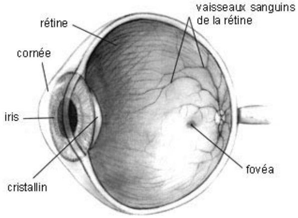
Modélisé comme :

diaphragme: iris

lentille (focale f_0'): cornée + humeur aqueuse + cristallin + humeur vitrée

écran: rétine

Constitution et fonctionnement de l'œil

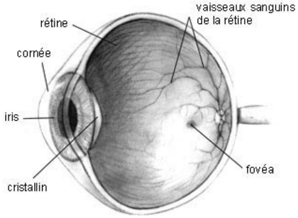


Modélisé comme :

diaphragme:	iris
lentille (focale f_0'):	cornée + humeur aqueuse + cristallin + humeur vitrée
écran:	rétine

- au repos $f_0' \simeq 2\,\mathrm{cm}$ (distance cristallin-rétine)

Constitution et fonctionnement de l'œil



Modélisé comme :

diaphragme:	iris
lentille (focale f'_0):	cornée + humeur aqueuse + cristallin + humeur vitrée
écran:	rétine

- au repos $f'_0 \simeq 2\,\mathrm{cm}$ (distance cristallin-rétine)
- la vergence peut augmenter par déformation du cristallin (muscles ciliaires)

Accomodation

Définition (accomodation)

L'*accommodation* est la modification de la vergence du cristallin par contraction musculaire. Les caractéristiques de ce dernier permettent la vision nette entre deux points :

punctum proximum (P.P.) : le point le plus proche,

punctum remotum (P.R.) : le point le plus éloigné.

Accomodation

Définition (accomodation)

L'*accommodation* est la modification de la vergence du cristallin par contraction musculaire. Les caractéristiques de ce dernier permettent la vision nette entre deux points :

punctum proximum (P.P.) : le point le plus proche,

punctum remotum (P.R.) : le point le plus éloigné.

- P.R. à l'infini permet la vision à l'infini sans fatigue
- typiquement : $P.P$ à 20 cm

Définition (Défauts de l'œil)

Un œil dont le *punctum remotum* est à l'infini est dit *emmétrope*. L'œil est dit :

- **myope** si le *punctum remotum* est à distance finie,
- **hypermétrope** si le *punctum proximum* est trop éloigné.
- **astigmate** si le cristallin ne présente pas la symétrie de révolution.

Définition (Défauts de l'œil)

Un œil dont le *punctum remotum* est à l'infini est dit *emmétrope*. L'œil est dit :

- myope si le *punctum remotum* est à distance finie,
- hypermétrope si le *punctum proximum* est trop éloigné.
- astigmate si le cristallin ne présente pas la symétrie de révolution.

myope: cristallin trop convergent au repos, vision nette à l'infini impossible

Définition (Défauts de l'œil)

Un œil dont le *punctum remotum* est à l'infini est dit *emmétrope*. L'œil est dit :

- **myope** si le *punctum remotum* est à distance finie,
- **hypermétrope** si le *punctum proximum* est trop éloigné.
- **astigmate** si le cristallin ne présente pas la symétrie de révolution.

- **myope:** cristallin trop convergent au repos, vision nette à l'infini impossible
- **hypermétrope:** cristallin pas assez convergent au repos, il faut accomoder pour voir net à l'infini

Définition (Défauts de l'œil)

Un œil dont le *punctum remotum* est à l'infini est dit *emmétrope*. L'œil est dit :

- **myope** si le *punctum remotum* est à distance finie,
- **hypermétrope** si le *punctum proximum* est trop éloigné.
- **astigmate** si le cristallin ne présente pas la symétrie de révolution.

- **myope:** cristallin trop convergent au repos, vision nette à l'infini impossible
- **hypermétrope:** cristallin pas assez convergent au repos, il faut accomoder pour voir net à l'infini
- **astigmate** vergence différente selon le plan de propagation des rayons, images d'un plan toujours floues

Définition (Défauts de l'œil)

Un œil dont le *punctum remotum* est à l'infini est dit *emmétrope*. L'œil est dit :

- **myope** si le *punctum remotum* est à distance finie,
- **hypermétrope** si le *punctum proximum* est trop éloigné.
- **astigmate** si le cristallin ne présente pas la symétrie de révolution.

- **myope:** cristallin trop convergent au repos, vision nette à l'infini impossible
- **hypermétrope:** cristallin pas assez convergent au repos, il faut accomoder pour voir net à l'infini
- **astigmate** vergence différente selon le plan de propagation des rayons, images d'un plan toujours floues
- **presbytie:** diminution du pouvoir d'accomodation, le (P.P.) s'éloigne

Exercice : Variations de vergence de l'œil

1. Déterminer la distance focale maximale, notée $f'_{\max}$ d'un œil emmétrope. On le modélisera comme une lentille mince projetant des images réelles sur un écran plan (la rétine) situé à $d_r = 2{,}0\,\text{cm}$.
2. Déterminer la distance focale, notée $f'_{\min}$ de l'œil quand il accommode sur un *punctum proximum* situé à $d_{\min} = 25{,}0\,\text{cm}$.
3. En déduire la variation relative $\frac{f'_{\max}-f'_{\min}}{f'_{\max}}$ de distance focale entre les deux accommodations extrêmes dont on donnera une valeur approximative en fonction de $f'_{\min} \simeq f'_{\max} = f'_0$ et $d_{\min}$.

Correction

1. $\frac{1}{f'_{\text{min}}} = \frac{1}{f'_{\text{max}}} + \frac{1}{d_{\text{min}}} \quad \rightarrow f'_{\text{min}} = 1,85\text{cm}$
2. $\frac{\Delta f'}{f'} = \frac{f'_{\text{max}} - f'_{\text{min}}}{f'_0} \simeq \frac{f'_0}{d_{\text{min}}} \simeq 8\%.$

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme *pouvoir séparateur* β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme *pouvoir séparateur* β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}{}^\circ$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\mathrm{m}$

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme *pouvoir séparateur* β_{s} la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}{}^\circ$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu\mathrm{m}$ correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :

- $H \simeq 50\,\mu\mathrm{m}$ pour un objet au P.P.

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme *pouvoir séparateur* β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}{}^\circ$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu m$ correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :

- $H \simeq 50\,\mu m$ pour un objet au P.P.
- $H \simeq 80\,km$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,km$)

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme *pouvoir séparateur* β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu m$ correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :

- $H \simeq 50\,\mu m$ pour un objet au P.P.
- $H \simeq 80\,km$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,km$)

Pouvoir séparateur

Définition (Pouvoir séparateur)

On nomme *pouvoir séparateur* β_s la plus petite séparation angulaire distinguable par un instrument d'optique.

pour l'œil, $\beta \simeq 1' = \frac{1}{60}°$, avec des cellules rétiniennes de taille $d_r \simeq 4\,\mu m$ correspond à une taille $H \simeq \beta d$ pour un objet à une distance d :

- $H \simeq 50\,\mu m$ pour un objet au P.P.
- $H \simeq 80\,km$ pour un objet sur la Lune ($d = 380\,000\,km$)

pour de meilleurs instruments, c'est la diffraction qui limite le pouvoir séparateur :

- la diffraction d'un faisceau collimaté par un diaphragme de rayon R est dans un cône d'angle $\propto \lambda/R$
- une lentille convergente focalise ce faisceau à la distance f'
- si son rayon est R, on aura diffraction dans un cône de rayon $\propto \lambda/R$
- on peut montrer que dans le plan focal, on aura une tâche de rayon $\propto f'\lambda/R$

Accolement de lentilles minces

Deux lentilles minces de vergences V_1 et V_2 accolées réalisent une lentille mince de vergence

$$\begin{cases} V & = V_1 + V_2 \\ \frac{1}{f'} & = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \end{cases}$$

Accolement de lentilles minces

Deux lentilles minces de vergences V_1 et V_2 accolées réalisent une lentille mince de vergence

$$\begin{cases} V & = V_1 + V_2 \\ \frac{1}{f'} & = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \end{cases}$$

On écrit :

$$A \xrightarrow[L_1]{} A_1 \xrightarrow[L_2]{} A'$$

Accolement de lentilles minces

Deux lentilles minces de vergences V_1 et V_2 accolées réalisent une lentille mince de vergence

$$\begin{cases} V & = V_1 + V_2 \\ \frac{1}{f'} & = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \end{cases}$$

On écrit :

$$A \xrightarrow[L_1]{} A_1 \xrightarrow[L_2]{} A'$$

- permet de former une convergente à partir d'une divergente et d'une convergente pour mesurer sa focale (cf TP)

Accolement de lentilles minces

Deux lentilles minces de vergences V_1 et V_2 accolées réalisent une lentille mince de vergence

$$\begin{cases} V & = V_1 + V_2 \\ \frac{1}{f'} & = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \end{cases}$$

On écrit :

$$A \xrightarrow[L_1]{} A_1 \xrightarrow[L_2]{} A'$$

- permet de former une convergente à partir d'une divergente et d'une convergente pour mesurer sa focale (cf TP)
- faux si elles ne sont pas accolées : on peut même obtenir un système sans foyers (dit « afocal »)

Définition (Système afocal)

Un système est dit *afocal* s'il fournit d'un objet à l'infini une image elle aussi à l'infini.

Principe d'une lunette astronomique/téléscope

Définition (Lunette et télescope)

Une lunette astronomique ou un télescope se compose d'un *objectif* et d'un *oculaire* dont les plans focaux image et objet coïncident en un plan dit *réticulaire* :

- l'objectif forme une image intermédiaire réelle d'un objet à l'infini dans le plan réticulaire.
- l'oculaire forme de cette image intermédiaire une image située au *punctum remotum* de l'observateur.

Principe d'une lunette astronomique/téléscope

Définition (Lunette et télescope)

Une lunette astronomique ou un télescope se compose d'un *objectif* et d'un *oculaire* dont les plans focaux image et objet coïncident en un plan dit *réticulaire* :

- l'objectif forme une image intermédiaire réelle d'un objet à l'infini dans le plan réticulaire.
- l'oculaire forme de cette image intermédiaire une image située au *punctum remotum* de l'observateur.

- un téléscope utilise un miroir sphérique pour l'objectif, pour limiter les aberrations chromatiques (Newton 1672)

Principe d'une lunette astronomique/téléscope

Définition (Lunette et télescope)

Une lunette astronomique ou un télescope se compose d'un *objectif* et d'un *oculaire* dont les plans focaux image et objet coïncident en un plan dit *réticulaire* :

- l'objectif forme une image intermédiaire réelle d'un objet à l'infini dans le plan réticulaire.
- l'oculaire forme de cette image intermédiaire une image située au *punctum remotum* de l'observateur.

- un téléscope utilise un miroir sphérique pour l'objectif, pour limiter les aberrations chromatiques (Newton 1672)
- lunette et téléscope donnent une image renversée si l'objectif et l'oculaire sont convergents

Principe d'une lunette astronomique/téléscope

Définition (Lunette et télescope)

Une lunette astronomique ou un télescope se compose d'un *objectif* et d'un *oculaire* dont les plans focaux image et objet coïncident en un plan dit *réticulaire* :

- l'objectif forme une image intermédiaire réelle d'un objet à l'infini dans le plan réticulaire.
- l'oculaire forme de cette image intermédiaire une image située au *punctum remotum* de l'observateur.

- un téléscope utilise un miroir sphérique pour l'objectif, pour limiter les aberrations chromatiques (Newton 1672)
- lunette et téléscope donnent une image renversée si l'objectif et l'oculaire sont convergents
- en utilisant un oculaire divergent, on obtient une lunette donnant une image droite (Galilée 1609)

Performances et limitations

Performances

Le *grossissement* d'un système afocal formé de deux lentilles (ou miroirs) successives de distances focales f'_1 puis f'_2 est

$$G = -\frac{f'_1}{f'_2}.$$

Performances et limitations

Performances

Le *grossissement* d'un système afocal formé de deux lentilles (ou miroirs) successives de distances focales f_1' puis f_2' est

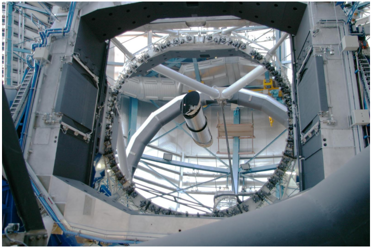
$$G = -\frac{f_1'}{f_2'}.$$

On veut f_1' grand et f_2' petit :

Limitations

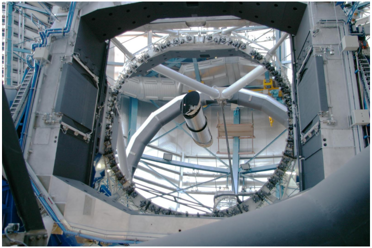
oculaire on doit choisir un petit diamètre pour limiter les aberrations géométriques et l'adapter à l'œil

objectif on peut prendre un grand diamètre sans avoir trop d'aberrations mais les turbulences atmosphériques brouillent les images



VLT (8 m) au Chili

SALT (10 m) Afrique du Sud



VLT (8 m) au Chili

SALT (10 m) Afrique du Sud

diffraction	0,015″ d'arc
turbulences	0,1″

correspond à 200 m sur la Lune.

Définition (Aberrations)

Les aberrations d'un système optique réel (non idéal) désignent les défauts de l'image qu'il donne d'un objet. On distingue :

- les aberrations *chromatiques*, dues à la dispersion du matériau utilisé,
- les aberrations *géométriques*, dues aux écarts aux conditions de Gauss.

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du verre

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du verre
- déforment les images d'objets colorés

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du verre
- déforment les images d'objets colorés

Aberrations chromatiques

- dues à la dispersion du verre
- déforment les images d'objets colorés

partiellement corrigeables :

- en utilisant un filtre coloré...
- en accolant une convergente et une divergente (fonctionne seulement au voisinage d'une longueur d'onde particulière)

Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille

Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

on illustre le cas des aberrations « sphériques », quand l'objet est un point de l'axe optique

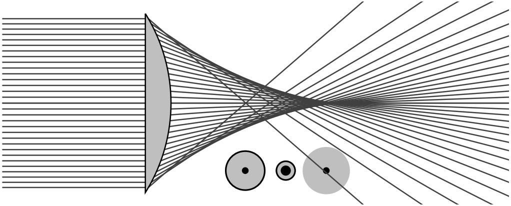
Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

on illustre le cas des aberrations « sphériques », quand l'objet est un point de l'axe optique

- plusieurs foyers : marginal, paraxial
- nappes : sagittale et tangentielle



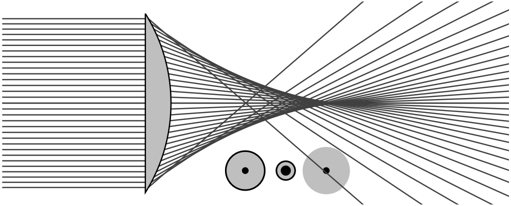
Aberrations géométriques

Dues aux rayons « non paraxiaux »

- inclinaison des rayons sur la lentille
- éloignement de l'axe optique

on illustre le cas des aberrations « sphériques », quand l'objet est un point de l'axe optique

- plusieurs foyers : marginal, paraxial
- nappes : sagittale et tangentielle



règle des « 4 P » (plus plat, plus proche) pour choisir le sens de placement d'une lentille minimisant ces aberrations

1. Miroir sphérique

2. Lentilles minces

3. Applications et limites

4. Approche documentaire : caractéristiques d'un appareil photographique

Indispensable

- position des foyers miroir / lentille (y compris les foyers secondaires)
- constructions objet distance finie/infinie
- relations de Newton/Descartes avec leur schéma, vérifier la cohérence dans des cas particuliers $A = \infty\,, S\,, C\,, F$
- zones des lentilles à savoir retrouver