

Formation des images optiques

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

lundi 13 septembre 2021

Formation des images optiques

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

lundi 13 septembre 2021

- ▶ conception au XVII^e des premières lunettes et télescopes

- ▶ conception au XVII^e des premières lunettes et télescopes
- ▶ utilité : observer des détails plus fins qu'à l'œil nu

- ▶ conception au XVII^e des premières lunettes et télescopes
- ▶ utilité : observer des détails plus fins qu'à l'œil nu
- ▶ moyen : former une image « grossie » (*ie* plus grande et/ou plus proche) d'un objet lumineux au moyen de réflexions/réfractions (lois de Snell et Descartes)

- ▶ conception au XVII^e des premières lunettes et télescopes
- ▶ utilité : observer des détails plus fins qu'à l'œil nu
- ▶ moyen : former une image « grossie » (*ie* plus grande et/ou plus proche) d'un objet lumineux au moyen de réflexions/réfractions (lois de Snell et Descartes)
- ▶ l'œil doit interpréter cette image comme il interpréterait l'objet initial

- ▶ conception au XVII^e des premières lunettes et télescopes
- ▶ utilité : observer des détails plus fins qu'à l'œil nu
- ▶ moyen : former une image « grossie » (*ie* plus grande et/ou plus proche) d'un objet lumineux au moyen de réflexions/réfractions (lois de Snell et Descartes)
- ▶ l'œil doit interpréter cette image comme il interpréterait l'objet initial
- ▶ à chaque point lumineux de l'objet doit correspondre un point lumineux de l'image : c'est la condition de *stigmatisme* (image nette)

1. Propriétés recherchées

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

1. Propriétés recherchées

1.1 Principe

1.2 Source lumineuse

1.3 Images, réelles et virtuelles

1.4 Stigmatisme

1.5 Illustration

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

Camera obscura

- ▶ on perce un trou dans une boîte opaque



[camera_obscura_principe]
[camera_obscura_hotel]

Camera obscura

- ▶ on perce un trou dans une boîte opaque
- ▶ on observe une image « à l'envers » sur un écran placé au fond



[camera_obscura_principe]
[camera_obscura_hotel]

Camera obscura

- ▶ on perce un trou dans une boîte opaque
- ▶ on observe une image « à l'envers » sur un écran placé au fond
- ▶ l'image est d'autant plus nette que le trou est petit, mais on perd en luminosité

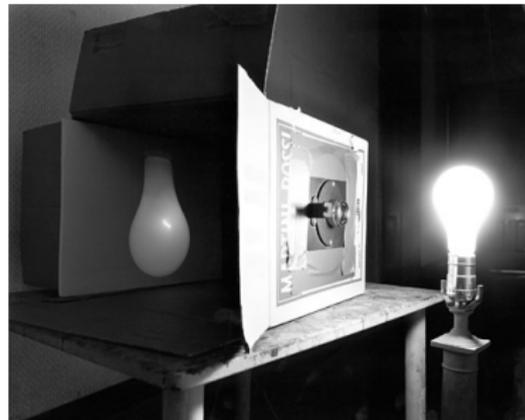


[camera_obscura_principe]

[camera_obscura_hotel]

Camera obscura

- ▶ on perce un trou dans une boîte opaque
- ▶ on observe une image « à l'envers » sur un écran placé au fond
- ▶ l'image est d'autant plus nette que le trou est petit, mais on perd en luminosité



[camera_obscura_principe]
[camera_obscura_hotel]

principe de la formation de l'image : tout rayon issu de l'objet doit parvenir en un même point de l'image

Camera obscura

- ▶ on perce un trou dans une boîte opaque
- ▶ on observe une image « à l'envers » sur un écran placé au fond
- ▶ l'image est d'autant plus nette que le trou est petit, mais on perd en luminosité

[camera_obscura_principe]



[camera_obscura_hotel]

principe de la formation de l'image : tout rayon issu de l'objet doit parvenir en un même point de l'image

Appareil photographique

- ▶ on souhaite que davantage de rayons issus d'un point de l'objet parviennent en un même point de l'image (capteur CCD, pellicule)

Appareil photographique

- ▶ on souhaite que davantage de rayons issus d'un point de l'objet parviennent en un même point de l'image (capteur CCD, pellicule)
- ▶ on utilise la **réfraction** par une ou plusieurs **lentilles** constituant l'objectif

1. Propriétés recherchées

1.1 Principe

1.2 Source lumineuse

1.3 Images, réelles et virtuelles

1.4 Stigmatisme

1.5 Illustration

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

- ▶ source **primaire** : produit elle même la lumière

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

- ▶ source **primaire** : produit elle même la lumière

Exemple (Source primaire)

soleil, bougie, lampe, écran d'ordinateur, téléphone

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

- ▶ source **primaire** : produit elle même la lumière

Exemple (Source primaire)

soleil, bougie, lampe, écran d'ordinateur, téléphone

- ▶ source **secondaire** : réfléchit, diffuse ou transmet la lumière

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

- ▶ source **primaire** : produit elle même la lumière

Exemple (Source primaire)

soleil, bougie, lampe, écran d'ordinateur, téléphone

- ▶ source **secondaire** : réfléchit, diffuse ou transmet la lumière

Exemple (Source secondaire)

miroir, objet coloré, écran à « encre électronique », trou

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

- ▶ source **primaire** : produit elle même la lumière

Exemple (Source primaire)

soleil, bougie, lampe, écran d'ordinateur, téléphone

- ▶ source **secondaire** : réfléchit, diffuse ou transmet la lumière

Exemple (Source secondaire)

miroir, objet coloré, écran à « encre électronique », trou

Définition (Source lumineuse)

Une *source lumineuse* est un objet physique d'où provient de la lumière.

- ▶ source **primaire** : produit elle même la lumière

Exemple (Source primaire)

soleil, bougie, lampe, écran d'ordinateur, téléphone

- ▶ source **secondaire** : réfléchit, diffuse ou transmet la lumière

Exemple (Source secondaire)

miroir, objet coloré, écran à « encre électronique », trou

- ▶ les objets lumineux étudiés seront produits indifféremment par des sources primaires ou secondaires,
- ▶ une source (primaire ou secondaire) pourra elle-même être un objet lumineux

1. Propriétés recherchées

1.1 Principe

1.2 Source lumineuse

1.3 Images, réelles et virtuelles

1.4 Stigmatisme

1.5 Illustration

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

on distingue deux types d'appareils selon les éléments qui les composent :

Définition (dioptrique, catadioptrique)

Un dispositif optique est un ensemble de dioptrés et miroirs. Il est dit :
dioptrique s'il n'est composé que de dioptrés,
catadioptriques s'il comporte au moins un miroir.

le dispositif doit faire correspondre à un point lumineux de l'objet, un unique point géométrique de l'image

le dispositif doit faire correspondre à un point lumineux de l'objet, un unique point géométrique de l'image

Définition (Objet et image)

Soit \mathcal{S} un dispositif optique et A un point nommé *objet ponctuel*.
Un point A' est dit *image ponctuelle de A par \mathcal{S}* si les rayons lumineux provenant de (ou se dirigeant vers) A et atteignant \mathcal{S} en émergent en se dirigeant vers (ou en provenant de) A' .

distinction suivant que les rayons passent **effectivement ou non** par l'objet ou l'image

distinction suivant que les rayons passent **effectivement ou non** par l'objet ou l'image

Définition (Caractère réel ou virtuel)

L'objet ponctuel A est :

réel si les rayons incidents atteignent \mathcal{S} en *provenant de* A .
On dit alors que le point A se trouve dans *l'espace objet réel*.

virtuel si les rayons incidents atteignent \mathcal{S} en *se dirigeant vers* A . On dit alors que le point A se trouve dans *l'espace objet virtuel* de \mathcal{S} .

distinction suivant que les rayons passent **effectivement ou non** par l'objet ou l'image

Définition (Caractère réel ou virtuel)

L'objet ponctuel A est :

réel si les rayons incidents atteignent \mathcal{S} en *provenant de* A .
On dit alors que le point A se trouve dans *l'espace objet réel*.

virtuel si les rayons incidents atteignent \mathcal{S} en *se dirigeant vers* A . On dit alors que le point A se trouve dans *l'espace objet virtuel* de \mathcal{S} .

L'image ponctuelle A' est :

réelle si les rayons émergent de \mathcal{S} en *se dirigeant vers* A' . On dit alors que le point A' se trouve dans *l'espace image réelle* de \mathcal{S} .

virtuelle si les rayons émergent de \mathcal{S} en *provenant de* A' . On dit alors que le point A' se trouve dans *l'espace image virtuelle* de \mathcal{S} .

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur
- ▶ l'image formée par le verre est **virtuelle**

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur
- ▶ l'image formée par le verre est **virtuelle**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur
- ▶ l'image formée par le verre est **virtuelle**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil
- ▶ sa propre image dans un miroir de salle de bain

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur
- ▶ l'image formée par le verre est **virtuelle**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil
- ▶ sa propre image dans un miroir de salle de bain
- ▶ image **virtuelle** d'un objet **réel**

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur
- ▶ l'image formée par le verre est **virtuelle**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil
- ▶ sa propre image dans un miroir de salle de bain
- ▶ image **virtuelle** d'un objet **réel**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil

Exemples

animation d'une lentille mince

- ▶ un œil ou un appareil photo observant un arbre
- ▶ objet **réel** et image **réelle**
- ▶ un œil observant l'image d'un arbre par un verre correcteur
- ▶ l'image formée par le verre est **virtuelle**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil
- ▶ sa propre image dans un miroir de salle de bain
- ▶ image **virtuelle** d'un objet **réel**
- ▶ elle constitue toujours un objet **réel** pour l'œil
- ▶ **animation d'un miroir plan**

Caractéristiques

- ▶ seule une image réelle peut être perçue par la rétine, impressionner un écran, une pellicule

Caractéristiques

- ▶ seule une image réelle peut être perçue par la rétine, impressionner un écran, une pellicule
- ▶ un objet ou une image optique n'a pas forcément d'existence matérielle (cf l'image formée par un verre correcteur)

un objet est intéressant s'il comporte plus d'un point lumineux :

un objet est intéressant s'il comporte plus d'un point lumineux :

Définition

Un *objet étendu* est un ensemble d'objets ponctuels : le dispositif en forme une *image étendue*.

1. Propriétés recherchées

1.1 Principe

1.2 Source lumineuse

1.3 Images, réelles et virtuelles

1.4 Stigmatisme

1.5 Illustration

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

Définition (Stigmatisme exact/rigoureux)

Un système optique \mathcal{S} est dit **rigoureusement stigmatique** pour un couple de points A et A' si tout rayon lumineux passant (réellement ou virtuellement) par A (resp. par A') et atteignant \mathcal{S} en émerge en passant (réellement ou virtuellement) par A' (resp. A). A et A' sont **images l'un de l'autre par \mathcal{S}** , ils sont dits **conjugués par \mathcal{S}** .

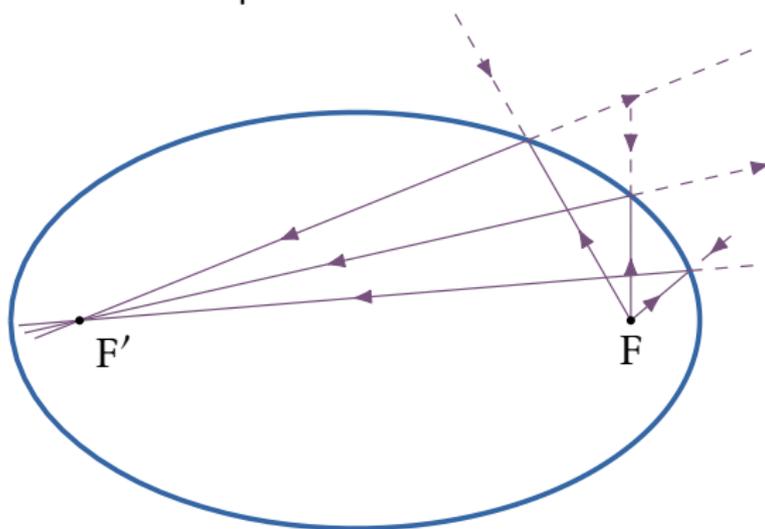
Stigmatisme exact par réflexion

les surfaces rigoureusement stigmatiques par réflexion sont des
coniques de révolution

Stigmatisme exact par réflexion

les surfaces rigoureusement stigmatiques par réflexion sont des
coniques de révolution

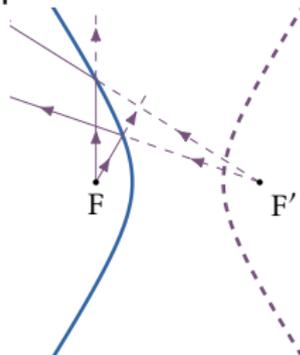
Ellipsoïde de révolution



Stigmatisme exact par réflexion

les surfaces rigoureusement stigmatiques par réflexion sont des
coniques de révolution

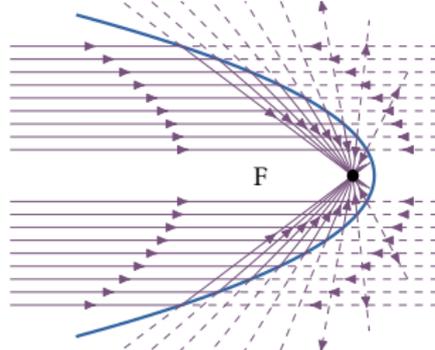
Hyperboloïde de révolution



Stigmatisme exact par réflexion

les surfaces rigoureusement stigmatiques par réflexion sont des **coniques de révolution**

Paraboloïde de révolution



Stigmatisme exact par réflexion

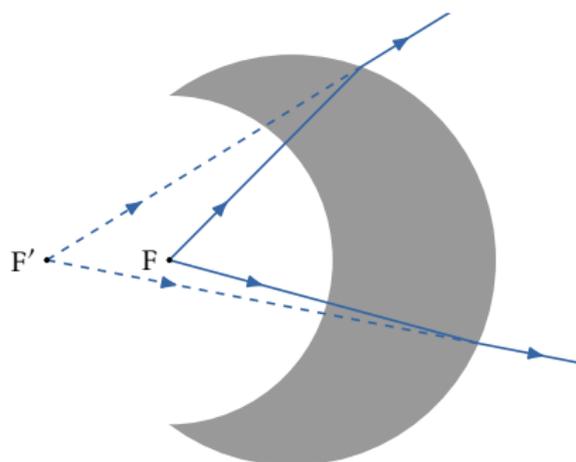
les surfaces rigoureusement stigmatiques par réflexion sont des
coniques de révolution

le stigmatisme n'est réalisé **que pour un seul couple de points** : les
foyers de la conique de révolution

Stigmatisme exact par réfraction

on montre que :

- ▶ une sphère d'indice n placée dans un milieu d'indice $\neq n$ réalise le stigmatisme exact pour un couple de points A et A'
- ▶ A est à l'intérieur de la sphère : on y taille une autre sphère de centre A pour pouvoir placer un objet réel en A



Objet et images à l'infini

comme sur l'exemple du parabolöide

Définition (Faisceau collimaté)

Un faisceau de rayons parallèles entre eux est dit *collimaté*.

Objet et images à l'infini

comme sur l'exemple du paraboloïde

Définition (Faisceau collimaté)

Un faisceau de rayons parallèles entre eux est dit *collimaté*.

On peut considérer que :

- ▶ un faisceau collimaté incident est issu d'un objet situé à l'infini,
- ▶ un faisceau collimaté émergent produit une image située à l'infini,
- ▶ un point à l'infini est caractérisé par l'angle sous lequel il est vu, *ie* l'angle du faisceau collimaté,
- ▶ un astre à l'infini est caractérisé par son *diamètre angulaire*, ou *taille apparente*.

Exemples de diamètres angulaires

- ▶ pour le Soleil, à la distance $1,5 \cdot 10^{11}$ m et de diamètre $1,4 \cdot 10^9$ m,
 $2\alpha = 9,3 \cdot 10^{-3}$ rad = $0,535^\circ = 32'$,

Exemples de diamètres angulaires

- ▶ pour le Soleil, à la distance $1,5 \cdot 10^{11}$ m et de diamètre $1,4 \cdot 10^9$ m,
 $2\alpha = 9,3 \cdot 10^{-3}$ rad = $0,535^\circ = 32'$,
- ▶ pour la Lune, à la distance $4 \cdot 10^8$ m, de diamètre $3,5 \cdot 10^6$ m, on
calcule $2\alpha = 0,50^\circ = 30'$, pratiquement égal.

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**
- ▶ on se contentera d'un stigmatisme **approché**

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**
- ▶ on se contentera d'un stigmatisme **approché**

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**
- ▶ on se contentera d'un stigmatisme **approché**

Définition (Stigmatisme approché)

Un système optique \mathcal{S} réalise un *stigmatisme approché* pour un couple de points A et A' si tout rayon lumineux passant (réellement ou virtuellement) par A et atteignant \mathcal{S} en émerge en passant (réellement ou virtuellement) *au voisinage de A'* .

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**
- ▶ on se contentera d'un stigmatisme **approché**

Définition (Stigmatisme approché)

Un système optique \mathcal{S} réalise un *stigmatisme approché* pour un couple de points A et A' si tout rayon lumineux passant (réellement ou virtuellement) par A et atteignant \mathcal{S} en émerge en passant (réellement ou virtuellement) *au voisinage de A'* .

la taille du « voisinage » permettant d'avoir une image perçue comme nette dépendra du système optique :

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**
- ▶ on se contentera d'un stigmatisme **approché**

Définition (Stigmatisme approché)

Un système optique \mathcal{S} réalise un *stigmatisme approché* pour un couple de points A et A' si tout rayon lumineux passant (réellement ou virtuellement) par A et atteignant \mathcal{S} en émerge en passant (réellement ou virtuellement) *au voisinage de A'* .

la taille du « voisinage » permettant d'avoir une image perçue comme nette dépendra du système optique :

- ▶ pour l'œil, la taille d'une cellule rétinienne suffit ($\approx 5\mu\text{m}^2$)

Stigmatisme approché

- ▶ dans la plupart des cas le stigmatisme ne peut être exact **que pour une paire de points**
- ▶ on se contentera d'un stigmatisme **approché**

Définition (Stigmatisme approché)

Un système optique \mathcal{S} réalise un *stigmatisme approché* pour un couple de points A et A' si tout rayon lumineux passant (réellement ou virtuellement) par A et atteignant \mathcal{S} en émerge en passant (réellement ou virtuellement) *au voisinage de A'* .

la taille du « voisinage » permettant d'avoir une image perçue comme nette dépendra du système optique :

- ▶ pour l'œil, la taille d'une cellule rétinienne suffit ($\approx 5\mu\text{m}^2$)
- ▶ pour un capteur CCD, la taille d'un pixel suffit ($\approx 100\mu\text{m}^2$)

1. Propriétés recherchées

1.1 Principe

1.2 Source lumineuse

1.3 Images, réelles et virtuelles

1.4 Stigmatisme

1.5 Illustration

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

Stigmatisme exact du miroir plan

Théorème (Stigmatisme exact du miroir plan)

Un miroir plan \mathcal{P} réalise, *pour tout point A*, le stigmatisme *exact* entre A et son *symétrique* par rapport à \mathcal{P} , noté A' .

L'image A' est *virtuelle* (resp. *réelle*) si A est *réel* (resp. *virtuel*).

Les espaces objet et image réels (resp. *virtuels*) sont *confondus*, du côté réfléchissant (resp. *non réfléchissant*) du miroir.

Stigmatisme exact du miroir plan

Théorème (Stigmatisme exact du miroir plan)

Un miroir plan \mathcal{P} réalise, *pour tout point A*, le stigmatisme *exact* entre A et son *symétrique* par rapport à \mathcal{P} , noté A' .

L'image A' est *virtuelle* (resp. *réelle*) si A est *réel* (resp. *virtuel*).

Les espaces objet et image réels (resp. *virtuels*) sont *confondus*, du côté réfléchissant (resp. *non réfléchissant*) du miroir.

♥ résultat remarquable à connaître absolument animation d'un miroir plan

Stigmatisme approché : casserole cylindrique

animation d'un miroir sphérique



[nephroid_lait]

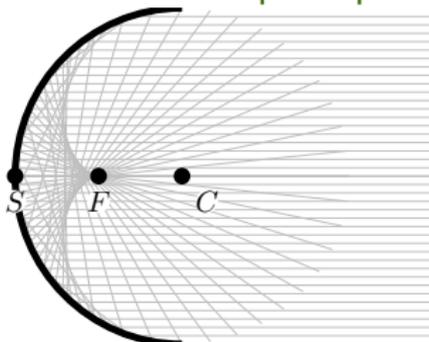
- ▶ casserole métallique, partiellement remplie de lait
- ▶ éclairée par une ampoule placée assez loin
- ▶ le lait diffuse la lumière
- ▶ l'intensité n'est pas uniforme : accumulation de lumière au voisinage d'un point

modélisation :

- ▶ la casserole est un **miroir cylindrique**

Stigmatisme approché : casserole cylindrique

animation d'un miroir sphérique

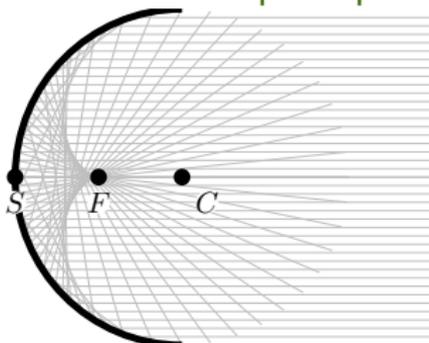


modélisation :

- ▶ la casserole est un **miroir cylindrique**
- ▶ la source lumineuse est « à l'infini » : elle produit un faisceau **collimaté**

Stigmatisme approché : casserole cylindrique

animation d'un miroir sphérique

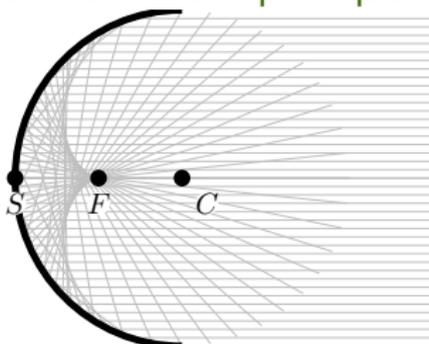


modélisation :

- ▶ la casserole est un **miroir cylindrique**
- ▶ la source lumineuse est « à l'infini » : elle produit un faisceau **collimaté**
- ▶ de nombreux rayons s'intersectent au voisinage d'un point noté **F**, nommé **foyer**, au milieu du rayon

Stigmatisme approché : casserole cylindrique

animation d'un miroir sphérique



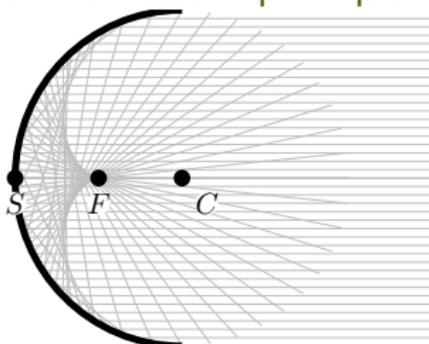
- ▶ la casserole réalise le **stigmatisme approché** entre **l'infini** et le **foyer**, uniquement pour les rayons **proches de l'axe** du système

modélisation :

- ▶ la casserole est un **miroir cylindrique**
- ▶ la source lumineuse est « à l'infini » : elle produit un faisceau **collimaté**
- ▶ de nombreux rayons s'intersectent au voisinage d'un point noté **F**, nommé **foyer**, au milieu du rayon

Stigmatisme approché : casserole cylindrique

animation d'un miroir sphérique



modélisation :

- ▶ la casserole est un **miroir cylindrique**
- ▶ la source lumineuse est « à l'infini » : elle produit un faisceau **collimaté**
- ▶ de nombreux rayons s'intersectent au voisinage d'un point noté **F**, nommé **foyer**, au milieu du rayon
- ▶ la casserole réalise le **stigmatisme approché** entre **l'infini** et le **foyer**, uniquement pour les rayons **proches de l'axe** du système
- ▶ **F** est l'image **réelle** d'un objet à l'infini, vu sous un angle nul

1. Propriétés recherchées

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

1. Propriétés recherchées

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

2.1 Systèmes centrés

2.2 Aplanétisme

2.3 Conditions de Gauss

2.4 Propriétés générales

Définition (Système centré)

Un système optique est dit *centré* si les éléments (miroirs, dioptrés) qui le composent présentent la symétrie de révolution autour d'un axe Δ , nommé *axe optique*.

Définition (Système centré)

Un système optique est dit *centré* si les éléments (miroirs, dioptries) qui le composent présentent la symétrie de révolution autour d'un axe Δ , nommé *axe optique*.

- ▶ nécessaire pour former des images non déformées d'objets plans
- ▶ on utilise des systèmes non centrés dans la projection du cinémascope, pour élargir un faisceau dans une seule direction

Orientation

on repère les positions le long de l'axe optique **orienté**

Mesure algébrique

Soit un axe Δ , orienté par vecteur unitaire \vec{e} . Pour tous points A_1 et A_2 de l'axe Δ , on définit la **mesure algébrique** $\overline{A_1A_2}$ par $\overline{A_1A_2} = \overline{A_1A_2} \vec{e}$.

Orientation

on repère les positions le long de l'axe optique **orienté**

Mesure algébrique

Soit un axe Δ , orienté par vecteur unitaire \vec{e} . Pour tous points A_1 et A_2 de l'axe Δ , on définit la **mesure algébrique** $\overline{A_1A_2}$ par $\overrightarrow{A_1A_2} = \overline{A_1A_2} \vec{e}$.

- ▶ $|\overline{A_1A_2}| = A_1A_2$
- ▶ $\overline{A_1A_2} > 0$ si $\overrightarrow{A_2A_1}$ est dans le sens de \vec{e} , ie A_2 en **aval** de A_1 pour un axe optique

1. Propriétés recherchées

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

2.1 Systèmes centrés

2.2 **Aplanétisme**

2.3 Conditions de Gauss

2.4 Propriétés générales

Définition (Système centré aplanétique)

Soit \mathcal{S} un système optique centré d'axe optique Δ . Ce système est dit *aplanétique* si les images **des points d'un plan** \mathcal{P} perpendiculaire à Δ sont **coplanaires** dans un plan \mathcal{P}' perpendiculaire à Δ . Les plans \mathcal{P} et \mathcal{P}' sont dits *conjugués*.

Définition (Système centré aplanétique)

Soit \mathcal{S} un système optique centré d'axe optique Δ . Ce système est dit *aplanétique* si les images **des points d'un plan** \mathcal{P} perpendiculaire à Δ sont **coplanaires** dans un plan \mathcal{P}' perpendiculaire à Δ . Les plans \mathcal{P} et \mathcal{P}' sont dits *conjugués*.

- ▶ nécessaire pour former dans un plan (pellicule, CCD) l'image d'un plan
- ▶  un plan en amont ou en aval de \mathcal{P} formera une « image » **floue** sur \mathcal{P}' : la *profondeur de champ* est ici nulle

1. Propriétés recherchées

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

2.1 Systèmes centrés

2.2 Aplanétisme

2.3 Conditions de Gauss

2.4 Propriétés générales

Définition (Conditions de Gauss)

Un système optique centré \mathcal{S} est utilisé dans les *conditions de Gauss*¹ s'il n'est traversé que par des rayons **proches de l'axe et peu inclinés sur l'axe**. De tels rayons sont dits *paraxiaux*.

¹J.C.F Gauss (1777–1855) mathématicien et physicien allemand

Définition (Conditions de Gauss)

Un système optique centré \mathcal{S} est utilisé dans les *conditions de Gauss*¹ s'il n'est traversé que par des rayons **proches de l'axe et peu inclinés sur l'axe**. De tels rayons sont dits *paraxiaux*.

- ▶ c'est le cas des rayons convergents vers F dans la casserole
- ▶ les angles par rapport à Δ doivent être $\ll 1$
- ▶ les distances par rapport à Δ doivent être \ll devant les rayons de courbure des dioptries/miroirs
- ▶ **deux** diaphragmes permettent de ne conserver que des rayons paraxiaux

¹J.C.F Gauss (1777–1855) mathématicien et physicien allemand

1. Propriétés recherchées

2. Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss

2.1 Systèmes centrés

2.2 Aplanétisme

2.3 Conditions de Gauss

2.4 Propriétés générales

On **admet** les propriétés suivantes pour des **systèmes centrés** dans les **conditions de Gauss**

On **admet** les propriétés suivantes pour des **systèmes centrés** dans les **conditions de Gauss**

Stigmatisme et aplanétisme approchés

- ▶ Tout point A sur l'axe optique Δ , admet une image A' elle aussi située sur Δ .
- ▶ Le plan \mathcal{P}_A orthogonal à Δ en A a pour image le plan $\mathcal{P}'_{A'}$ orthogonal à Δ en A' .

Grandissement transversal

Soient A un point de l'axe optique Δ et \mathcal{P}_A le plan perpendiculaire à Δ en A . On note A' l'image de A par \mathcal{S} et $\mathcal{P}'_{A'}$ le plan image de \mathcal{P}_A par \mathcal{S} .

On considère un plan \mathcal{P}_i contenant l'axe optique Δ dont on oriente un axe perpendiculaire à Δ . Pour tout $B \in \mathcal{P}_i \cap \mathcal{P}_A$ (hors de l'axe Δ), on désigne par \overline{AB} la *mesure algébrique* de \overrightarrow{AB} .

On montre alors que :

- ▶ l'image B' de B est dans $\mathcal{P}_i \cap \mathcal{P}'_{A'}$,
- ▶ il existe un réel γ_t^A , **indépendant de B** tel que $\frac{\overline{A'B'}}{AB} = \gamma_t^A$.

Grandissement transversal

On montre alors que :

- ▶ l'image B' de B est dans $\mathcal{P}_i \cap \mathcal{P}_{A'}$,
- ▶ il existe un réel γ_i^A , **indépendant de B** tel que $\frac{A'B'}{AB} = \gamma_i^A$.

On dit qu'il y a :

agrandissement si $|\gamma_i^A| > 1$,

réduction si $|\gamma_i^A| < 1$,

renversement si $\gamma_i^A < 0$.

- ▶ le grandissement dépend du couple de plans conjugués \mathcal{P}_A et $\mathcal{P}_{A'}$
- ▶ il existe également un grandissement **angulaire**

Indispensable

- ▶ les schémas des images réelles virtuelles,
- ▶ les définitions des propriétés des systèmes centrés,
- ▶ le miroir plan,
- ▶ le schéma définissant le grandissement transversal.