

Milieux homogènes et isotropes.

Le but de ce chapitre est d'introduire la notion d'image à travers l'exemple du miroir plan. Vous vous êtes sûrement déjà regardé(e) dans un miroir ; ou plus exactement vous avez déjà vu l'image que le miroir donne de vous-même. Comment l'image se forme-t-elle ? Quelles sont ses propriétés ? Quelles sont, pour former une image, les qualités du miroir ?

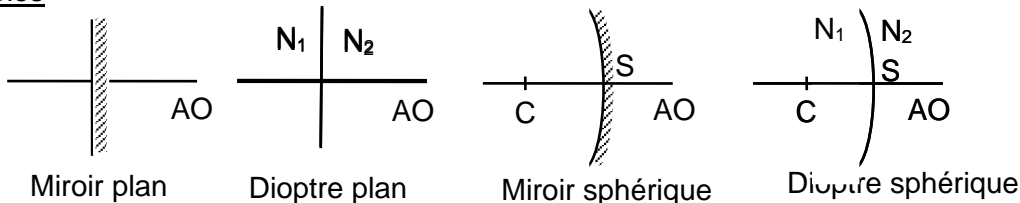
I. Quelques définitions

I.1. Systèmes centrés

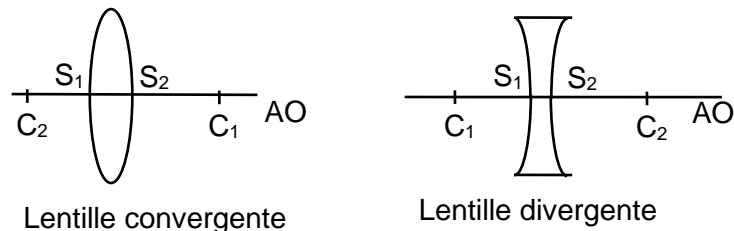
- **Système optique** : Ensemble de milieux transparents (en général homogènes et isotropes) séparés par des surfaces réfractantes (dioptries) ou réfléchissantes (miroirs).
- **Système centré** : Système optique pour lequel les dioptries et les miroirs qui le constituent ont même axe de révolution. Cet axe est appelé **axe optique** ou *axe principal* du système.
- On distingue trois catégories de systèmes optiques :
 - Systèmes dioptriques : comportant seulement des dioptries.
 - Systèmes catadioptriques : comportant des miroirs et des dioptries.
 - Systèmes catoptriques : comportant seulement des miroirs.
- Si la surface réfractante ou réfléchissante est une calotte sphérique on parle de dioptre ou de miroir sphérique.
Si la surface réfractante ou réfléchissante est une portion de plan, on parle de dioptre ou de miroir plan.

Exemples

*



* Associations : lentilles :



I.2. Notions d'objet, d'image.

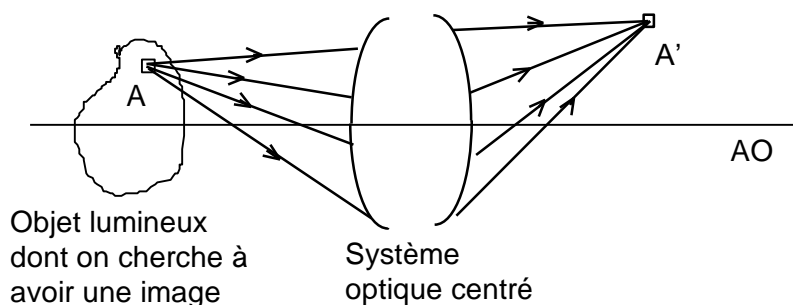
• **Objet** :

En optique géométrique c'est un ensemble de points d'où sont issus des faisceaux de rayons lumineux. Un objet peut être ponctuel (exemple de source ponctuelle, un pixel d'un écran de téléviseur ; c'est le plus souvent une approximation) ou étendu (écran de téléviseur dans sa totalité).

- Ces objets peuvent être observés à travers divers systèmes optiques.

Si les rayons lumineux issus d'un point A de l'objet convergent en un même point A' après avoir traversé un système optique on dit que A' est l'**image** de l'objet ponctuel A.

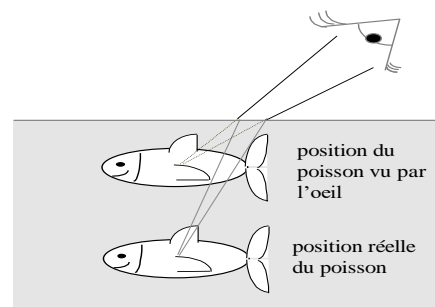
Pour un objet étendu, l'ensemble des points conjugués images A' constitue l'image de l'objet donnée par l'instrument.



Cas de l'œil :

L'œil voit une image située au point d'intersection des rayons qui l'atteignent.

On représente par \longrightarrow le trajet réellement suivi par la lumière.
 $\cdots\cdots\cdots\longrightarrow$ le trajet virtuel, prolongement d'un trajet réel.



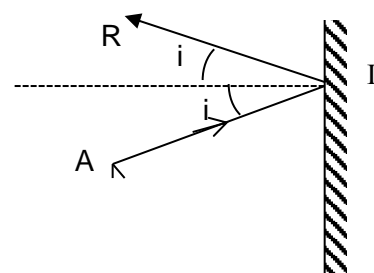
II. Image d'un point donnée par un miroir plan

II.1. Position du problème

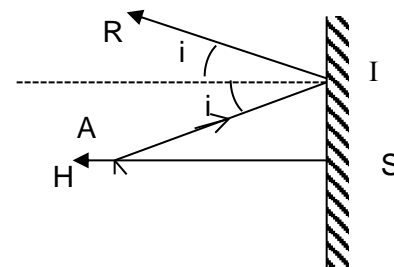
Considérons un point objet lumineux A et nous cherchons l'image A' qu'en donne un miroir plan. D'après la définition du point image, il nous faut donc tracer tous (!) les rayons lumineux issus du point objet A , construire leurs rayons réfléchis en appliquant les lois de la réflexion, et enfin trouver le point d'intersection de ces rayons réfléchis. Cette intersection est le point image A' du point objet A donnée par le miroir.

II.2. Construction

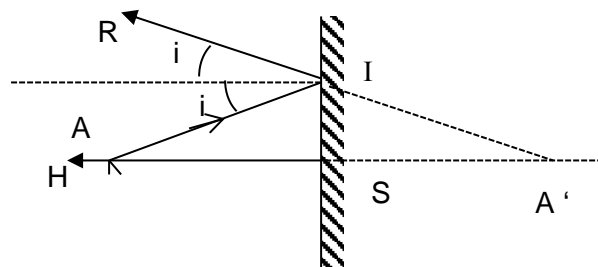
- Traçons un premier rayon lumineux (AI) issu de A et frappant le miroir en I . Il se réfléchit en formant le rayon (IR) obtenu en appliquant les lois de la réflexion : Les rayons incident et réfléchi ainsi que la normale en I au miroir sont coplanaires et l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. De par sa définition, le point image A' appartient à (IR). Cette propriété n'est pas suffisante pour localiser A' . Il faut donc utiliser un deuxième rayon lumineux.



- Construction d'un deuxième rayon incident et de son réfléchi
 Choisissons un rayon particulier pour rendre la construction plus simple. Nous construisons donc comme deuxième rayon lumineux, le rayon (AH) toujours issu de A et frappant maintenant le miroir en H , sous incidence nulle. Il se réfléchit sur lui-même en formant le rayon (HS).



- Ainsi les rayons réfléchis (IR) et (HS) ne se coupent pas en avant du miroir. Mais leurs prolongements, tracés en pointillés sur le schéma, se coupent en arrière du miroir en un point qui, par définition, est l'image A' . Donc, quand vous regardez le miroir, les rayons réfléchis semblent provenir du point A' . L'image A' est dite **virtuelle** parce que ce sont les prolongements des rayons qui se coupent en A' et non les rayons eux-mêmes.



Dire que l'image est virtuelle, c'est seulement dire que ce sont les prolongements des rayons lumineux qui se coupent et non les rayons eux-mêmes. Dans le cas où les rayons lumineux se coupent effectivement, l'image est dite réelle.

II.3. Relation de conjugaison

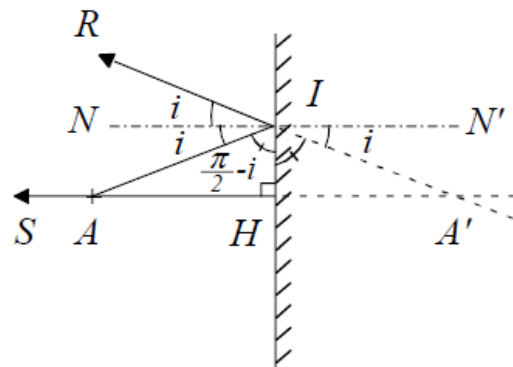
- Par construction, le rayon réfléchi ($A'IR$) est le symétrique par rapport au miroir du rayon incident (AI). En effet : I est son propre symétrique. De plus les angles (HIA) et (HIA') sont égaux car :

$$\widehat{HIA} = \frac{\pi}{2} - i \text{ et } \widehat{HIA'} = i$$

$$\text{Donc } \widehat{HIA'} = \frac{\pi}{2} - i$$

On trouve finalement $\widehat{HIA} = \widehat{HIA'}$

Donc le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport au miroir.



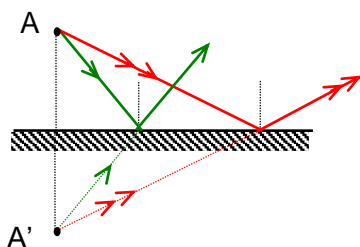
- En optique, on appelle « relation de conjugaison », la relation qui donne la position de l'image A' en fonction de celle de l'objet A . A et A' sont dits « points conjugués ».

La symétrie entraîne que $HA = HA'$ et ceci, sachant que A et A' sont de part et d'autre de H , détermine la position de A' .

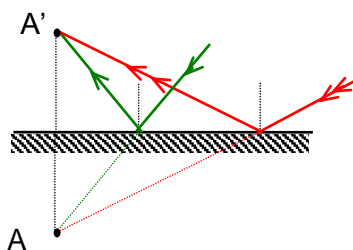
La symétrie donne, en utilisant les mesures algébriques sur l'axe ($x'x$) : $\overline{HA'} = -\overline{HA}$

Cette dernière égalité est la relation de conjugaison de A et A' par rapport au miroir.

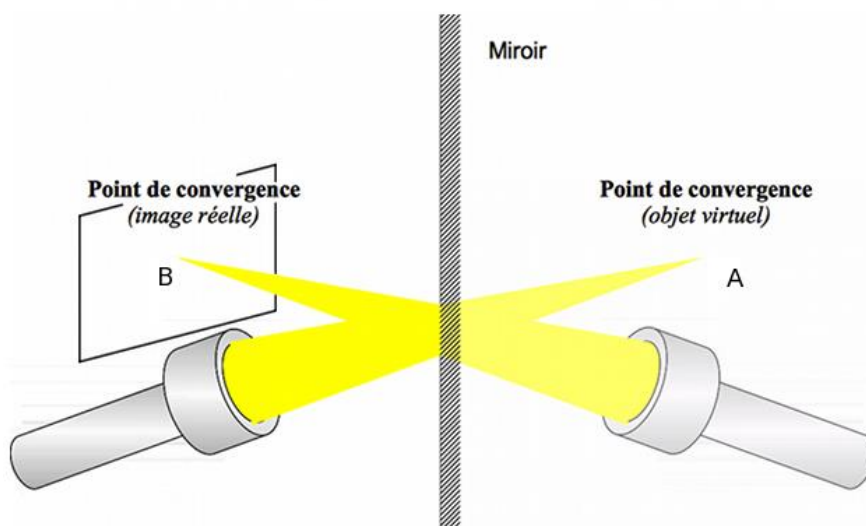
II.4. Nature de l'objet et de l'image



Objet réel \rightarrow Image virtuelle



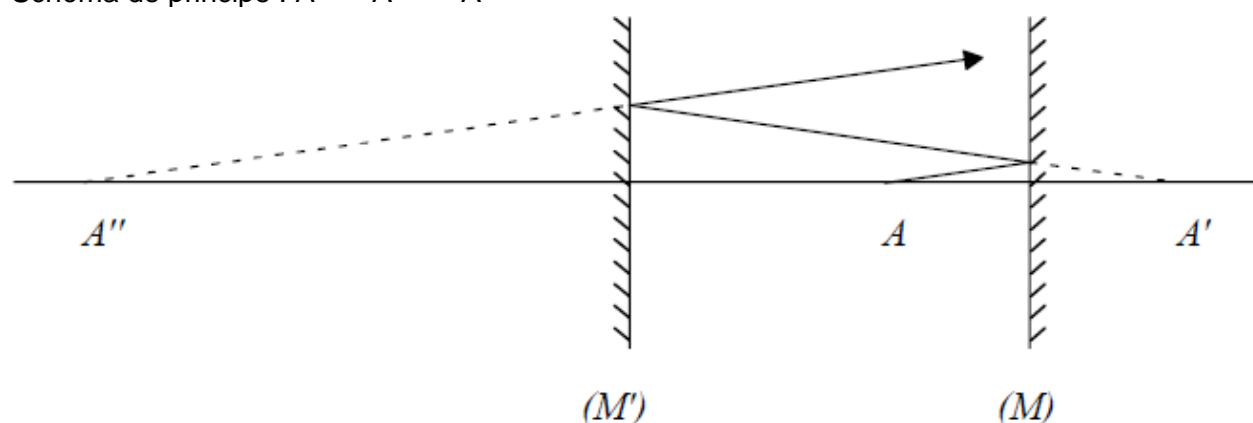
Objet virtuel \rightarrow Image réelle
(principe du retour inverse de la lumière)



- Plaçons un second miroir (M') sur le trajet des rayons réfléchis. Ils deviennent des rayons incidents pour ce second miroir. Ces rayons incidents semblent provenir du point A' qui devient un objet pour le second miroir. Donc le point A' donne une image A'' symétrique de A' par rapport au second miroir.

Nous obtiendrions la même image A'' en remplaçant l'objet A et le premier miroir par un objet situé en A' .

Schéma de principe : $A \xrightarrow{M} A' \xrightarrow{M'} A''$



III. Stigmatisme et aplanétisme

III.1. Stigmatisme et aplanétisme rigoureux

- **Définition du stigmatisme rigoureux :**

Une image de l'objet va se former si chaque partie A de l'objet, assimilée à une source lumineuse ponctuelle, donne naissance à un faisceau lumineux qui converge en un point A' .

* A' est le **point conjugué image** de A

* A et A' forment un **couple de points conjugués**.

* le système est **rigoureusement stigmatique** pour le couple de points A, A' .

Lorsqu'un système optique est stigmatique, les positions de l'objet A et de l'image A' vérifient une relation analytique appelée **relation de conjugaison**.

- **Aspect géométrique**

Il y a stigmatisme rigoureux pour les points conjugués (A, A') si tout rayon issu de A , passe rigoureusement par A' après avoir traversé le système optique.

- **Obtention de bonnes images**

Le système centré (S) donnera une image de bonne qualité de l'objet si tous les points de ce dernier donne à travers (S) une image ponctuelle (ou quasi ponctuelle).

⇒ Pour que l'image d'un objet soit de très bonne qualité, il est nécessaire que le système optique soit stigmatique pour chacun des points du couple objet - image. Nous verrons qu'en pratique des conditions de stigmatisme approché suffisent.

☐ **Aplanétisme** : Conséquence du stigmatisme.

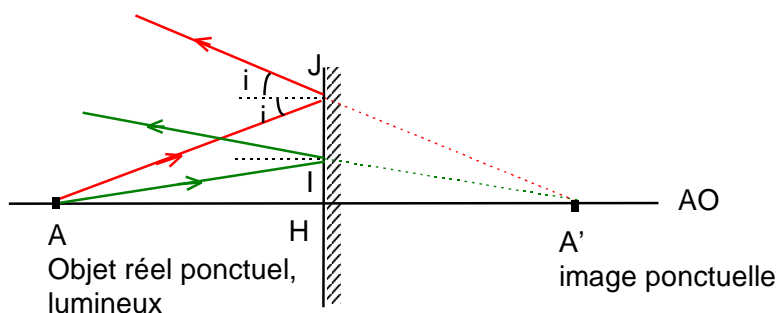
On parle d'aplanétisme lorsqu'un objet AB situé dans un plan perpendiculaire à l'axe optique donne une image $A'B'$ plane perpendiculaire à l'axe optique.

Condition d'aplanétisme : le système optique est stigmatique sur l'axe optique et en son voisinage.

III.2. Cas du miroir plan

- Tous les rayons issus de A semblent après réflexion, provenir d'une source virtuelle A' , située derrière le miroir, en une position symétrique de A par rapport au plan du miroir. Il y a stigmatisme rigoureux pour le couple de points (AA') .

Il est de même facile de montrer que le miroir est parfaitement stigmatique quel que soit l'objet.



• Cas d'un objet étendu

Un objet étendu est un ensemble d'objets ponctuels contigus (collés les uns aux autres). Chaque point C appartenant au segment AB donne un point image C' symétrique de C par rapport au miroir. Donc l'image du segment AB est le segment A'B' symétrique de AB par rapport au miroir. Le miroir plan est aplanétique.

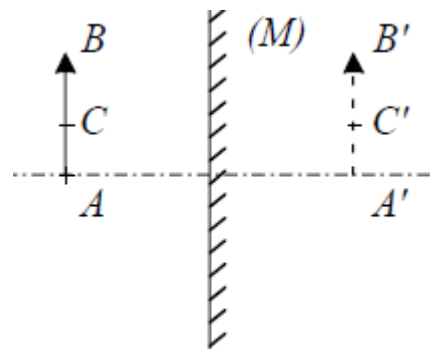
Ainsi la position de l'image d'un segment situé dans un plan de front (c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire à (x, x')) est donnée par la position de A', elle-même donnée par la relation de conjugaison :

$$\overline{HA'} = -\overline{HA}$$

Le grandissement transversal est une grandeur algébrique qui compare la taille de l'image à celle de l'objet. Ces tailles sont mesurées algébriquement sur l'axe $(y'y')$, perpendiculaire à l'axe $(x'x)$ et orienté vers le haut de la page. Pour un objet en forme de segment, situé dans un plan de front, on appelle grandissement transversal la quantité :

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

Dans le cas du miroir plan $\gamma = +1$

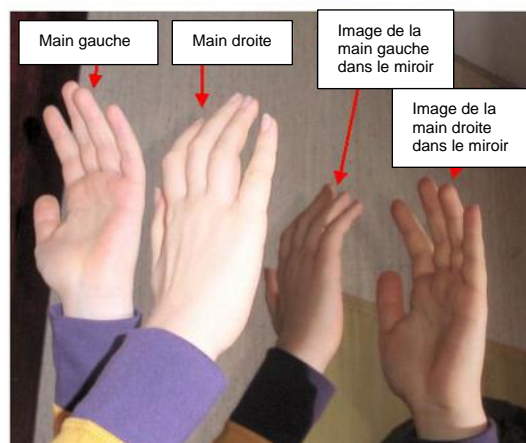


Résultats :

Lorsque γ est positif l'image est dite droite, lorsqu'il est négatif l'image est dite renversée. Dans le cas du miroir plan, l'image est droite.

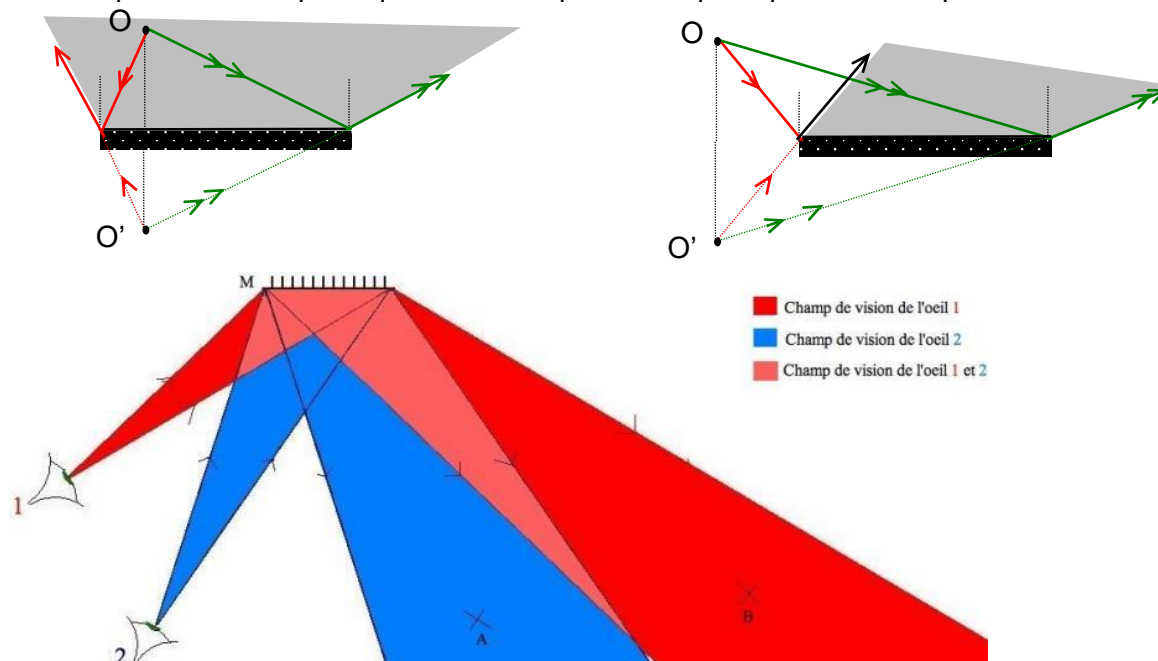
Lorsque $|\gamma| > 1$ l'image est dite agrandie, lorsque $|\gamma| < 1$ l'image est dite réduite. Lorsque $|\gamma| = 1$, l'image et l'objet ont la même taille, c'est le cas du miroir plan.

Remarque : L'image dans le miroir n'est pas parfaitement superposable à l'objet. Il s'agit d'une symétrie par rapport au miroir plan. Ainsi l'image d'une main droite est une main gauche. Le miroir inverse l'orientation de l'espace.



• Champ d'un miroir

C'est la portion de l'espace que l'on voit à partir d'un point par un miroir plan.

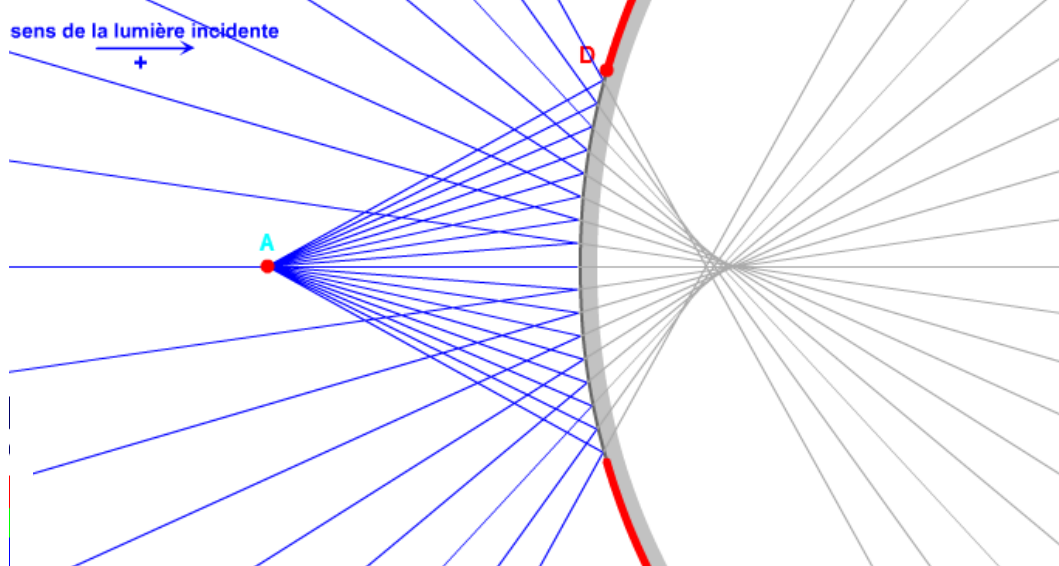


IV. Stigmatisme et aplanétisme approchés

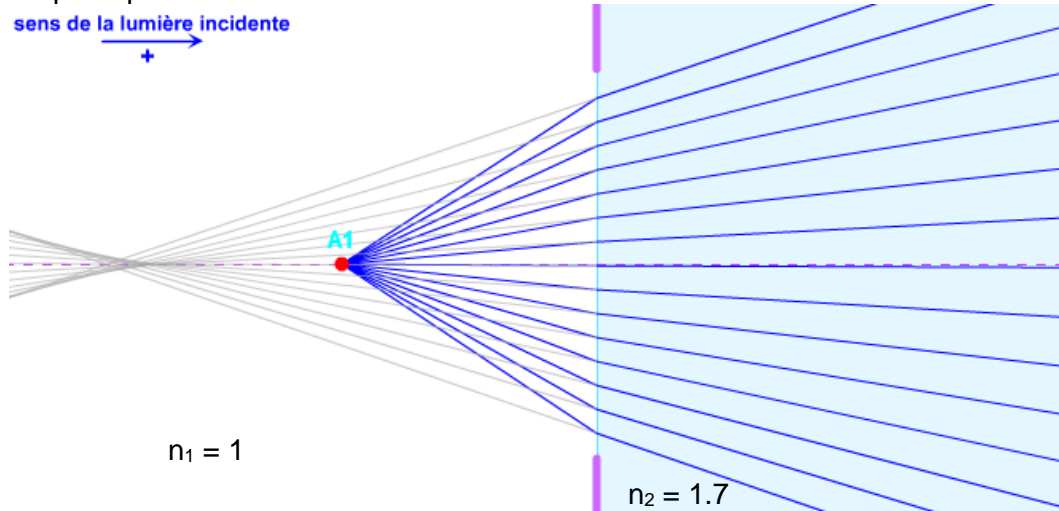
IV.1. Astigmatisme

- La réalisation d'instruments rigoureusement stigmatiques, même très simples, exige l'utilisation de surfaces techniquement très difficile à obtenir.
- Mis à part le miroir plan, toutes les autres surfaces ne sont stigmatiques que pour un seul couple de points objet-image, ce qui devrait limiter l'intérêt de leur utilisation dans les instruments destinés à former des images d'objets étendus.

Miroirs sphériques (animation gastebois optique)

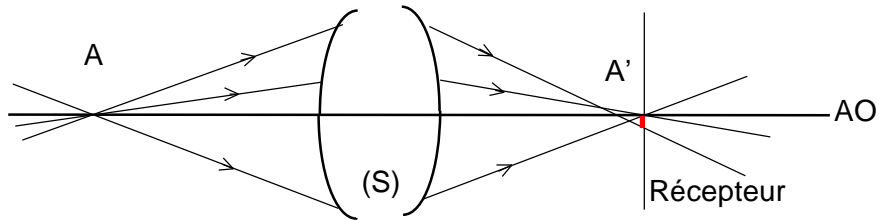


Dioptries plans



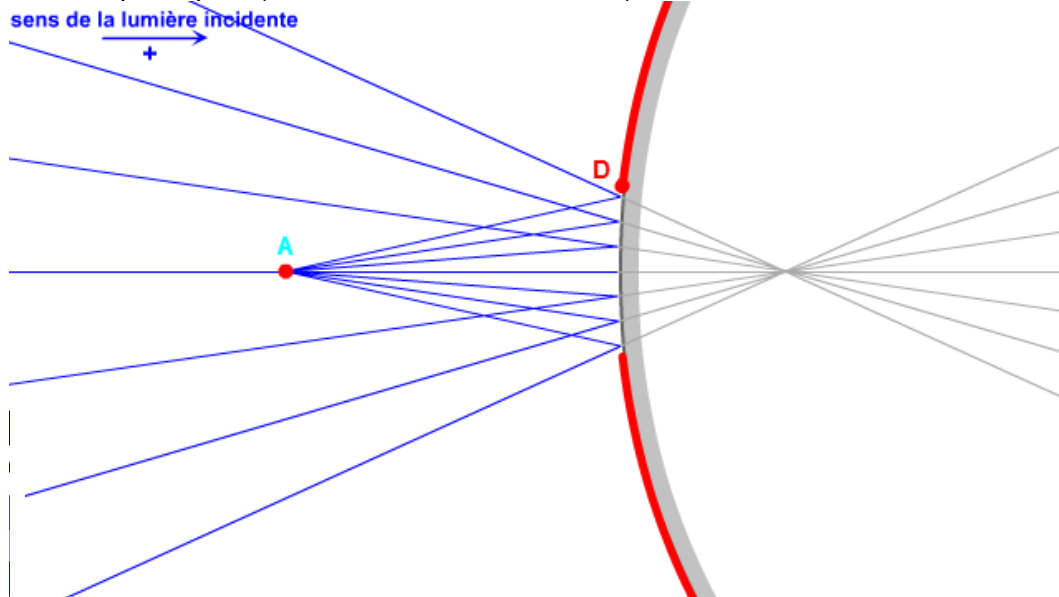
IV. Inutilité d'un stigmatisme rigoureux

- Tout détecteur (œil, plaque photo, écran...) possède une structure granulaire. Ces grains ont un diamètre moyen a . Tant que la dimension de l'image A' de A ponctuel reste inférieure à a , on peut considérer que l'image est nette.

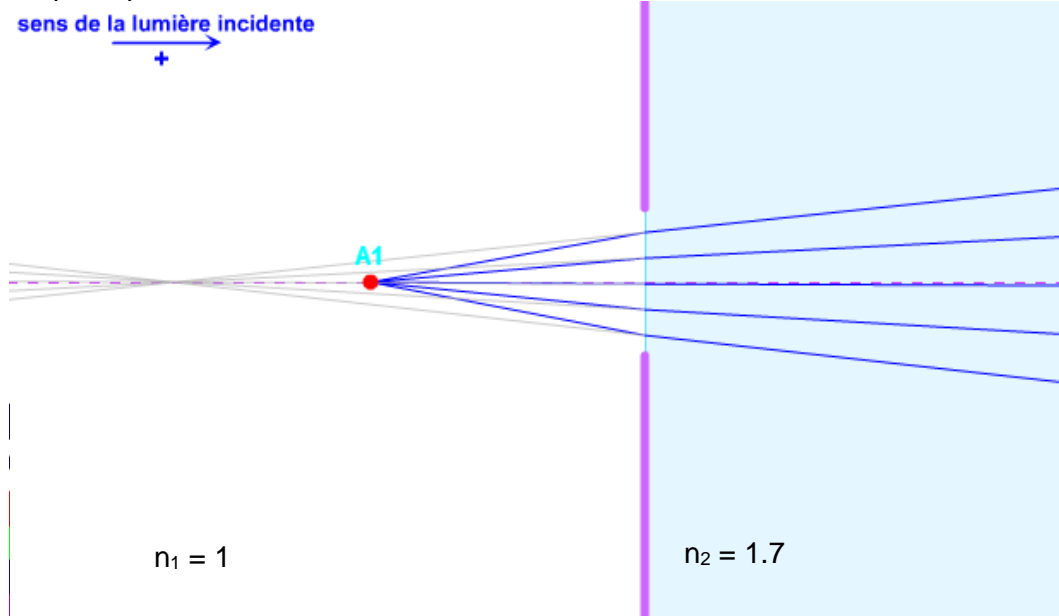


• **Conclusion** : dans la pratique, on se contente d'un stigmatisme approché
Ainsi en diaphragmant les instruments on peut obtenir une tache suffisamment petite pour être considérée comme ponctuelle

Miroirs sphériques (animation + animation flash)



Dioptries plans



V. Conditions de Gauss, optique paraxiale.

- On vient de montrer que si l'angle d'incidence faible, ou si on diaphragme l'instrument, on a un stigmatisme approché.

On peut généraliser ce résultat à tous les systèmes centrés, sous la terminologie de « Conditions de Gauss » ou « approximation de Gauss ».

On appelle « Conditions de Gauss » les conditions permettant d'obtenir des images de bonne qualité au moyen d'un système optique.

- Le système optique est utilisé dans l'approximation de Gauss.

① **Les rayons lumineux sont peu inclinés par rapport à l'axe optique ($\alpha \leq 10^\circ$).**

② **Les rayons sont voisins de l'axe optique.**

On parle alors de rayons paraxiaux.

Conséquence : L'image d'un objet AB plan perpendiculaire à l'axe optique est un objet plan perpendiculaire à l'axe optique.

<u>I. Quelques définitions</u>	<u>1</u>
<u>I.1. Systèmes centrés</u>	<u>1</u>
<u>II. Image d'un point donnée par un miroir plan</u>	<u>2</u>
<u>II.1. Position du problème</u>	<u>2</u>
<u>II.2. Construction</u>	<u>2</u>
<u>II.3. Relation de conjugaison</u>	<u>3</u>
<u>II.4. Nature de l'objet et de l'image</u>	<u>3</u>
<u>III. Stigmatisme et aplanétisme</u>	<u>4</u>
<u>III.1. Stigmatisme et aplanétisme rigoureux</u>	<u>4</u>
<u>III.2. Cas du miroir plan</u>	<u>4</u>
<u>IV. Stigmatisme et aplanétisme approchés</u>	<u>6</u>
<u>IV.1. Astigmatisme</u>	<u>6</u>
<u>IV. Inutilité d'un stigmatisme rigoureux</u>	<u>6</u>
<u>V. Conditions de Gauss, optique paraxiale.</u>	<u>8</u>