

Chapitre Op2 : Formation des images en optique

Introduction

Le rôle des instruments d'optiques est généralement de fournir des représentations aussi fidèles que possibles, appelées images, d'un ensemble de points lumineux, considérés comme des objets optiques. L'image ainsi créée peut ensuite être observée à l'aide d'un capteur optique, biologique comme l'œil ou technologique comme un CCD.

Les lentilles sont des milieux transparents et homogènes, généralement constituées de verre d'indice n , délimités par deux dioptries dont au moins un n'est pas plan. Elles jouent un rôle primordial en optique car ce sont les instruments dioptriques les plus simples et donc les plus répandus.

L'assemblage successif de plusieurs lentilles permet la création d'instruments d'optique complexes, tels que les lunettes astronomiques, les objectifs d'appareil photographiques, les microscope ou encore les jumelles.

Objectifs du chapitre

- Manipuler les notions d'objet et d'image en optique.
- Discuter la condition de stigmatisme et d'aplanétisme en lien avec les conditions de GAUSS.
- Comprendre le fonctionnement optique des lentilles minces et des miroirs plans.

Capacités exigibles

Énoncer les conditions permettant le stigmatisme approché et les relier aux caractéristiques d'un détecteur.
 Utiliser les définitions et les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale et de la vergence.
 Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux.
 Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal fournies.
 Construire l'image d'un objet par un miroir, identifier sa nature réelle ou virtuelle.

Validé ?

Plan du cours

I Objets et images en optique	2		
I.1 Système optique centré	2	II.1 Description et caractéristiques	5
I.2 Objets et images en optique	2	II.2 Construction graphique des images	7
I.3 Conjugaison et stigmatisme	3	II.3 Relations de conjugaison et grandissement	10
I.4 Aplanétisme et grandissement linéaire . . .	4	II.4 Projection d'une image réelle sur un écran	11
I.5 Conditions de GAUSS	4	II.5 Aberrations géométriques et chromatiques	11
II Les lentilles minces	5	III Le miroir plan	13
		III.1 Description et propriétés	13
		III.2 Relation de conjugaison du miroir plan . .	13

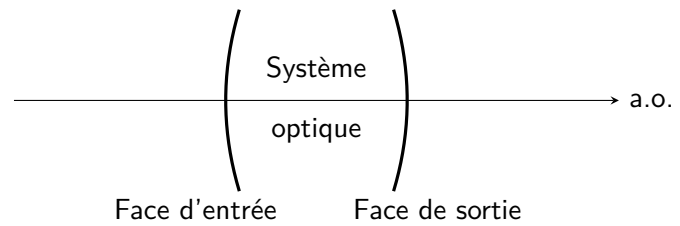


I Objets et images en optique

I.1 Système optique centré

Définition – Système optique centré

Un **système optique** est un ensemble de dioptries, de formes quelconques, et de catadioptries (surfaces réfléchissantes) qui séparent une succession de milieux LHTI. On dit qu'un système optique est **centré** s'il admet un axe de symétrie de révolution. Cet axe est appelé **axe optique** (a.o.).



Remarque : par symétrie, le rayon confondu avec l'axe optique n'est pas dévié.

I.2 Objets et images en optique

Définition – Objets et images en optique

- Un **objet ponctuel** est un point, généralement noté A ou B , **intersection de rayons qui arrivent** sur le système optique (rayons incidents).

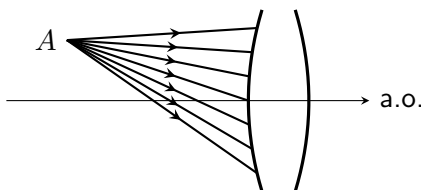
Un **objet étendu** est constitué d'un ensemble d'objets ponctuels indépendants les uns des autres.

- Une **image ponctuelle**, généralement notée A' ou B' , correspond à l'**intersection de rayons qui sortent** du système optique (rayons émergents).

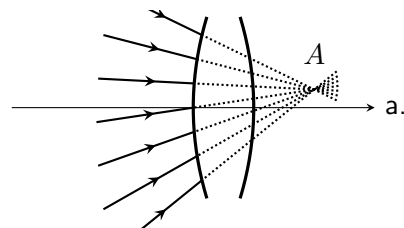
Une image **étendue** est constituée d'un ensemble d'images ponctuelles indépendantes.

- La zone située avant la face d'entrée est appelée **espace objet**, celle après la face de sortie **espace image**.

Définition – Objet réel – objet virtuel



- Un objet sera dit **réel** s'il est placé **avant** la face d'entrée du système optique. Les **rayons lumineux issus** de cet objet se **dirigent vers** le système optique, dans le sens de l'axe optique.



- Un objet sera dit **virtuel** s'il est placé **après** la face d'entrée du système optique. Des rayons lumineux **incidents** sur le système optique **convergeraient** vers ce point en l'absence de système optique. Il faut **prolonger** (en pointillés) les rayons pour l'obtenir.

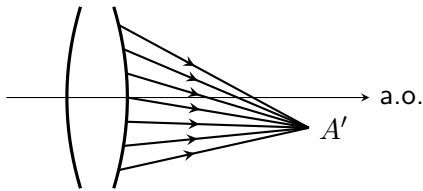
Remarques :

— Une source ponctuelle monochromatique est un cas particulier d'objet ponctuel.

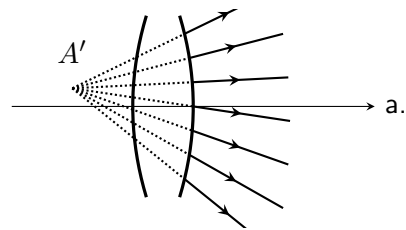
— Un objet ponctuel A peut également être un point de convergence de rayons existant précédemment. Au delà du point A , tout se passe comme si la lumière avait été émise par ce dernier.

— Les rayons ne convergent pas en un objet virtuel, ils sont déviés avant de se rejoindre.

Définition – Image réelle – image virtuelle



• Une image sera dite **réelle** s'il est située **après** la face de sortie du système optique. Les rayons lumineux sortant du système **convergent** vers un même point d'intersection. On peut **observer** cette image en plaçant un écran de projection en son lieu.



• Une image sera dit **virtuelle** s'il est placé **avant** la face de sortie du système optique. Il s'agit du point duquel **semblent provenir** les rayons lumineux qui sortent du système optique. On ne peut pas observer une image virtuelle avec un écran.

Remarque : si les rayons ne sont pas bloqués par un écran, une image réelle A' peut devenir l'objet d'un système ultérieur.

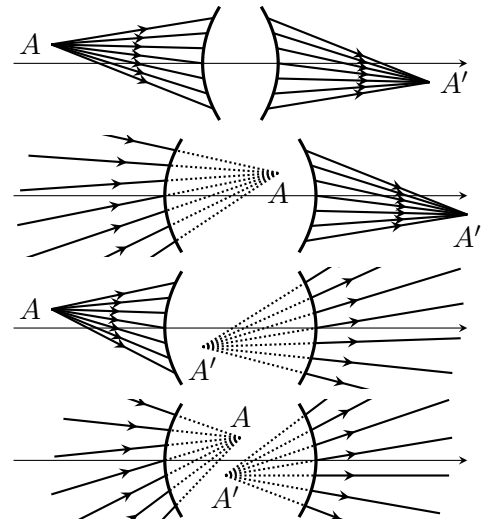
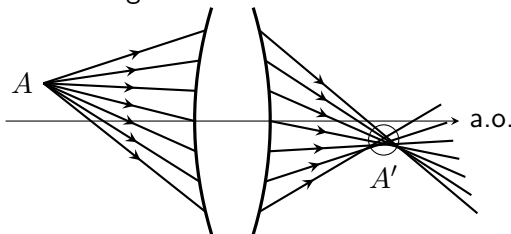
1.3 Conjugaison et stigmatisme

Définition – Conjugaison et stigmatisme

• Un système optique centré sera dit **stigmatique pour le couple** (A, A') si *tous* les rayons lumineux issus d'un objet ponctuel A (réel ou virtuel) convergent vers un *unique* point image A' (réel ou virtuel) après être passés par le système. On dit alors que **A' est l'image**

conjuguée de A par le système optique. On note $A \xrightarrow{S.O.} A'$.

• Si après avoir traversé le système les rayons issus de A convergent vers une zone de "petite taille" autour d'un point A' , on dira que le système optique est **approximativement stigmatique** et on considérera que A' est l'image de A .



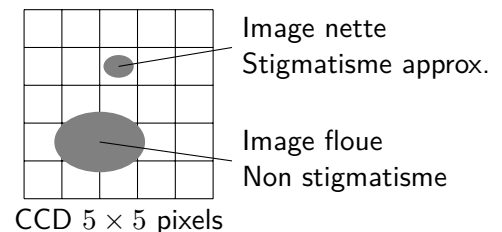
Remarques :

— La plupart des systèmes optiques ne sont stigmatiques que pour certaines positions particulières de l'objet. Le seul système rigoureusement stigmatiques pour tous les objets A est le miroir plan. On se contentera en pratique d'un stigmatisme approché pour des objets dans une zone donnée de l'espace.

— Qu'il s'agisse de la rétine de l'œil ou d'un CCD d'appareil photo numérique, les capteurs sont constitués de cellules : les cônes/bâtonnets sur la rétine et les pixels pour l'appareil photo. Ces cellules ont une taille définie ce qui confère au capteur une résolution maximale : le récepteur ne peut pas distinguer des détails plus petits que le plus petit élément qui le constitue. Des rayons parvenant sur la même cellule photosensible du capteur peuvent être considérés comme confondus. L'observateur aura donc l'impression de voir un point.

Odg : quelques μm pour l'œil et pour les pixels d'un capteur CCD.

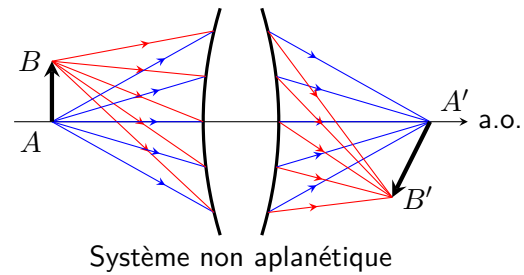
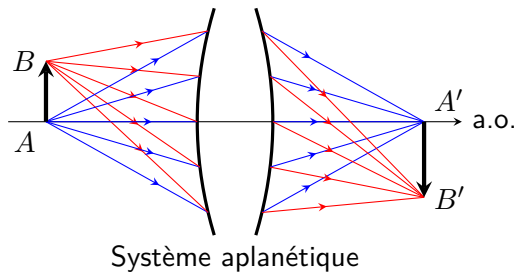
— Pour un système centré stigmatique, l'image d'un point A sur l'a.o. est un point A' également sur l'a.o.



I.4 Aplanétisme et grandissement linéaire

Définition – Aplanétisme rigoureux

- Un système optique est rigoureusement **aplanétique** si l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe optique est également perpendiculaire à l'axe optique.



- En pratique, l'aplanétisme rigoureux est difficile à obtenir et on se contente généralement, par analogie avec le stigmatisme, d'un **aplanétisme approché** (critère mathématique difficile à définir).

Sachant qu'un objet (et une image) peut se trouver d'un côté ou de l'autre du système optique, il faut tenir compte du **sens** lorsque l'on mesure les longueurs.

Définition – Longueurs algébriques

Nous allons utiliser les **longueurs algébriques**, notées avec une barre au-dessus, qui sont comptées positivement lorsqu'elles sont dans le sens de l'axe optique $+x$ ou de l'axe orthogonal direct $+y$ et négativement sinon.



Exemple : sur le système aplanétique précédent : $\overline{AA'} > 0$, $\overline{A'B'} < 0$ et $\overline{AB} > 0$

Définition – Grandissement transverse

- Lorsqu'un système est aplanétique, l'image $A'B'$ et l'objet AB sont colinéaires et on appelle **grandissement transverse** le coefficient de proportionnalité

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

- Si $\gamma > 0$, l'image est droite, sinon elle est renversée.
- Si $|\gamma| > 1$, l'image est agrandie, sinon elle est rétrécie.

I.5 Conditions de Gauss

Expérience ou animation – Visualisation du stigmatisme dans les conditions de GAUSS

- http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/stig_dioptre_plan.php
- http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/stig_dioptre_spherique.php
- http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/stigmatisme_lentille.php

Définition – Rayons paraxiaux et conditions de GAUSS

Un rayon incident sur un système centré est dit **paraxial** si :

- il est proche de l'axe optique (par rapport à la taille transverse caractéristique du système),
- il est peu incliné par rapport à l'axe optique (de sorte que $\tan \alpha \simeq \sin \alpha \simeq \alpha$).

Un système centré est utilisé dans les **conditions de Gauss** si tous les rayons incidents sont paraxiaux.

Propriété – Stigmatisme et aplanétisme approché

Un **système centré** utilisé dans les conditions de GAUSS est **approximativement stigmatique et aplanétique**.

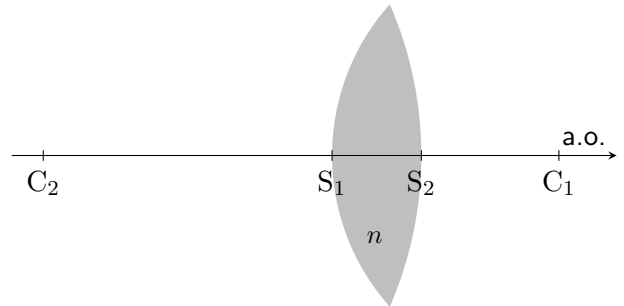
II Les lentilles minces

II.1 Description et caractéristiques fondamentales

1.a Deux types de lentilles

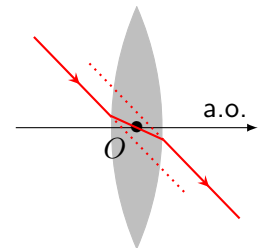
Définition – Lentille mince

- Une **lentille** est un système optique centré constitué d'un milieu d'indice n (généralement du verre) délimité par deux dioptries sphériques.
- On note S_1 et S_2 les sommets, $R_1 = \overline{S_1C_1}$ et $R_2 = \overline{S_2C_2}$ les rayons de courbure et e l'épaisseur de la lentille : $e = S_1S_2$.
- Dans le cadre du cours, on se limitera aux **lentilles minces** c.à.d $e \ll |R_1|$ et $|R_2|$ et $e \ll C_1C_2$.



Propriété – Centre optique

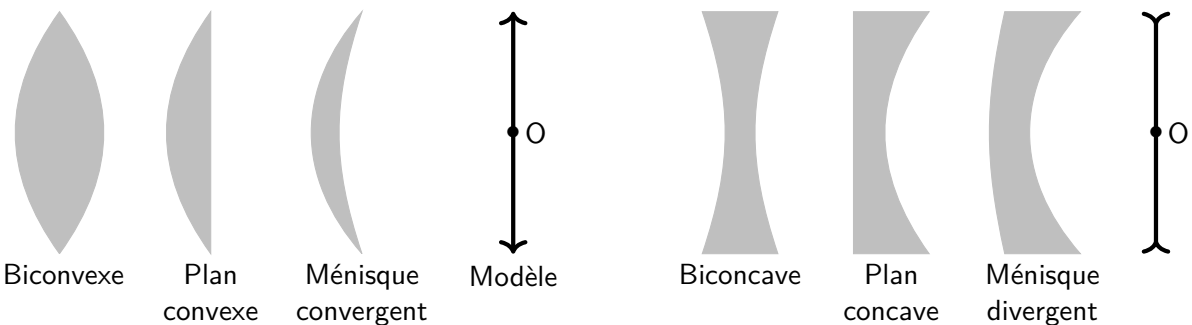
Le **centre optique** O d'une lentille mince est tel que tout rayon passant par ce point O n'est **pas dévié** : le rayon émergent est parallèle au rayon incident.



Remarque : le rayon confondu avec l'axe optique n'est pas dévié.

Définition – Deux types de lentilles

On distingue deux types de lentilles : les **convergentes** à bords minces et les **divergentes** à bords épais.



http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille_sorte.php

1.b Foyers images et objets

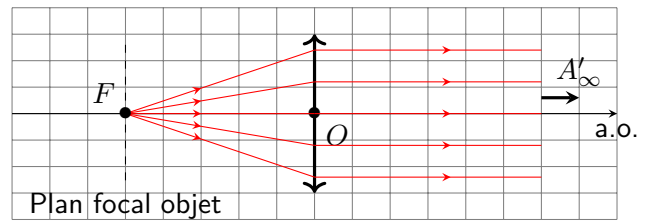
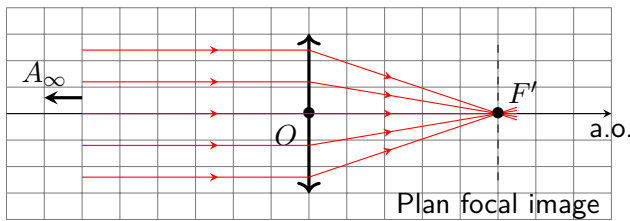
Définition – Foyers principaux

- L'image F' d'un objet ponctuel A_∞ à l'infini **dans la direction de l'axe optique** est un point unique sur l'axe optique (stigmatisme) appelé **foyer image principal** : $A_\infty \xrightarrow{\mathcal{L}} F'$.
Le plan orthogonal à l'axe optique passant par F' est appelé **plan focal image**.
- L'objet ponctuel F dont l'image est ponctuelle à l'infini dans la direction de l'axe optique est appelé **foyer objet principal** : $F \xrightarrow{\mathcal{L}} A'_\infty$.
Le plan orthogonal à l'axe optique passant par F est appelé **plan focal objet**.

⚠ Contrairement à ce que les notations pourraient laisser croire, le foyer principal image F' **n'est pas le conjugué** du foyer principal objet F .

Propriété – Foyers principaux d'une lentille convergente

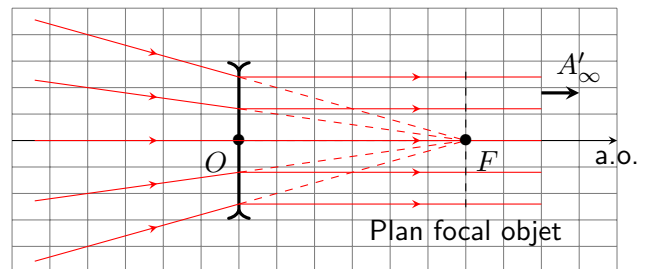
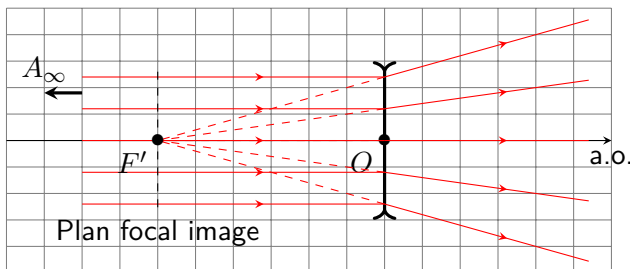
- Pour une **lentille convergente**, le foyer principal image est **réel**, situé après le centre optique.
- Le foyer principal **objet** est également **réel**, situé avant le centre optique, dans l'espace objet.



Remarque : on observe ici la cohérence de la dénomination “convergente” puisque la lentille fait converger les rayons, dans le sens qu’il se rapprochent les uns des autres.

Propriété – Foyers principaux d'une lentille divergente

- Pour une lentille **divergente**, le foyer principal objet est **virtuel**, situé après le centre optique.
- Le foyer principal image est également **virtuel**, situé avant le centre optique. Il faut tracer les prolongements des rayons pour les atteindre.



Remarque : une lentille divergente fait diverger les rayons, dans le sens qu’il s’écartent les uns des autres.

1.c Distances focales

Pour une lentille, les foyers principaux objet F et image F' sont symétriques par rapport au centre optique.

Définition – Distance focale

- On définit la distance focale objet $f = \overline{OF}$ et la **distance focale image** $f' = \overline{OF'}$ qui sont donc opposées l'une de l'autre : $f' = -f$.
- On utilise en général la distance focale image f' , qui est **positive** pour une lentille **convergente** et **négative** pour une lentille **divergente**.
- On définit également la **vergence** $V = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f}$. Elle s'exprime en dioptrie δ : $1\delta = 1\text{ m}^{-1}$.

Odg : Pour la plupart des lentilles, $1\text{ mm} \leq f' \leq 1\text{ m}$. Classiquement en TP, $f' \simeq 10\text{ cm}$.

Remarques :

- On utilise en général la distance focale image f' , qui est **positive** pour une lentille **convergente** et **négative** pour une lentille **divergente**.
- Plus $|f'|$ est petite, donc plus $|V|$ est grande, plus la lentille est convergente/divergente.
- Les résultats précédents sont valables pour des **lentille mince** utilisée dans les conditions de GAUSS et de façon plus générale pour les systèmes centrés que l'on dit **focaux** (ex. miroir sphérique dans un télescope).

II.2 Construction graphique des images

Expérience ou animation – Lentilles dans les conditions de GAUSS

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.php

Pour trouver l'image d'un objet ponctuel par un lentille, on peut réaliser une construction géométrique graphique.

Méthode – Trois rayons particuliers

Considérons un objet ponctuel B hors de l'axe optique. On connaît les rayons émergents d'une lentille mince pour trois rayons incidents particuliers issus de B :

- Le rayon incident passant par le centre optique O n'est pas dévié.
- Le rayon incident parallèle à l'axe optique donne un rayon émergent qui passe (réellement ou virtuellement) par le foyer image F' . Tout se passe comme s'il provenait d'un objet A_∞ à l'infini.
- Le rayon incident passant (réellement ou virtuellement) par le foyer objet F donne un rayon émergent parallèle à l'axe optique. Tout se passe comme s'il provenait du foyer objet, donnant une image A'_∞ à l'infini.

En traçant au moins 2 de ces trois rayons issus d'un objet B , on identifie par stigmatisme l'image B' à l'intersection des rayons émergents.

Remarques :

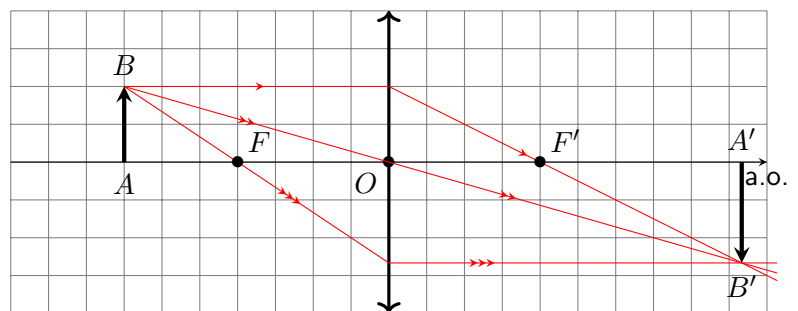
- Une fois l'image B' de B construite, on sait par stigmatisme que **tous** les autres rayons issus de B vont converger vers B' .
- Dans le cas d'un objet A **sur l'axe optique**, les trois rayons sont confondus... Mais on sait par symétrie que l'image A' sera sur l'axe optique. On utilise alors l'**aplanétisme** : on prend un point B dans le plan orthogonal à l'axe optique passant par A , on construit l'image B' de B par la méthode des rayons puis on détermine le projeté orthogonal de B' sur l'axe optique : il s'agit de l'image A' de A .
- Pour construire l'image d'un objet étendu, on construira l'image de deux points à ses extrémités puis que l'image C' de tout point $C \in [AB]$ sera un point de $[A'B']$.

2.a Constructions avec une lentille convergente

Propriété – Objet réel avant le foyer objet

L'image d'un objet réel positionné avant le foyer objet F est **réelle et renversée**, située après le foyer image F' .

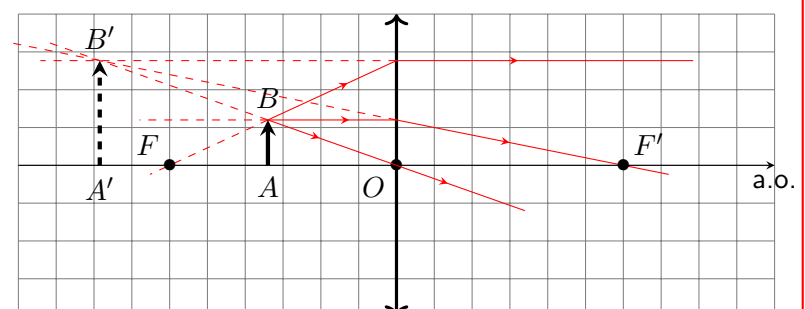
On peut la **projeter** sur un écran. Un observateur positionné après l'image verrait les rayons comme s'ils provenaient de B' .



Propriété – Objet réel situé entre le foyer objet et le centre optique

L'image d'un objet réel situé entre le foyer objet F et le centre optique O est **virtuelle, droite et agrandie** (il faut tracer les prolongements des rayons).

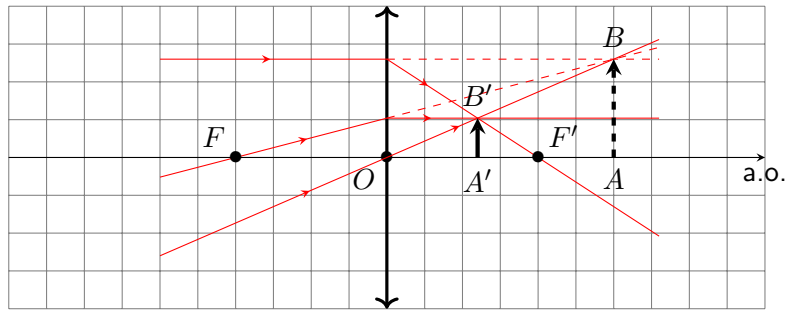
Pour un observateur regardant les rayons émergents depuis l'espace image, tout se passe comme si ces derniers provenaient de l'image, plus grande et légèrement plus loin : c'est l'effet **loupe**.



Propriété – Objet virtuel

L'image d'un objet virtuel (positionné après le centre optique) est **réelle, droite et rétrécie**, située entre le centre optique et le foyer image F' .

On peut la **projeter** sur un écran. Un observateur positionné après l'image verrait les rayons comme s'ils provenaient de B' .

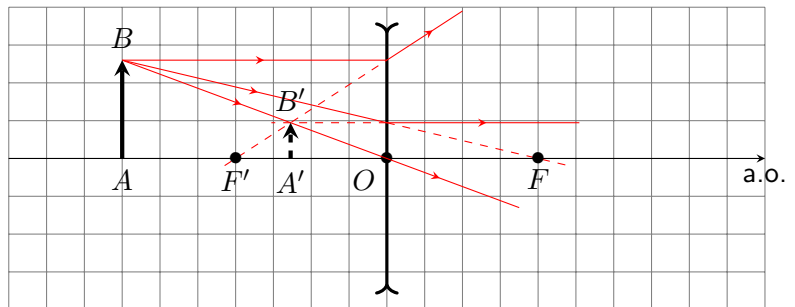


2.b Constructions avec une lentille divergente

Propriété – Objet réel

L'image d'un objet réel est **virtuelle, droite et rétrécie**, située entre le foyer image F' et le centre optique O .

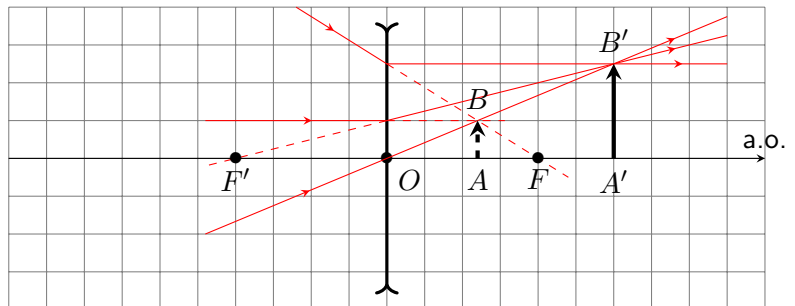
Pour un observateur regardant les rayons émergents depuis l'espace image, tout se passe comme si ces derniers provenaient de l'image, plus petite et rapprochée : c'est l'effet **anti-loupe**.



Propriété – Objet virtuel entre le centre optique et le foyer objet

L'image d'un objet virtuel situé entre le centre optique O et le foyer objet F est **réelle, droite et agrandie**.

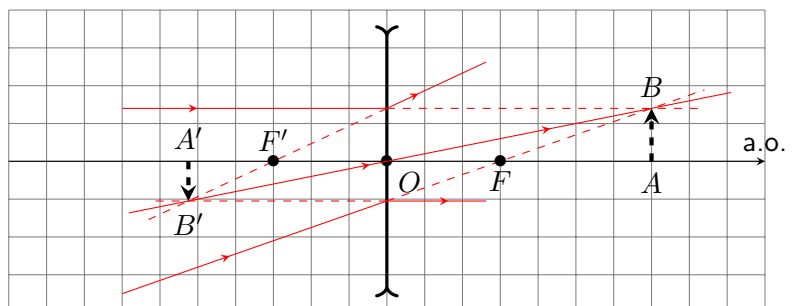
Cela permet d'agrandir un objet virtuel, formé par une autre lentille.



Propriété – Objet virtuel après le foyer objet

L'image d'un objet virtuel situé après le foyer objet F est **virtuelle et renversée**.

Cela sert à redresser l'image et à compacter les instruments optiques.



2.c Objets ou images à l'infini – foyers secondaires

Définition – Foyers principaux et secondaires

• Par aplanétisme, l'image B'_α d'un objet ponctuel $B_{\infty,\alpha}$ à l'infini incliné d'un angle α se situe dans le plan focal image : $B_{\infty,\alpha} \xrightarrow{\mathcal{L}} B'_\alpha$. On dit que B'_α est un **foyer image secondaire**.

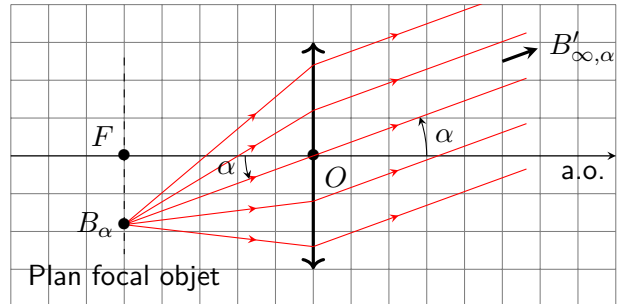
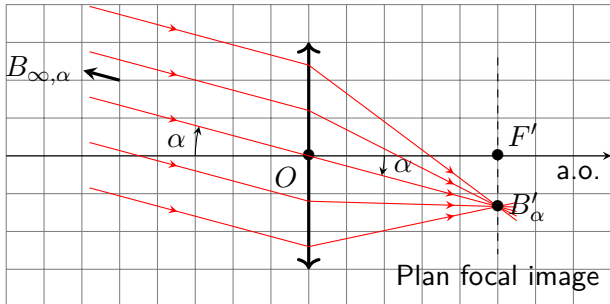
• Par aplanétisme, tout objet ponctuel B_α contenu dans le plan focal objet donne une image $B'_{\infty,\alpha}$ à l'infini inclinée d'un angle α avec l'axe optique : $B_\alpha \xrightarrow{\mathcal{L}} B'_{\infty,\alpha}$. On dit que B_α est un **foyer objet secondaire**.

Méthode – Foyer secondaire

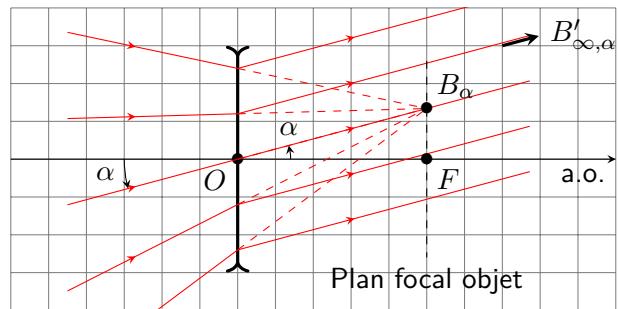
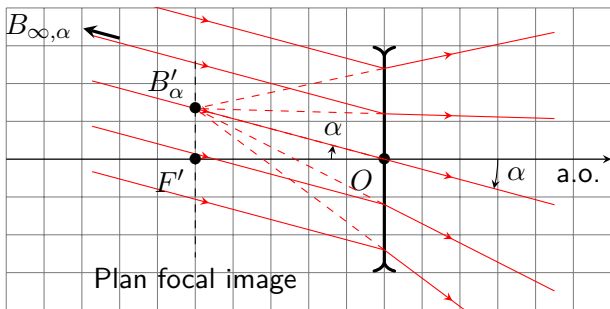
• Dans les deux cas, on trouve leurs positions grâce au rayon non dévié passant par le centre O : celui-ci intersecte le plan focal (image ou objet) au niveau du foyer secondaire.

• Le rayon passant par le centre optique n'étant pas dévié, on obtient $\tan \alpha = \frac{F'B'_\alpha}{OF'} = \frac{FB_\alpha}{OF}$

Propriété – Foyers secondaires d'une lentille convergente



Propriété – Foyers secondaires d'une lentille divergente



2.d Méthodes de tracé

Méthode – Rayon ou objet auxiliaire

Pour le prolongement d'un rayon quelconque autre que l'un des trois fondamentaux, il est possible de passer par des objets et/ou rayons auxiliaires :

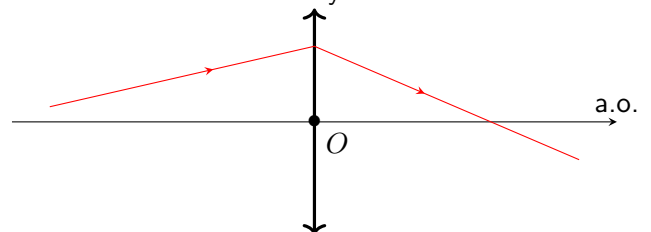
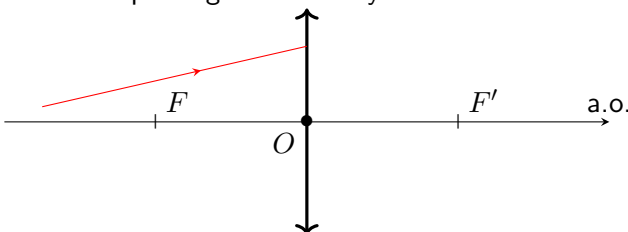
- On peut imaginer que ce rayon provient d'un **point auxiliaire** B placé n'importe où sur le rayon. On peut ensuite déterminer l'image B' de B et on sait par stigmatisme que le rayon initial passera par B' .
- On peut également tracer un **rayon auxiliaire**, parallèle au rayon initial et passant par le centre O . Ces deux rayons étant parallèles, tout se passe comme s'ils provenaient d'un objet $B_{\infty, \alpha}$ à l'infini, incliné d'un angle α . Par stigmatisme, les deux rayons émergent en se croisant au foyer secondaire B'_α , intersection du rayon auxiliaire non dévié et du plan focal image.

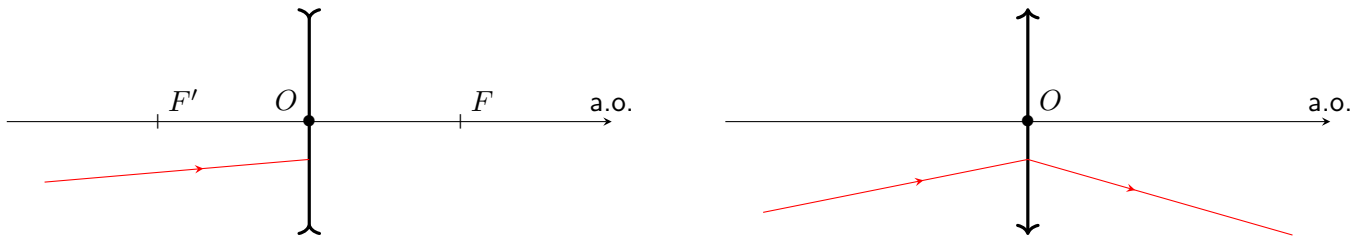
Exemple ou exercice d'application – Prolongement d'un rayon incident – lentille sans foyers

À l'aide de la méthode du rayon auxiliaire ou de l'objet auxiliaire :

Tracer le prolongement du rayon donné ci-dessous.

Positionner les foyers de la lentille.





II.3 Relations de conjugaison et grandissement transverse

La construction graphique va nous permettre d'établir des relations mathématiques entre les longueurs caractéristiques de l'objet et de l'image. On effectuera l'étude avec la construction objet réel/image réelle pour une lentille convergente et on acceptera qu'elle se généralise à tous les cas possibles.

3.a Triangles semblables

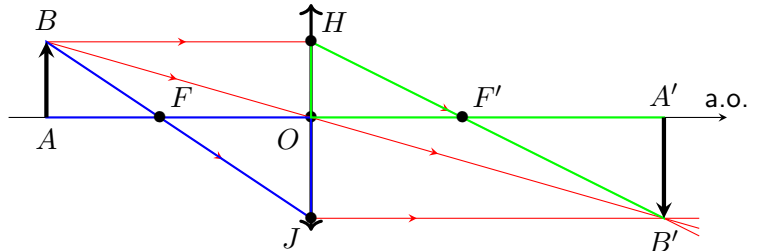
- Les triangles FAB et FOJ sont semblables

donc (Thalès) $\frac{\overline{OJ}}{\overline{OF}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AF}}$.

- Les triangles $F'A'B'$ et $F'OJ$ sont semblables

donc (Thalès) $\frac{\overline{OH}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}}$.

- Comme $\overline{AB} = \overline{OH}$ et $\overline{A'B'} = \overline{OJ}$, alors $\frac{\overline{AB}}{f'} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}} \Leftrightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'F'}}{f'}$ et $\frac{\overline{A'B'}}{f} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AF}} \Leftrightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{f}{\overline{AF}}$.



Propriété – Relation de NEWTON (HP)

On obtient la relation de conjugaison de NEWTON avec origine aux foyers : $\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2$

3.b Relation de conjugaison de Descartes

On ré-écrit $\overline{F'A'} = \overline{F'O} + \overline{OA'}$ et $\overline{FA} = \overline{FO} + \overline{OA}$ et on remplace pour obtenir $(-f' + \overline{OA'}) \cdot (f' + \overline{OA}) = -(f')^2 \Leftrightarrow -f'(\overline{OA} - \overline{OA'}) + \overline{OA'} \cdot \overline{OA} = 0$. On divise ensuite l'égalité par le produit $f'\overline{OA'} \cdot \overline{OA}$.

Propriété – Relation de conjugaison de DESCARTES avec origine au centre

On obtient la relation de conjugaison de DESCARTES avec origine au centre : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$.

Exemple ou exercice d'application – Image par une lentille mince

Déterminer à quelle distance $\overline{OA'}$ se forme l'image par une lentille mince de focale $f' = 10$ cm d'un objet situé 15 cm avant la lentille.

Remarques :

- \triangle Pour un objet réel, $\overline{OA} < 0$!
- pour une distance \overline{OA} donnée, plus la distance focale est petite, plus l'image sera proche de la lentille : plus f' est petite, plus la lentille est convergente.
- On remarque que si $\overline{OA} = -\infty$, $\overline{OA'} = f'$ et donc $A' = F'$. De même si $A = F$, alors $\overline{OA} = -f'$ et on trouve $\overline{OA'} = \infty$. Cela correspond bien aux définitions des foyers principaux.

3.c Grandissement transverse


Les deux formules équivalentes précédentes permettent de trouver la position de l'image A' d'un objet A sur l'axe optique si l'on connaît la distance focale f' . Pour un objet étendu dans la direction transverse, il nous faut une autre équation pour déterminer la **taille de l'image** : il s'agit de la formule du grandissement.

Propriété – Grandissement transverse

- Les triangles OAB et $OA'B'$ sont semblables, on en déduit que $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}}$ soit $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$


Remarques :

- On remarque que γ dépend en fait seulement des positions de l'objet A et de l'image A' sur l'axe optique : la taille transverse est dictée par la longueur longitudinale.
- En utilisant la relation de conjugaison de DESCARTES, on a $\overline{OA'} = \frac{f'\overline{OA}}{f' + \overline{OA}}$ donc $\gamma = \frac{f'}{f' + \overline{OA}}$.
- En utilisant la formule de NEWTON, on obtient $\gamma = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}$.

 **Exemple ou exercice d'application – Manipulation des relations de conjugaison**

1. Une lentille de focale $f' = 10$ cm forme, sur un écran situé à 1,5 m de la lentille, l'image d'un objet réel de hauteur $AB = 3,0$ cm. Déterminer la position de l'objet par rapport à la lentille et la taille de l'image sur l'écran.
2. Lors d'une observation à l'œil avec une loupe, on souhaite grandir $5\times$ un objet placé à 20 cm. Déterminer la distance focale f' de la loupe et la position de l'image par rapport à la lentille.
3. À l'aide d'une lentille mince, on souhaite former une image réelle agrandie $4\times$ d'un objet situé à 20 cm de la lentille. Déterminer la position de l'image et la distance focale f' de la lentille.
4. Une lentille mince donne une image droite de taille réduite d'un facteur 5 d'un objet réel situé à 60 cm avant son centre. Déterminer la position de l'image et la distance focale de la lentille.

II.4 Projection d'une image réelle sur un écran

 **Exemple ou exercice d'application – Projection d'un objet réel sur un écran**

On considère un objet réel AB dont on souhaite projeter l'image sur un écran situé à une distance fixe D de l'objet (projecteur de cinéma par exemple). On dispose à cet effet d'une lentille de distance focale f' .

1. Faire un schéma. Doit-on utiliser une lentille conv^{te} ou div^{te}? On raisonnera sur les signes de \overline{OA} et $\overline{OA'}$.
2. On positionne la lentille à une distance x de l'objet. Exprimer les distances \overline{OA} et $\overline{OA'}$ en fonction de x et D puis utiliser une relation de conjugaison pour établir une équation du second degré vérifiée par x .
3. En déduire une condition sur D et f' pour que cette équation admette des solutions réelles puis donner les expressions des positions possibles en fonctions de D et f' .
4. Donner l'expression du grandissement transverse γ en fonction de D et x . Pour quelle position l'image est-elle agrandie? Rétrécie?

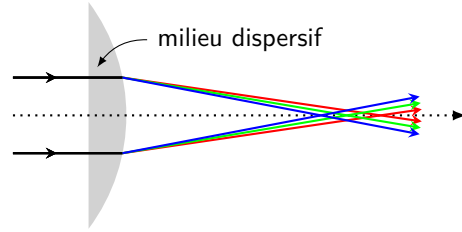
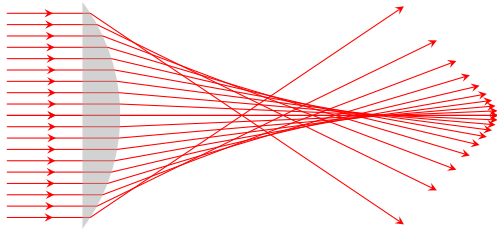
Propriété – Projection d'une image sur un écran

La projection de l'image réelle d'un objet réel n'est possible qu'avec une **lentille convergente**. De plus, la distance objet-écran, notée D , doit vérifier l'inégalité $D \geq 4f'$.

II.5 Aberrations géométriques et chromatiques

Deux types de défauts (ou aberrations) apparaissent fréquemment en optique géométrique :

- **Les aberrations géométriques** : lorsque les conditions de Gauss ne sont pas respectées, l'image peut être déformée ou floue à cause des erreurs de stigmatisme et d'aplanétisme.
- **Les aberrations chromatiques** : Les matériaux utilisés en optique (le verre par exemple) sont dispersifs. Ainsi, les différentes longueurs d'onde qui composent la lumière peuvent être déviées différemment pendant la traversée du système optique. Des couleurs vont donc apparaître sur l'image.



III Le miroir plan

III.1 Description et propriétés

Définition – Miroir plan

Un **miroir plan** est une surface plane parfaitement réfléchissante. Les rayons qui se réfléchissent sur un miroir plan vérifient la loi de DESCARTES pour la réflexion.

Propriété – Image par un miroir plan

L'image, par un miroir plan, d'un objet ponctuel A (réel ou virtuel) est le symétrique A' de A par rapport au plan du miroir : $A' = \text{sym}(A)$. Un miroir plan est **rigoureusement stigmatique** pour tous les couples (A, A') .

 **Expérience ou animation – Miroir plan**

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/miroirs/miroir_plan.php

Image virtuelle d'un objet réel

- On construit les rayons émis par un objet ponctuel **réel** en vérifiant la loi de la réflexion.
- Après réflexion, un observateur voit des rayons qui semblent provenir d'une unique source ponctuelle A' , virtuelle puisque située derrière le miroir : le miroir a conjugué l'objet ponctuel réel A avec l'image ponctuelle virtuelle A' , symétrique de A par rapport au plan du miroir.

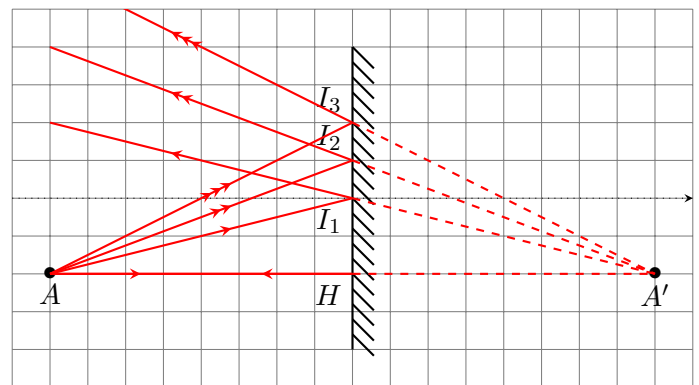
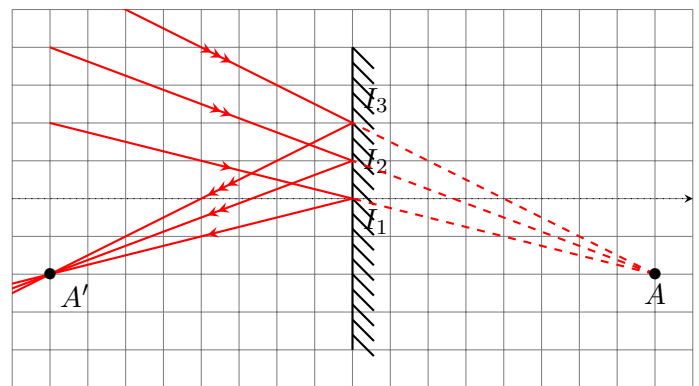


Image réelle d'un objet virtuel

- On construit les rayons qui convergeraient vers un objet ponctuel **virtuel**.
- Après réflexion, les rayons convergent en un point réel A' que l'on pourrait voir en plaçant un écran. Un observateur extérieur placé après A' aura l'impression qu'il s'agit d'une nouvelle source de lumière.



1.a Image d'un objet étendu

Propriété – Image d'un objet étendu

L'image d'un objet étendu est le symétrique de cet objet par rapport au plan du miroir.

III.2 Relation de conjugaison du miroir plan

On étudie un unique rayon incident formant un angle i_1 avec la normale au miroir. On a $\tan i_1 = \frac{IH}{HA}$ qui donne bien $i_1 > 0$ et $\tan r = \frac{IH}{HA'}$ qui donne $r < 0$. Or, la loi de la réflexion indique $i_1 = -r$ donc on obtient $\overline{HA} = -\overline{HA'}$.

Propriété – Relation de conjugaison du miroir plan

On en déduit la **relation de conjugaison algébrique du miroir plan** : $\overline{HA} + \overline{HA'} = 0$ où H est le projeté orthogonal de A .

