Optique géométrique

Approximat° de l'optique géométrique, rayon lumineux

Not° expérimentale : la zone lumineuse issue d'une source ponctuelle, dans un milieu homogène, est située à l'intérieur d'un cône, appelé faisceau lumineux.

↳ si on intercale sur le trajet de la lumière un écran percé d'un trou de petite taille, on restreint l'ouverture de la zone éclairée : on parle de pinceau lumineux.

↳ comportement ondulatoire de la lumière → diffract°

Onde lumineuse plane → surfaces d'onde sont des plans

Onde lumineuse sphérique → " " " des sphères

Indice de réfract° d'un milieu

Vitesse de propagat° (ou célérité) de l'onde dépend du milieu traversé

$$\boxed{v = \frac{c}{n} \quad \text{avec} \quad n > 1}$$

n indice de réfract° du milieu

Longueur d'onde : tte onde lumineuse peut ê considérée comme une superposit° d'ondes sinusoïdales. La vitesse de l'onde dépend du milieu mais pas la pulsat° ω.

Une onde comportant une seule pulsat° est dite monochromatique, la pulsat° étant caractéristique de la couleur du rayonnement lumineux.

Onde caractérisé par $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ou fréquence $\nu = \frac{1}{T} = f$

Longueur d'onde λ : $\boxed{\lambda = fT = \frac{cT}{n} = \frac{\lambda_0}{n}}$ λ_0 longueur d'onde dans le vide

Lois fondamentales de l'optique geometrique

Milieu homogene et isotrope :

↳ prop. physique identique en tt pts du milieu

↳ ces prop. st identiques dans ttes les directo de propagato du rayon lumineux.

Milieu pour lesquels la vitesse de propagato n'est pas la m̂ parallèlemt aux 3 axes de coordonnées → milieux biréfringents (quartz)

Cadre de l'approx. de l'optique geometrique

Les lois de l'optique geométrique étudiées dans la suite st valables tant que les instruments utilisés st de grande taille par rapport à la longueur d'onde

Propagato rectiligne

Dans un milieu homogène et isotropes, les rayons lumineux st des droites

Dans une suite de milieux homogènes, le trajet d'un rayon lumineux sera formé d'une successo de segments de droite

Retour inverse :

La trajectoire suivie par la lumière ne dépend pas du sens de parcours

↳ loi du retour inverse de la lumière

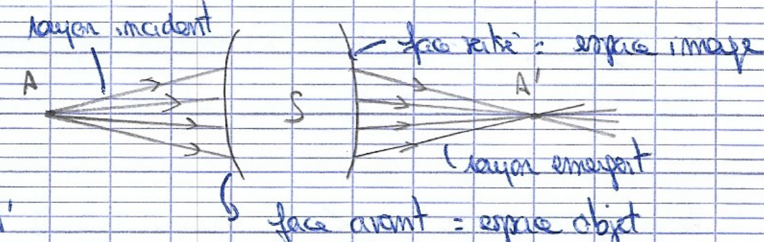
Refract°, reflexion

Vocabulaire

Si la surface entre 2 milieux successifs est réfléchissante, on parle de miroir, sinon il s'agit d'un dioptre.
↳ syst. que des dioptres → syst. dioptrique
syst. contenant un ou plusieurs miroirs → syst. catadioptrique

Le plus souvent le syst. est centré → axe de symétrie = axe optique
↳ cet axe est dans le sens de propagat°. Qd il y a reflexion, l'orientat° change de sens
Les plans ⊥ à cet axe optique st appelés plan transverses.

Image



A' image de A
A antécédent de A'
A et A' sont conjugués par le système

En A → faisceau divergent A' → faisceau convergent
Si A est dans S → objet virtuel
A' " " S → image virtuelle

Loi de Descartes

Reflexion : si la surface réfléchissante est en métal poli → reflexion métallique
si la surface " est la surface de separat° entre 2 milieux transparents → reflexion vitreuse (ou dioptrique)
Le pt I où le rayon incident rencontre la surface est appelé pt d'incidence.
Le plan contenant le rayon incident et la normale à la surface au pt I est appelé plan d'incidence.

Loi de la reflexion : • Le rayon reflechi est dans le plan d'incidence
• Les angles d'incidence i et de reflex° r sont tels que

$$r = -i$$

Refraction

Loi de Descartes : • Le rayon refracté est dans le plan d'incidence
• Les angles d'incidence i_1 et de refract° i_2 st tels que

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

Si $n_2 > n_1$ → milieu (2) est plus refringent que milieu (1)
↳ le rayon refracté se rapproche de la normale

Si $n_2 < n_1$ → milieu (2) moins refringeant que milieu (1)
↳ le rayon refracté s'écarte de la normale

Reflexion totale : $n_2 < n_1$ angle limite correspondant à $i_2 = \frac{\pi}{2}$

$$\rightarrow \sin(R_{lim}) = \frac{n_2}{n_1}$$

Refract° limite : $n_2 > n_1$ angle limite $i_1 = \pi/2$

$$\rightarrow \sin(i_{2,max}) = \frac{n_1}{n_2}$$

Cas de milieux stratifiés : La trajectoire de la lumière est formée de segments de droites dont l'ensemble a sa concavité tournée vers les indices croissants

↳ $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 = \dots = n_n \sin i_n$

$\Rightarrow n_n \sin i_n = cte$

n dépend de ρ & T du milieu ($\rho \nearrow \rightarrow n \nearrow$)

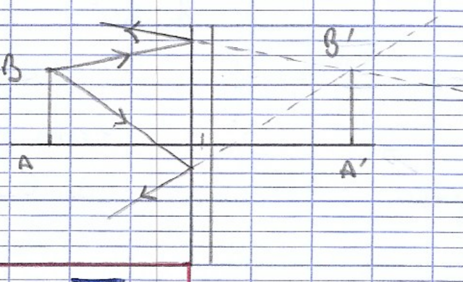
Stigmatisme et aplanétisme - Dioptres et miroirs

Stigmatisme et aplanétisme rigoureux

- Stigmatisme rigoureux : un syst. optique (S) est dit rigoureusement stigmatisme pour le couple de pts (A, A') si tous les rayons issus de A passent par A' après déviat° par le système. → A et A' conjugués par (S)
- Aplanétisme rigoureux : soient A et A' conjugués par rapport à (S). Soit B, un pt du plan transverse passant par A. Le syst. (S) sera dit aplanétique pour A et A' si le conjugué de B, noté B', ~~se~~ trouve dans le plan transverse passant par A'.
  ↳ correspondance plan transverse par plan transverse

Notion de foyer : soit un objet très éloigné de (S), situé sur l'axe : il est dit à l'∞. Son image à travers (S) est appelé foyer image F'. Le plan transverse contenant F' est appelé plan focal image. Réciproquement, le foyer objet F est le pt de l'axe optique dont l'image est rejetée à l'∞ sur l'axe. Le plan transverse contenant F est appelé plan focal objet.

Le miroir plan est rigoureusement aplanétique pour ∀ pt de l'espace et c'est le seul syst. optique qui vérifie cette propriété.



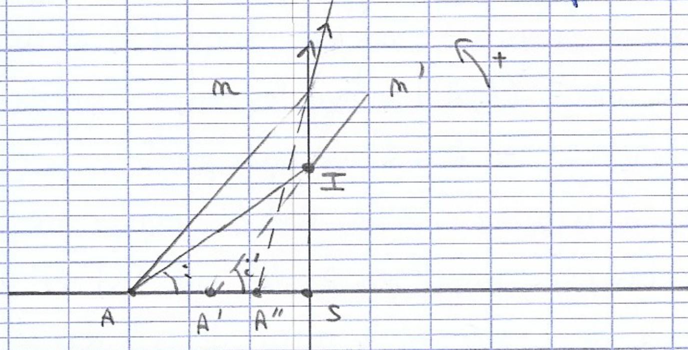
Aplanétisme d'un miroir plan

Grandissement $\boxed{\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}}$

Objet et image sont symétriques par rapport au miroir, l'image à l'∞ est à l'∞
↳ les foyers objet et image d'un miroir plan sont à l'∞ → syst. afocal

Stigmatisme et aplanétisme approchés

Cas du dioptre plan : soit un dioptre plan séparant 2 milieux d'indice n et n' avec $n' < n$ → la réfract° éloigne les rayons de la normale



→ but : trouver l'intersect° de 2 rayons après réfract°
suivant l'inclinaison du rayon incident, l'intersect° du rayon émergent avec l'axe est ≠.
→ pas de stigmatisme rigoureux.

Condit° stigmatisme approché : → condit° A' est quasiment indépendant du rayon
→ posit° de A'

relat° dans AIS et A'IS → $\overline{SI} = \overline{AS}\tan i$ $\quad \overline{SI} = \overline{A'S}\tan i'$

→ $\overline{A'S} = \overline{AS}\,\dfrac{\sin i \cos i'}{\sin i' \cos i}$ on sait que $n \sin i = n' \sin i'$

$$\overline{A'S} = \overline{AS}\,\frac{n'}{n}\left(\frac{1-\left(\frac{n}{n'}\right)^2 \sin^2 i}{1-\sin^2 i}\right)^{1/2}$$

$\sin i \simeq 0 \Rightarrow \dfrac{\overline{SA'}}{n'} = \dfrac{\overline{SA}}{n}$ → indépendant de i si i petit
→ dans ce cas le dioptre est utilisé dans les condit° de Gauss.

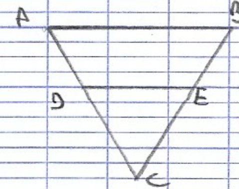
relat° de conjugaison

Condit° de Gauss, optique paraxiale

- Les rayons lumineux font un angle petit avec l'axe du syst. On parle de rayons paraxiaux
- Les rayons rencontrent les dioptres ou les miroirs au voisinage de leur sommet situé sur l'axe optique si le syst. est centré.

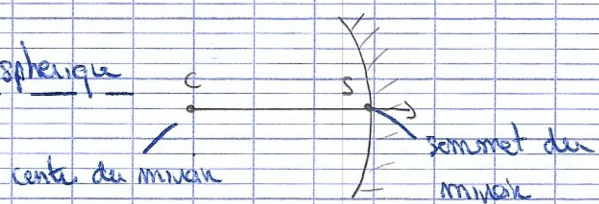
• L'angle d'incidence des rayons sur les dioptres ou miroirs est petit.

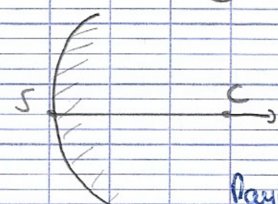
Cas du miroir sphérique



• Relat° de Thalès : $\frac{\overline{DE}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CD}}{\overline{CA}} = \frac{\overline{CE}}{\overline{CB}}$

Miroir sphérique





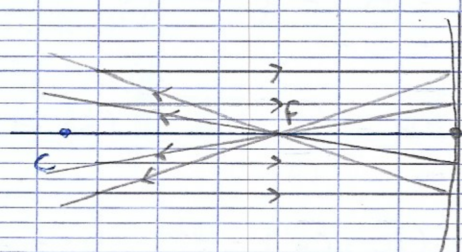
Rayon algébrique : $\overline{CS}$

miroir concave $\overline{CS} > 0$

miroir convexe $\overline{CS} < 0$

↳ miroir plan : rayon ∞

Caractère focal des miroirs sphériques dans l'approx. de Gauss



Condit° de Gauss, les rayons réfléchis se croisent sur l'axe au pt focal image F'
ici $F = F'$

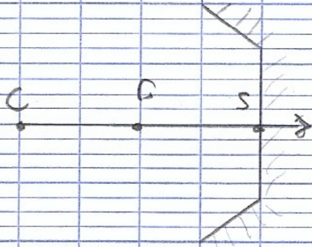
Le miroir sphérique compte 2 foyers confondus

Distance focale objet f : $f = \overline{SF}$

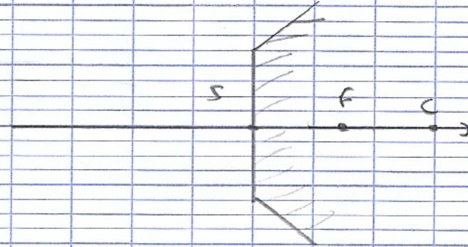
Distance focale image f' : $f' = \overline{SF'}$

ici $f = f' = \frac{\overline{SC}}{2}$

Représentat° symbolique des miroirs

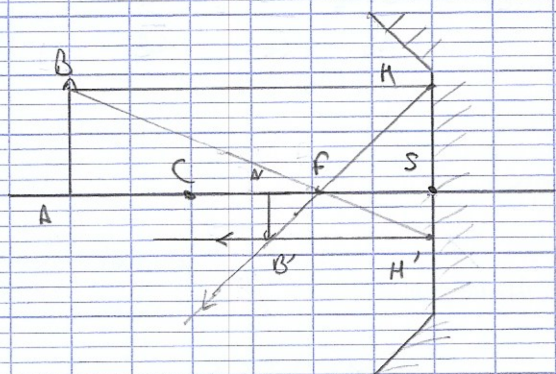


concave



convexe

Un rayon passant par le centre du miroir n'est pas dévié puisqu'il frappe le miroir selon la normale
Un rayon incident // à l'axe donne un rayon réfléchi passant par le foyer image
Un rayon incident passant par le foyer objet donne un rayon réfléchi // à l'axe



<u>Relat° de Newton</u> : $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{SH'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{FS}}{\overline{FA}}$ dans BAF et FSH'

$\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{SH}} = \dfrac{\overline{FA'}}{\overline{FS}}$ dans B'A'F et FSH

$\rightarrow \boxed{\overline{FA}\,\overline{FA'} = \overline{FS}^2 = f^2 = ff'}$

On a aussi $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$ dans CAB et CA'B'

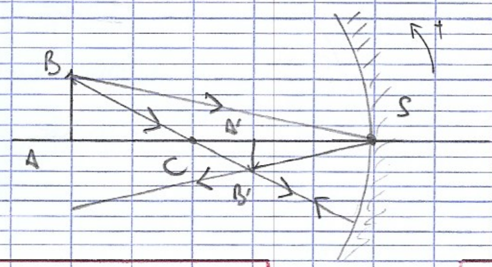
$(\overline{FC} + \overline{CA})(\overline{FC} + \overline{CA'}) = f^2 \qquad f = \overline{FC}$

$\rightarrow \dfrac{1}{\overline{CA}} + \dfrac{1}{\overline{CA'}} = \dfrac{-1}{f}$

Pour un miroir sphérique $f = \dfrac{\overline{SC}}{2}$

$$\boxed{\dfrac{1}{\overline{CA}} + \dfrac{1}{\overline{CA'}} = \dfrac{2}{\overline{CS}}}$$

Formules de conjugaison avec origine au sommet



$$\boxed{\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}}}$$

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}}$$

Autres construct°

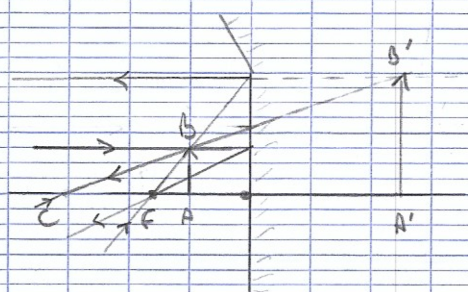


Image d'un objet réel situé entre le foyer objet et le sommet pour un miroir concave

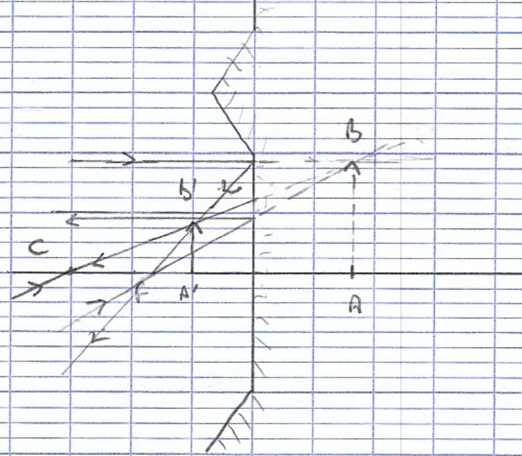


Image d'un objet virtuel situé après le sommet pour un miroir concave

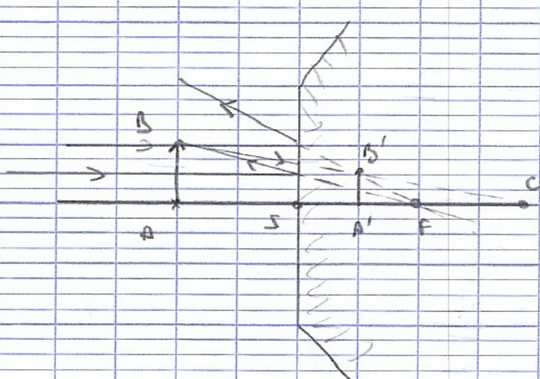


Image d'un objet réel situé avant le sommet pour un miroir convexe

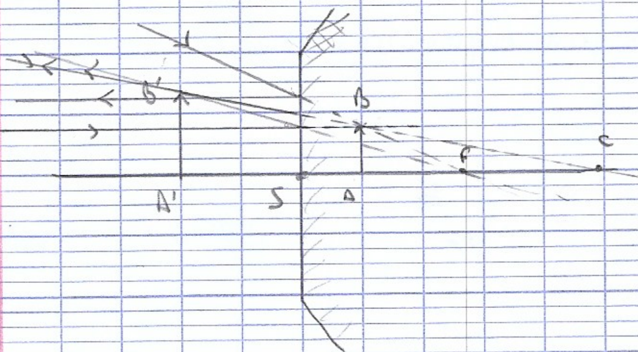


Image d'un objet virtuel situé entre le sommet et le foyer objet par un miroir convexe.

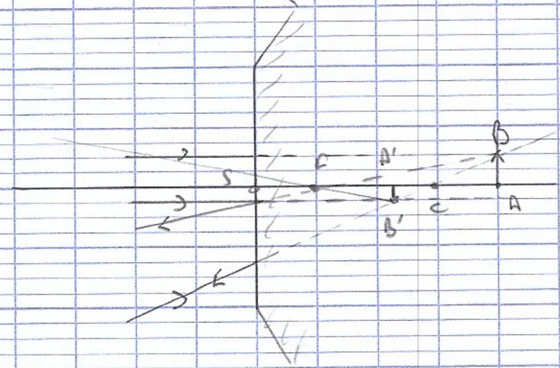
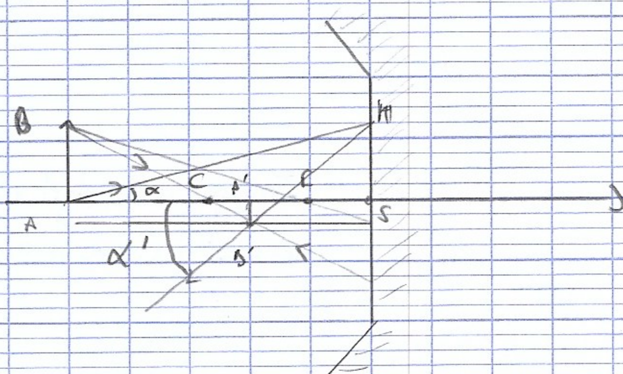


Image d'un objet virtuel situé après le foyer objet par un miroir convexe.

Relat° de Lagrange - Helmoltz



$\tan \alpha = \dfrac{\overline{SH}}{\overline{AS}}$ $\qquad$ $\tan \alpha' = \dfrac{\overline{SH}}{\overline{A'S}}$

Condit° Gauss $\alpha \ll 1 \rightarrow \tan \alpha \sim \alpha$ et $\alpha' \ll 1 \rightarrow \tan \alpha' \sim \alpha'$

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\overline{AS}}{\overline{A'S}}$$

Relat° de grandissement : $\dfrac{\overline{AS}}{\overline{A'S}} = - \dfrac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}}$

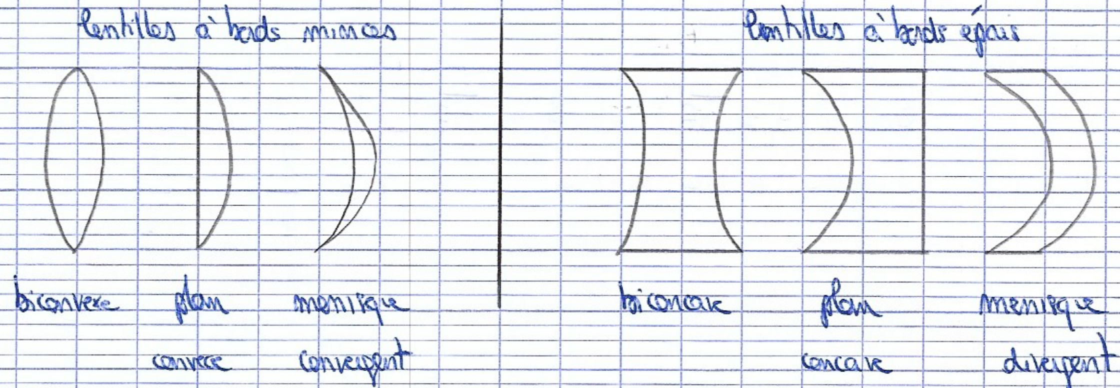
$\Rightarrow$ relat° de Lagrange - Helmoltz : $\boxed{\alpha \overline{AB} = -\alpha' \overline{A'B'}}$ $\qquad$ Grossissement $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$

$$\Rightarrow \boxed{G = \frac{\alpha'}{\alpha} = - \frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{-1}{\gamma} \quad \text{ou} \quad G\gamma = -1}$$

Lentilles minces sphériques

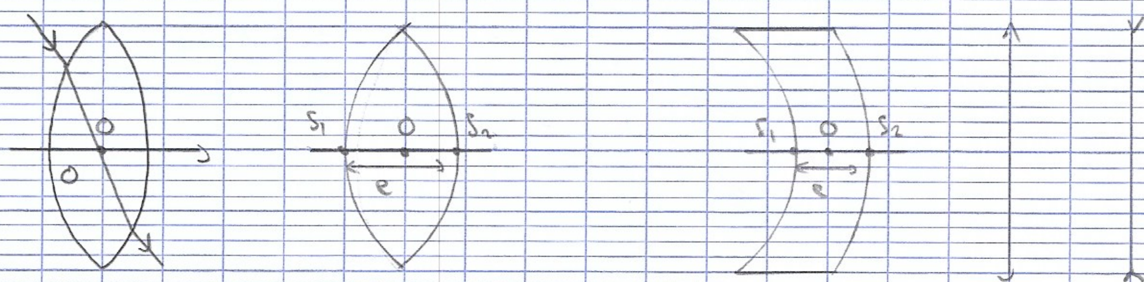
Les différentes lentilles

2 types de lentilles : lentilles à bords minces, lentilles à bords épais



Les lentilles à bords minces sont convergentes → elles rabattent les rayons vers l'axe
Les lentilles à bords épais st divergentes → elles écartent les rayons de l'axe.

Centre optique = pt de l'axe optique par lequel passe le rayon réfracté correspondant à un rayon incident dont le rayon émergent correspondant lui est //.



Déviat° d'un rayon par une lentille

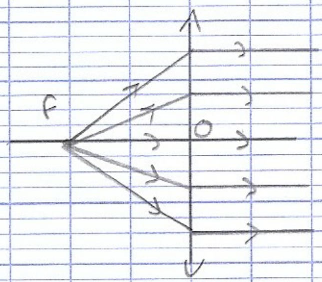
Condit° pour avoir une lentille mince :

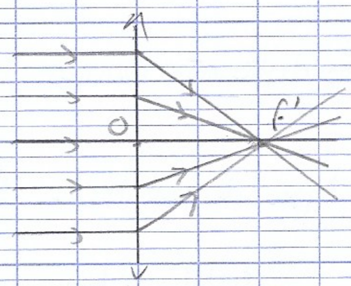
$e \ll |R_1|$, $e \ll |R_2|$ et $e \ll |R_1 - R_2|$

Lentille convergente / divergente

Distance focale

Lentille convergente : les foyers objet et image sont symétriques par rapport au centre optique. Le foyer objet est situé avant le centre optique O et le foyer image après O dans le sens de propagat° de la lumière





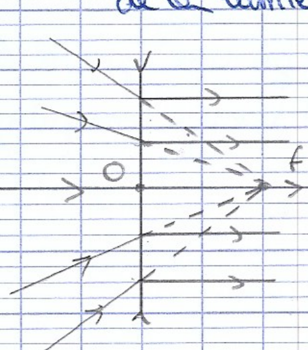
On a $f = \overline{OF}$ et $f' = \overline{OF'}$

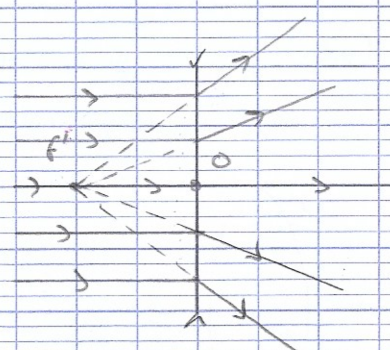
vergence d'une lentille = $\boxed{V = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f}}$ inverse d'une longueur (m^{-1})

unité : dioptrie (δ)

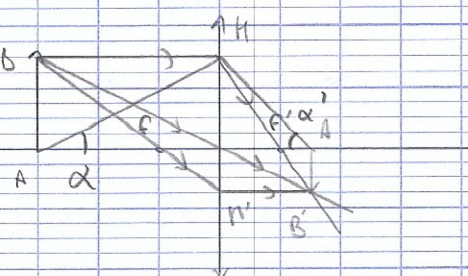
ex : $f' = 50\,cm \rightarrow V = 2\,\delta$

Lentille divergente : les foyers image et objet sont symétriques par rapport au centre optique mais virtuels. Le foyer objet est situé après le centre optique O et le foyer image avant O dans le sens de propagat° de la lumière.





Relat° de conjugaison



Grandissement : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OH'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$ dans les triangles ABF et OH'F

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OH}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}}$$ dans HOF' et F'A'B'

↳ relat° de Newton : $\overline{F'A'}\,\overline{FA} = \overline{F'O}\,\overline{FO} = -f'^2 = -f^2 = ff'$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{1}{\overline{FA}}}$$

On a dans OAB et OA'B' : $\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}}$

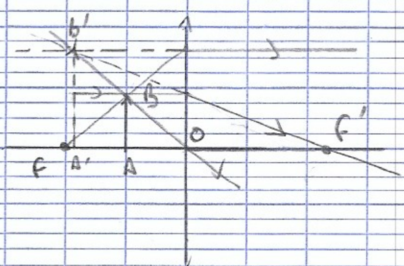
$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = V}$$

<u>Relat° Lagrange - Helmholtz</u> : $\tan\alpha = \frac{-\overline{OH}}{\overline{OA}}$ et $\tan\alpha' = -\frac{\overline{OH}}{\overline{OA'}}$

condit° Gauss → $\tan\alpha \simeq \alpha$ et $\tan\alpha' \simeq \alpha'$

$$\Rightarrow G = \frac{\alpha'}{\alpha} \iff G = \frac{1}{\gamma} \iff \gamma G = 1$$

<u>Autres construct°</u> : Lentille convergente



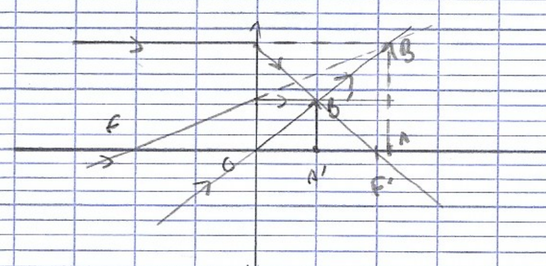


Image objet réel situé entre le foyer objet et O

Image d'un objet virtuel situé après O

Lentille divergente

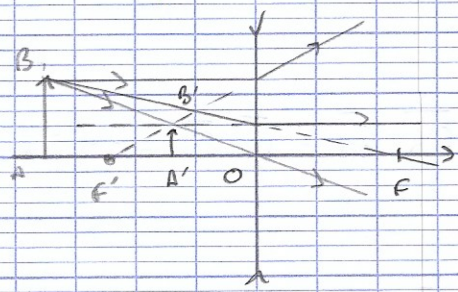


Image d'un objet reel situé avant O par lentille divergente

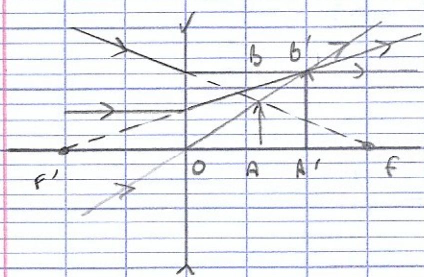


Image objet virtuel situé entre O et F

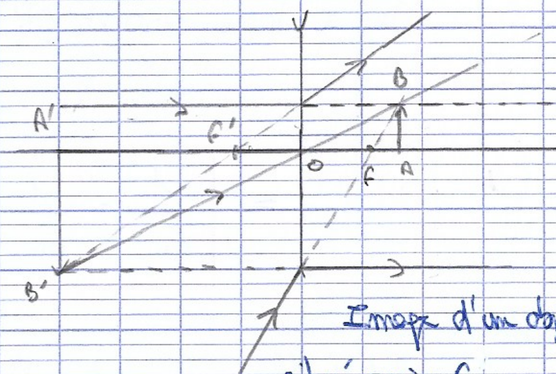
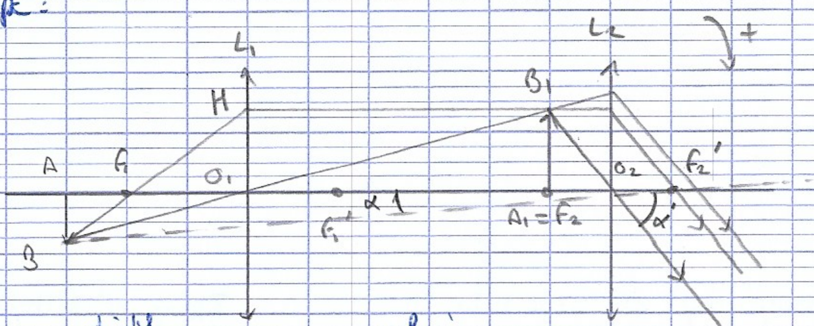


Image d'un objet virtuel situé après F

$\boxed{\text{Une lentille divergente ne peut pas donner une image reel d'un objet reel.}}$

Quelques instruments

- Microscope :



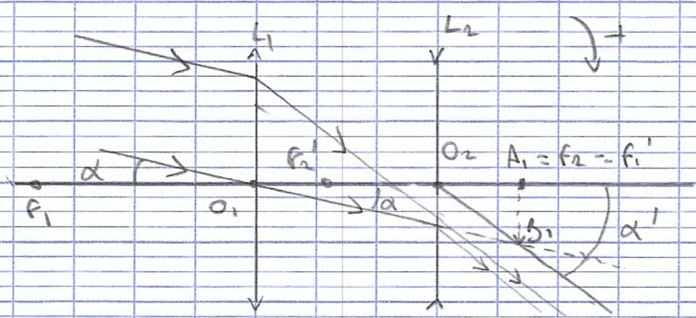
$$AB \xrightarrow{\text{objectif}} A_1(=F_2)B_1 \xrightarrow{\text{oculaire}} \infty$$

$$\overline{F_1'F_2} \cdot \overline{F_1A} = -f_1'^2$$

$$\tan\alpha' \approx \alpha' = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{F_2O_2}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{f_2'} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{f_1'}{\overline{F_1A}} \qquad \alpha' = \frac{\overline{AB}}{\overline{F_1A}}\,\frac{f_1'}{f_2'}$$

$$\tan\alpha \sim \alpha = \frac{\overline{AB}}{\overline{AF'_2}} \Rightarrow G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f'_1}{f'_2}\,\frac{\overline{AF'_2}}{\overline{F_1A}}$$

· Lunette de Galilée



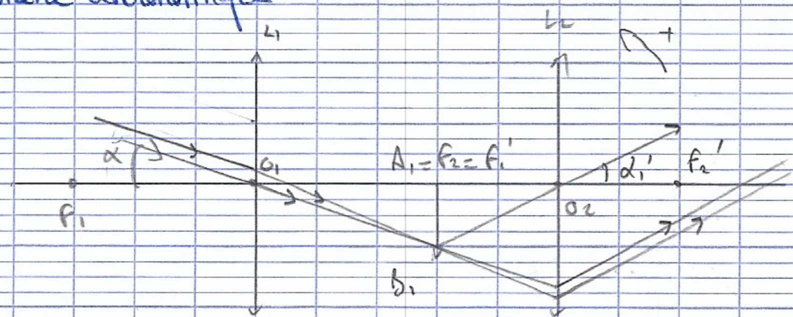
$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

$$\tan\alpha' \sim \alpha' = \frac{\overline{B_1A_1}}{\overline{O_2F_2}}$$

$$\tan\alpha \sim \alpha = \frac{\overline{B_1A_1}}{\overline{O_1F'_1}}$$

$$\rightarrow G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f'_1}{f_2}$$

· Lunette astronomique



$$\tan\alpha' \sim \alpha' = -\frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{F_2O_2}}$$

$$\tan\alpha \sim \alpha = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_1F'_1}}$$

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