

Cours d'Optique Géométrique

Laurent Labonté
Laurent.labonte@unice.fr



Références

Site web de référence :

- <http://www.youtube.com/watch?v=dckvoph10p4>
- <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/mnoptigeo.html>
- http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/index_fichiers/animflash.html
- <http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo/co/optigeo.html>

Introduction à l'optique géométrique & ses ressources élémentaires

I. Introduction

1. Qu'est ce que l'Optique ?
2. Qu'est ce que l'Optique géométrique ?
3. Les applications

II. Les ressources élémentaires

1. La longueur d'onde
2. Indice de réfraction
3. Loi de la réflexion
4. Loi de conjugaison appliquée au miroir plan
5. Loi de la réfraction
6. Réflexion totale
7. Application de la réfraction : stigmatisme approché

I. Introduction

I.1. Qu'est ce que l'optique ?

Définition (Wikipédia) : L'optique est la branche de la physique qui traite de la lumière et de ses propriétés, du **rayonnement électromagnétique**, de la vision ainsi que les systèmes utilisant ou émettant de la lumière.

Optique Ondulatoire

Optique quantique

1. Introduction

1.2. Qu'est ce que l'optique géométrique ?

Vidéo : http://www.youtube.com/watch?v=mtVbb_MWNDg&feature=player_detailpage&t=36



Domaines très large:

- Perception du monde qui nous entoure (formation des images).
- Instruments d'optiques (jumelles, télescope, microscope, ...).
- Propagation d'information via la lumière (fibre optique).
- Sources lumineuses (laser, lampe Sodium, ...).
- Détecteurs (Caméra IR, photodétecteur, matériaux SC).

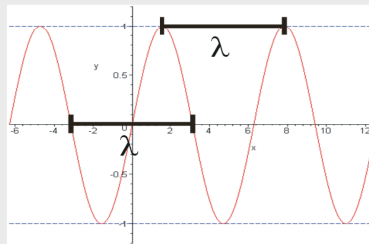
II. Les Ressources de l'Optique Géométrique

II.1. La longueur d'onde

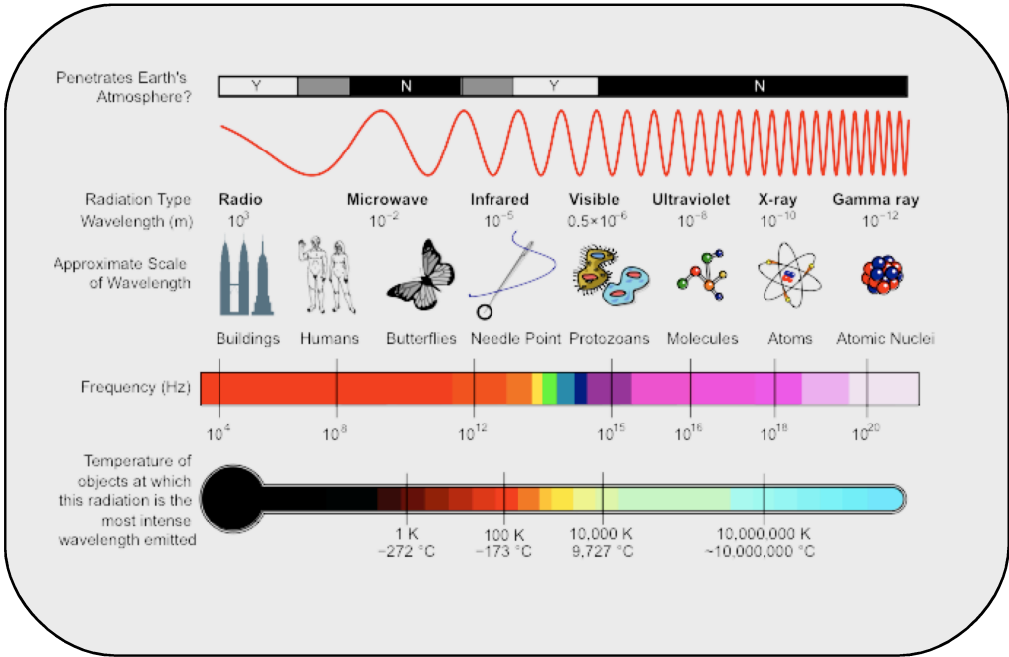
Définition (Source Wikipédia) : Une onde est un phénomène physique qui se propage et se reproduit à l'identique un peu plus tard dans le temps et dans l'espace. On peut alors définir **la longueur d'onde comme étant la plus courte distance séparant deux points de l'onde strictement identiques à un instant donné**. On la dénote communément par la lettre grecque λ (lambda).

La longueur d'onde est l'équivalent spatial de la période temporelle. En effet, la longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde au cours d'une période. Si on appelle c la célérité de l'onde et T sa période temporelle, on a :

$$\lambda = cT$$



II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
 II.1. La longueur d'onde



II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.2. Indice de réfraction

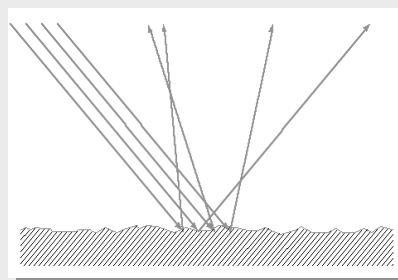
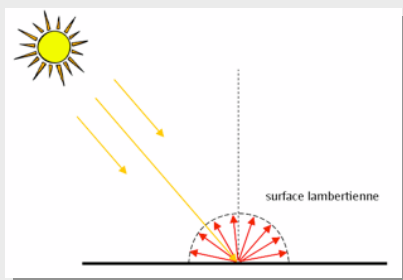
Définition de l'indice de réfraction : l'indice de réfraction d'un milieu homogène est égal au rapport de la vitesse c dans le vide et de la vitesse de la lumière v_j dans le milieu j :

$$n_j = \frac{c}{v_j}$$

liquide	indice de réfraction
verre	1.511 à 1.535
benzène	1.501
alcool éthylique	1.361
glycérine	1.473
eau	1.333

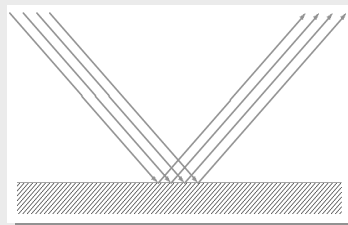
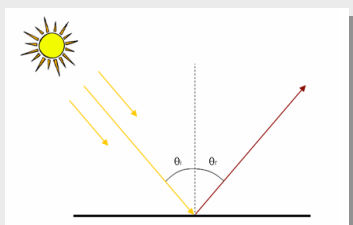
Remarque : dans un milieu d'indice n , la lumière suit un "chemin optique" de longueur $n \cdot \text{longueur du chemin}$ (Voir TD)

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.3. Loi de la réflexion



Exemple : observation de la plupart des objets de la vie courante

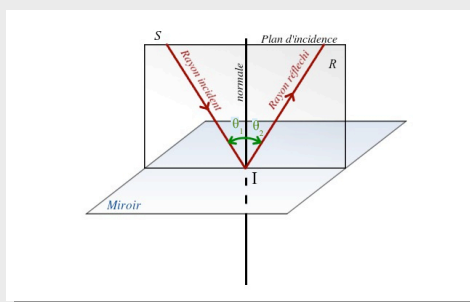
II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.3. Loi de la réflexion



Remarque : une réflexion spéculaire ne signifie pas forcément une surface parfaitement plane. En effet, une surface comportant des rugosités de quelques centimètres apparaîtra lisse dans le domaine des hyperfréquences, mais rugueuse dans le visible.

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique

II.3. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

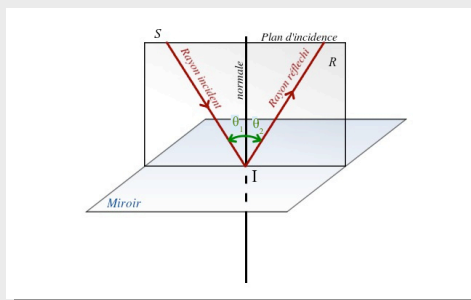


Le rayon lumineux est dit incident avant d'avoir rencontré la surface réfléchissante, il est dit "réfléchi" après.

La droite orthogonale à la surface réfléchissante au point d'incidence est appelée normale (à la surface réfléchissante).

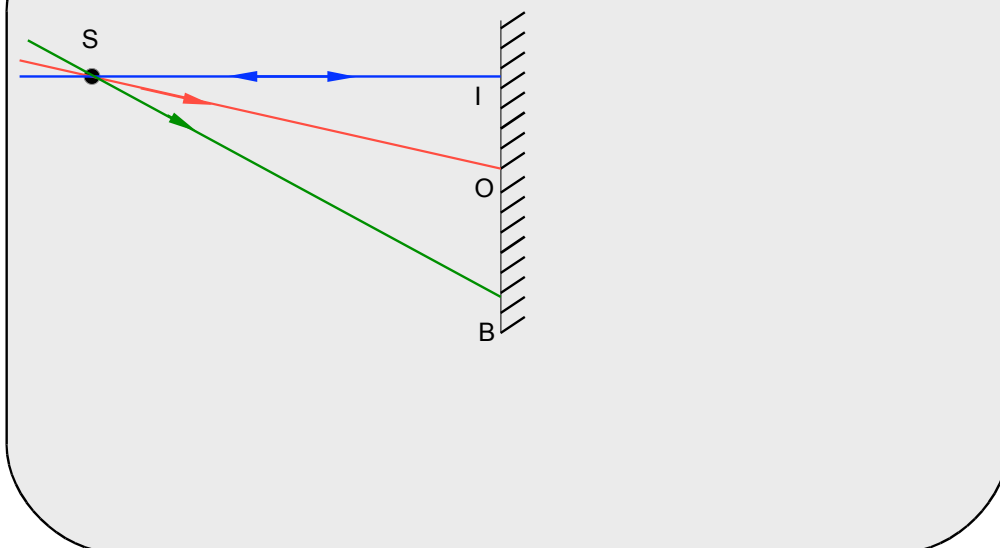
Le plan contenant le rayon incident et la normale à la surface réfléchissante au point d'incidence est dit plan d'incidence.

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.3. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion



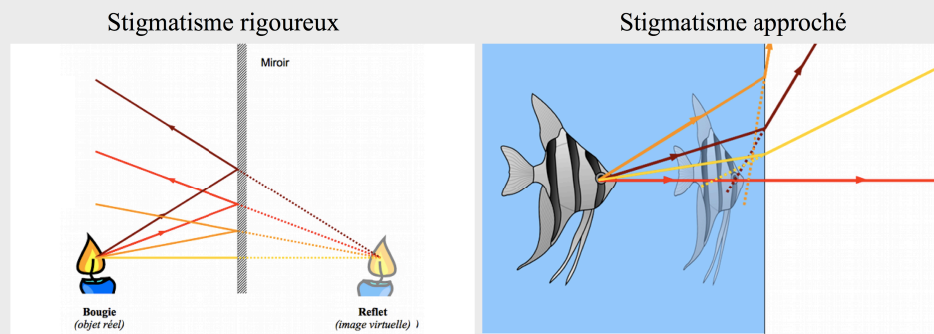
II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.3. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

Application : image d'un miroir plan



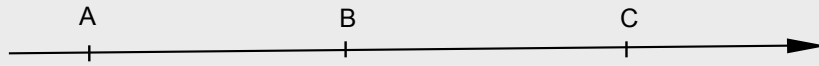
II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.3. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

Propriété importante des miroirs plan :

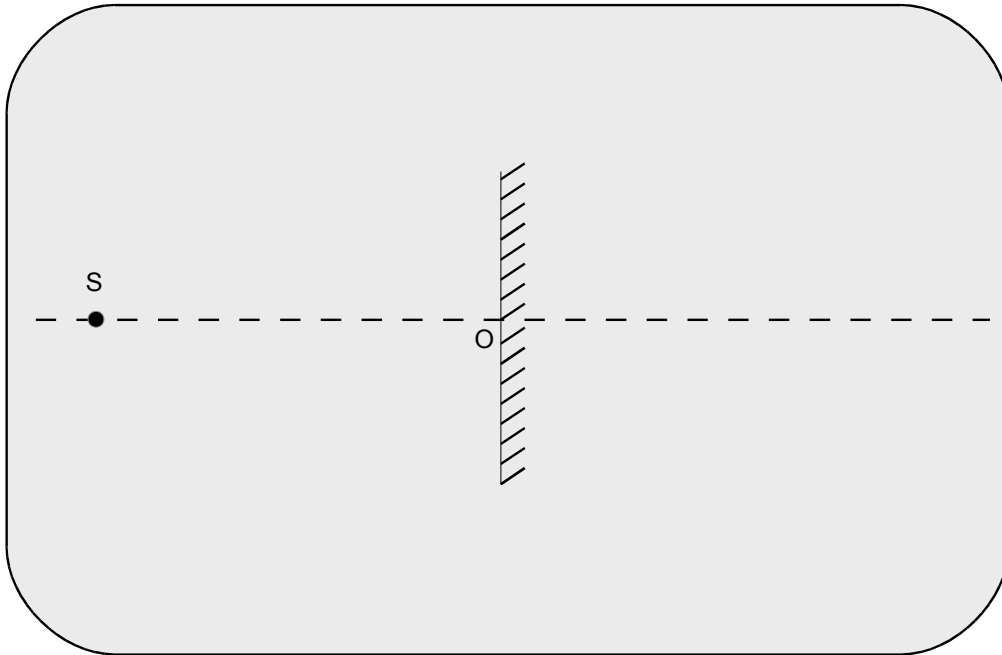


II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.4. Loi de conjugaison appliquée au miroir plan

Distance & distance algébrique

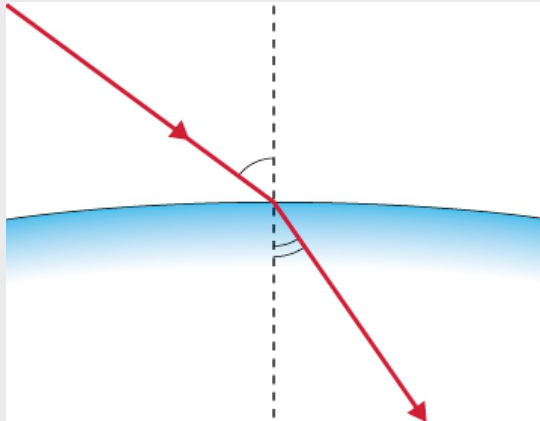


II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.4. Loi de conjugaison appliquée au miroir plan

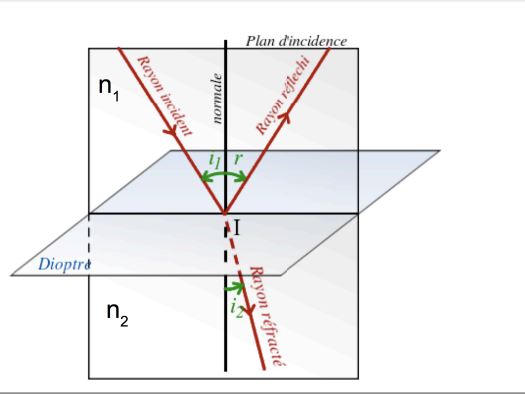


II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.5. Loi de la réfraction

Définition de la réfraction :

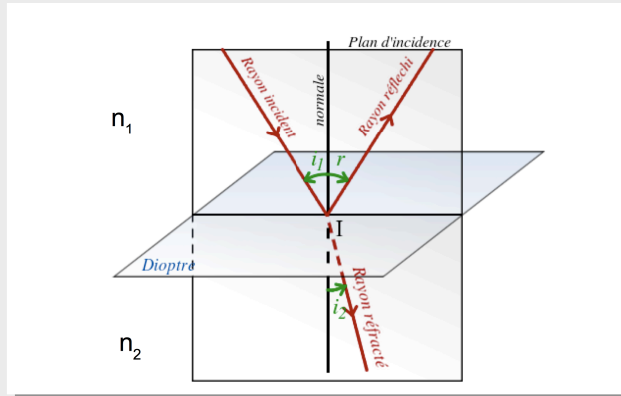


II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.5. Loi de la réfraction



- Lois de Snell-Descartes relatives à la réfraction :
- Le rayon réfracté est contenu dans le plan d'incidence,
 - L'angle du rayon réfracté i_2 vérifie : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

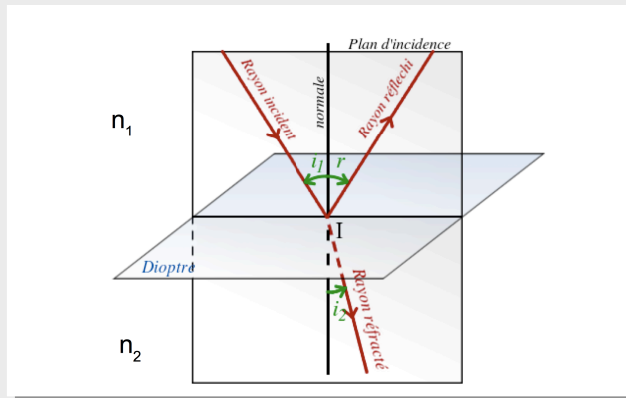
II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.5. Loi de la réfraction



Mesure de l'indice de réfraction : pour plusieurs angles d'incidence, on mesure à l'aide d'outils géométriques (goniomètre) l'angle d'émergence i_2 .

Pour cela il est nécessaire de connaître une valeur de référence, qui est celle du vide, $n=1$. Dans le cadre de ce cours, $n_{\text{vide}} = n_{\text{air}} = 1$.

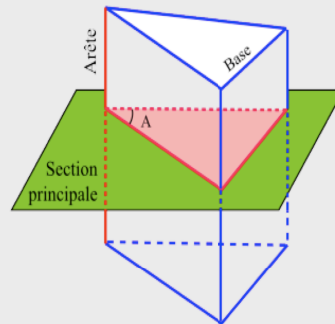
II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.5. Loi de la réfraction



II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.5. Loi de la réfraction

Application : utilisation de prisme et lame à faces parallèles (TD)

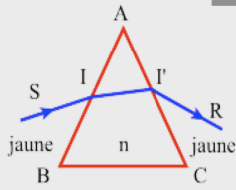
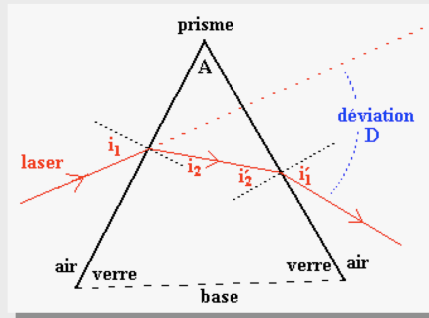
Un prisme est un milieu transparent et homogène limité par deux dioptries plans non parallèles qui constituent les faces du prisme ; celles-ci se coupent suivant une droite qui est l'arête du prisme.



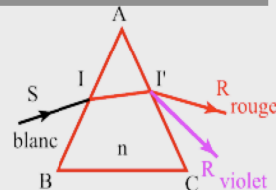
Un prisme est totalement défini par son angle A et son indice relatif n .

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.5. Loi de la réfraction

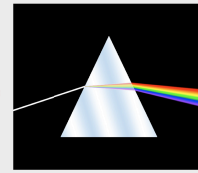
Construction géométrique pour un prisme :



Faisceau monochromatique



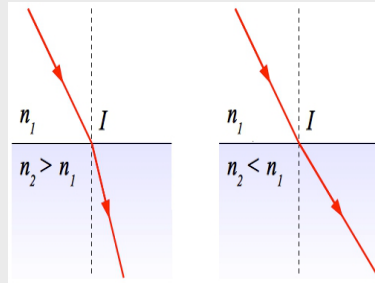
Faisceau polychromatique



http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/prisme/prisme.html

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.6. Réflexion totale

Imaginons la situation où $n_2(1) < n_1$ (1.33) :



Dans ce cas là, le rayon émergent s'écarte de la normale.

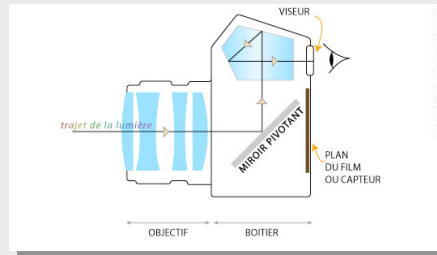
- Si $i_1=10^\circ$, alors $i_2=$
- Si $i_1=48^\circ$, alors $i_2=$
- Si $i_1=50^\circ$, alors $i_2=$

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.6. Réflexion totale

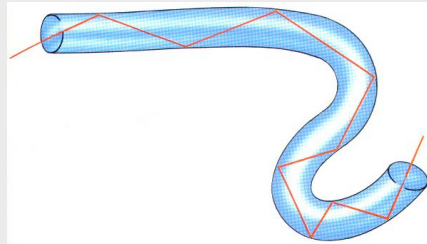
Applications :



Dans l'eau, la surface peut se comporter comme un miroir lorsque l'angle d'incidence est rasant.



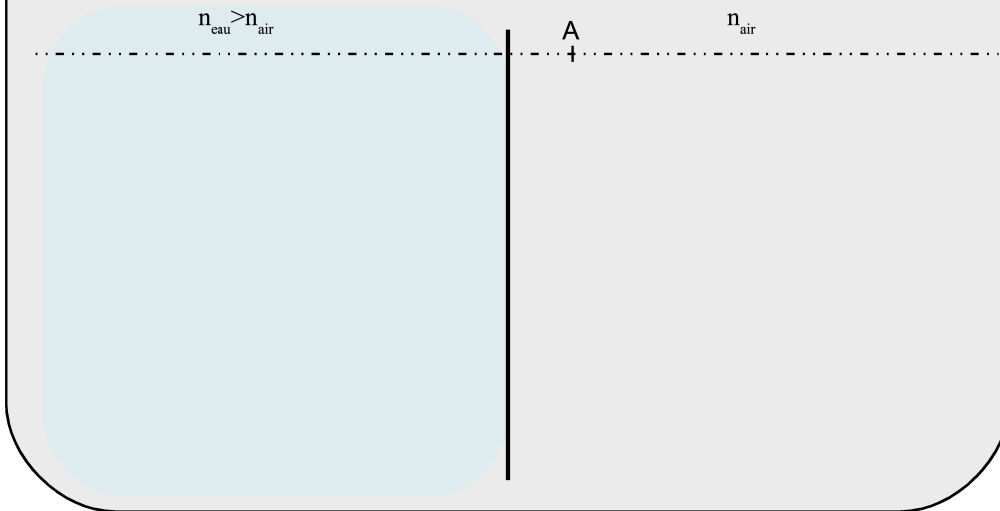
Dans les appareils photos « reflex », des composants en verre dévient la lumière.



Principe de guidage de la lumière dans les fibres optiques

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.7. Application de la réfraction : stigmatisme approché

A l'inverse d'un miroir, un dioptre plan ne possède pas la propriété de stigmatisme rigoureux, mais celle de stigmatisme approché. Voici la démonstration :



II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.7. Application de la réfraction : stigmatisme approché

$$d' = d \frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{air}}}$$

Comment faut-il comprendre cette relation ?

Si nous sommes à une distance suffisante de l'objet observé, on se place dans les conditions de faible incidence, ce qui permet de voir l'objet net.

Lorsque on est dans l'eau, les distances nous paraissent plus grandes ($n_{\text{eau}} > n_{\text{air}}$). On peut imaginer que si on est à l'intérieur d'un aquarium, les distances de la pièce seront plus grandes d'un facteur 1,33. Et inversement, si on est dans l'air, les poissons que nous regarderons seront à une distance plus proches de nous que l'image qui en est faite.

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.7. Application de la réfraction : stigmatisme approché

$$d' = d \frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{air}}}$$

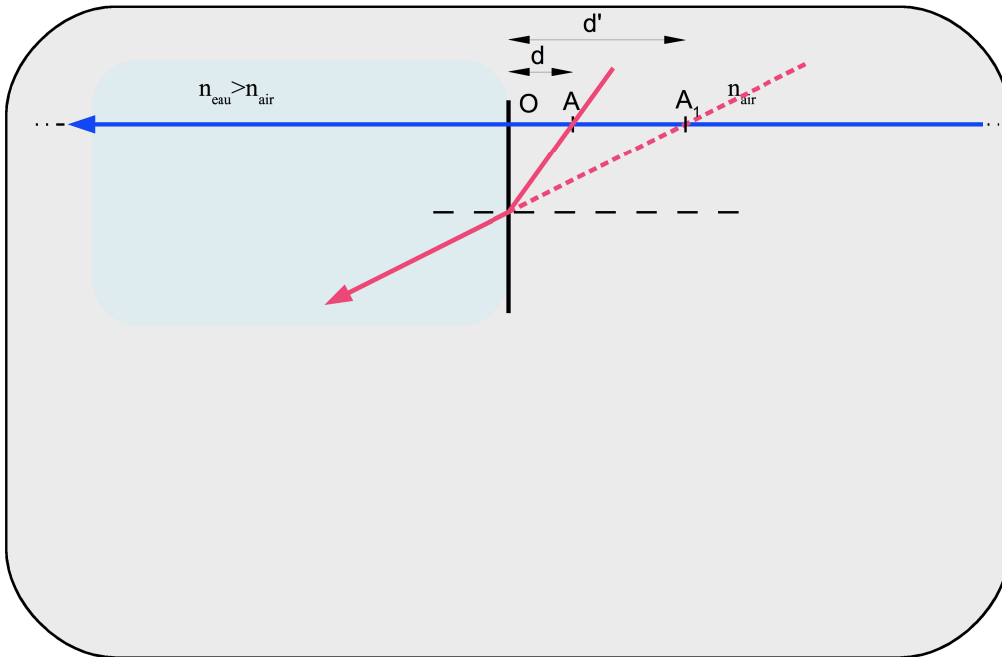
Comment faut-il comprendre cette relation ?

Si nous sommes à une distance suffisante de l'objet observé, on se place dans les conditions de faible incidence, ce qui permet de voir l'objet net.

Lorsque on est dans l'eau, les distances nous paraissent plus grandes ($n_{\text{eau}} > n_{\text{air}}$). On peut imaginer que si on est à l'intérieur d'un aquarium, les distances de la pièce seront plus grandes d'un facteur 1,33. Et inversement, si on est dans l'air, les poissons que nous regarderons seront à une distance plus proches de nous que l'image qui en est faite.

Comment font les oiseaux pour pêcher leur proie qui est dans l'eau ?

II. Les Ressources de l'Optique Géométrique
II.7. Application de la réfraction : stigmatisme approché



Miroir sphérique

- I. Définition
- II. Propriétés des miroirs concaves
- III. Constructions géométriques
- IV. Propriétés usuelles des images

Miroir sphérique

I. Définition

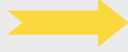


Miroir sphérique

I. Définition

Un miroir sphérique est une portion de sphère réfléchissante. Il s'agit généralement d'une calotte sphérique limitée par une base circulaire dont le diamètre est appelé diamètre d'ouverture du miroir. Il existe 2 types de miroir sphérique : miroir concave et miroir convexe.

Sens de la lumière



Miroir convexe

La partie réfléchissante est à l'**extérieur** du miroir.



Miroir concave

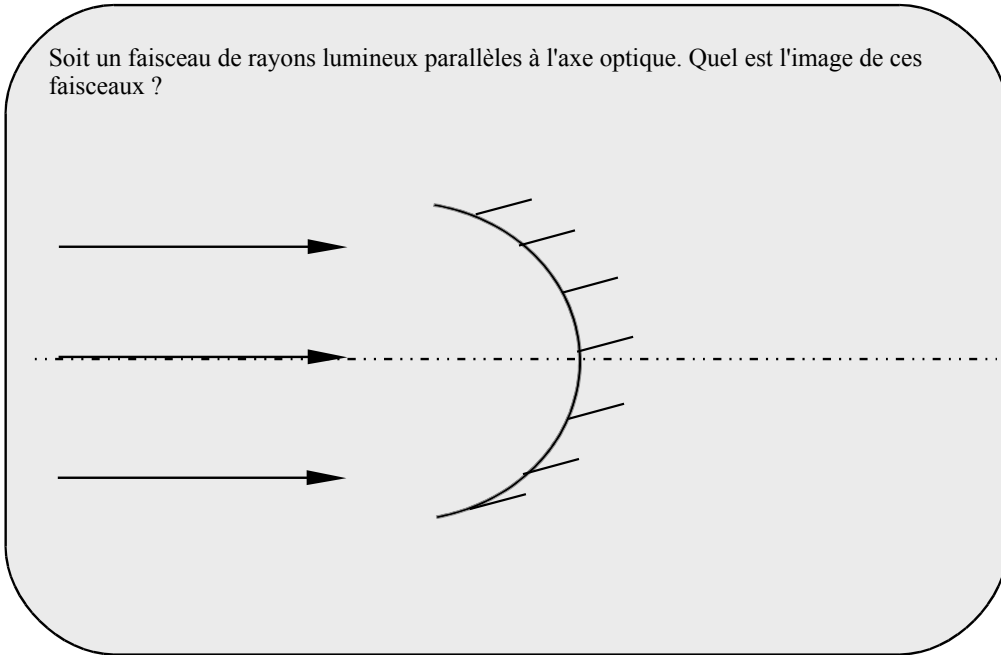
La partie réfléchissante est à l'**intérieur** du miroir.

Une fine pellicule d'argent ou d'aluminium recouvre la partie réfléchissante.

Miroir sphérique

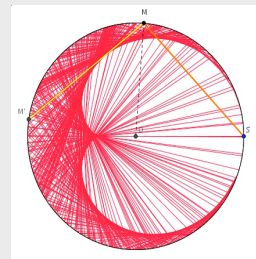
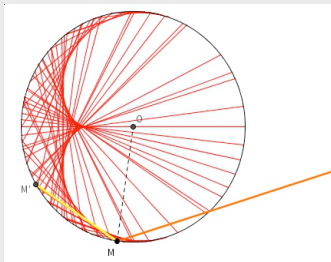
II. Propriétés des miroirs concaves

Soit un faisceau de rayons lumineux parallèles à l'axe optique. Quel est l'image de ces faisceaux ?



Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

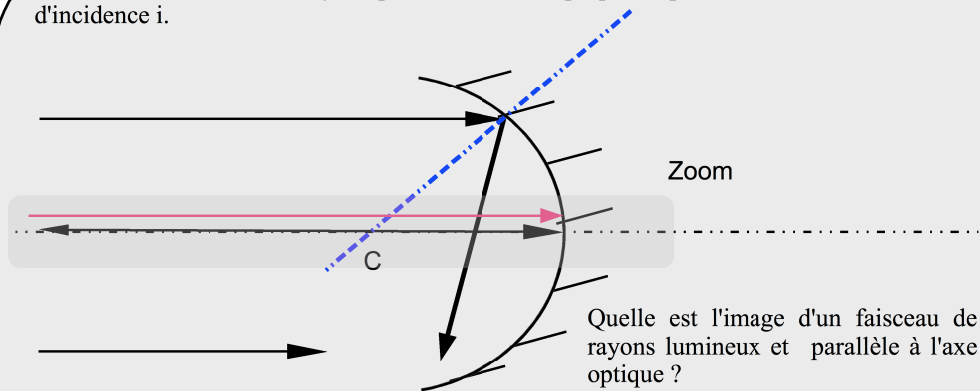


<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/caustimir.html>

Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

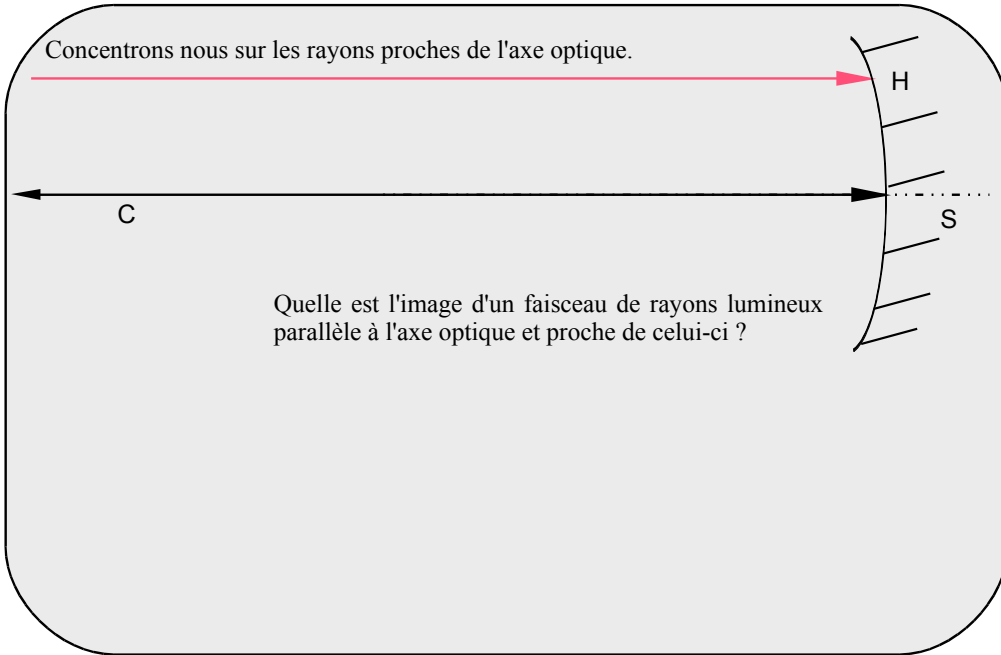
Concentrons nous sur les rayons proches de l'axe optique, et possédant une faible valeur d'incidence i .



Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

Concentrons nous sur les rayons proches de l'axe optique.

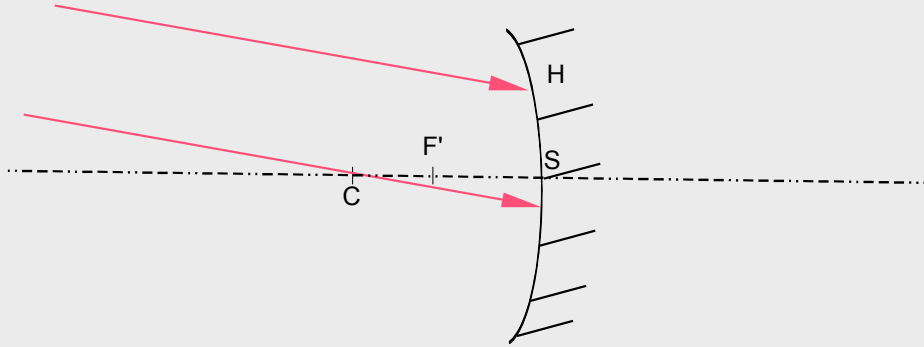


Quelle est l'image d'un faisceau de rayons lumineux parallèle à l'axe optique et proche de celui-ci ?

Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

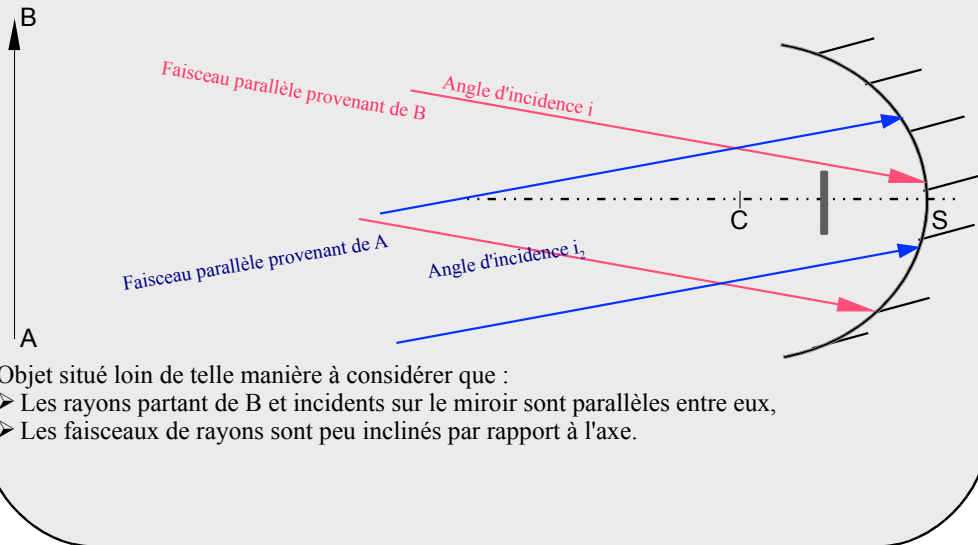
Vers quel point converge des faisceaux de rayons proches de l'axe optique mais non parallèles à celui-ci ?



Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

Soient 2 faisceaux incidents sur le miroir provenant d'un point suffisamment éloigné pour être dans les conditions de Gauss. Observons l'image de ces 2 faisceaux sur un écran :



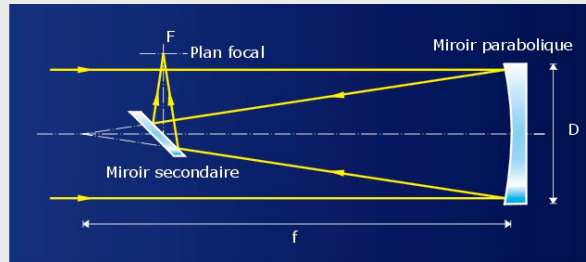
Objet situé loin de telle manière à considérer que :

- Les rayons partant de B et incidents sur le miroir sont parallèles entre eux,
- Les faisceaux de rayons sont peu inclinés par rapport à l'axe.

Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

Exemple d'image produite par un miroir concave :

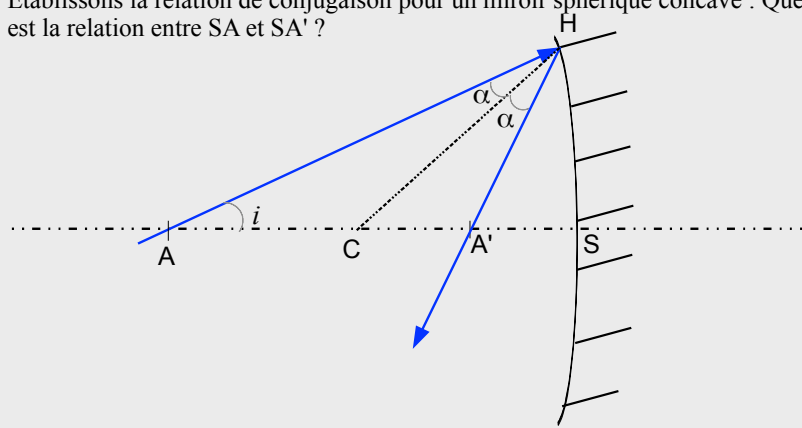


Jusqu'à présent, nous avons montré que des rayons parallèles entre eux et sous certaines conditions de Gauss, donnaient un point. Maintenant, on peut se poser la question suivante : qu'en est il des autres rayons lumineux, en d'autres termes, est ce que le miroir sphérique est rigoureusement, approximativement ou pas stigmatique ?

Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

Etablissons la relation de conjugaison pour un miroir sphérique concave : Quelle est la relation entre SA et SA' ?



Miroir sphérique

II. Propriétés des miroirs concaves

Utilisation de la formule : $\frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'} = \frac{2}{SC}$

Si A est confondu avec C, alors A'=?

Si A est à l'infini, alors A'=?

Où est l'objet pour obtenir une image à l'infini ?

Remarque : On peut montrer que la relation de conjugaison précédente peut se mettre sous cette forme :

$$\frac{1}{SA} + \frac{1}{SA'} = \frac{2}{SC} \Leftrightarrow -\frac{1}{CA} - \frac{1}{CA'} = -\frac{2}{CS}$$

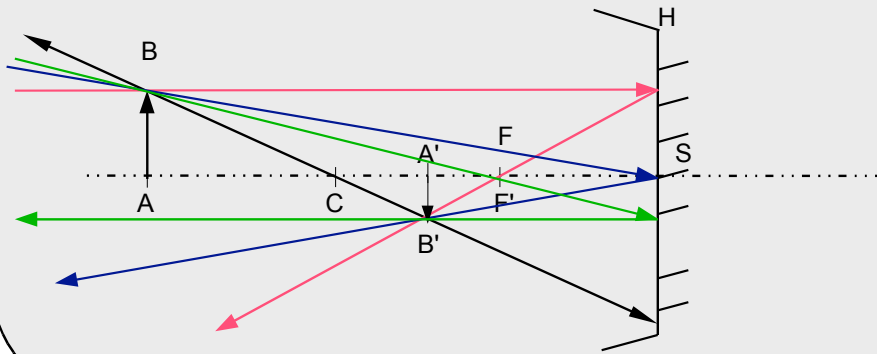
Insister sur le caractère algébrique de la loi, et les signes négatifs ; Profiter de la simu pour montrer ça. Montrer le miroir convexe.

Miroir sphérique

III. Constructions géométriques

Il existe un certain nombre de règles (4) qui permettent de construire l'image d'un objet à travers un instrument optique.

- Tout rayon passant par le centre du miroir n'est pas dévié,
- Tout rayon parallèle incident à l'axe optique passe par le foyer image F' ,
- Tout rayon passant par le foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique,
- Tout rayon lumineux incident au sommet du miroir émerge avec le même angle.



Exemple : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/miroirs/miroir_spherique.html

Miroir sphérique

IV. Propriétés usuelles des images

L'objectif d'étudier les images **d'objets réels**, et de connaître les champs d'application.

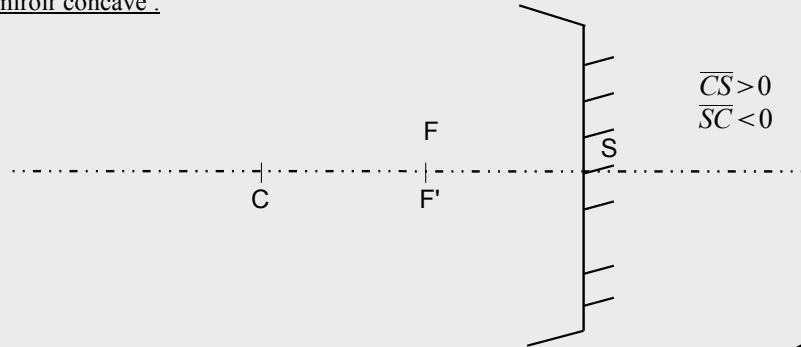
Relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{CA}} + \frac{1}{\overline{CA'}} = \frac{2}{\overline{CS}} \Rightarrow \overline{CA'} = \frac{\overline{CS} \cdot \overline{CA}}{2\overline{CA} - \overline{CS}}$$

Grandissement d'un miroir :

$$\gamma = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} = \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \Rightarrow \gamma = \frac{\overline{CS}}{2\overline{CA} - \overline{CS}}$$

Cas de miroir concave :



Miroir sphérique

IV. Propriétés usuelles des images

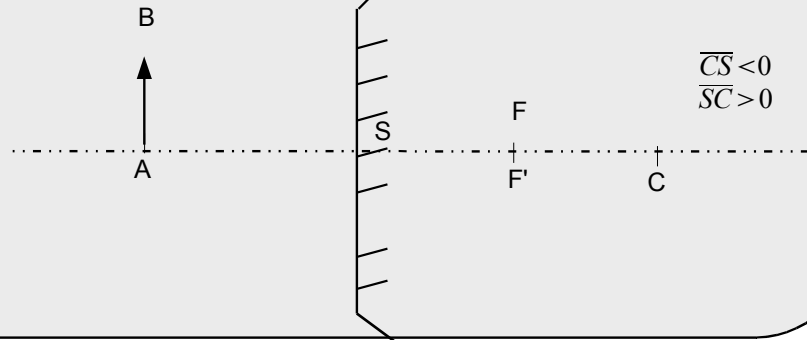
Relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{CA}} + \frac{1}{\overline{CA'}} = \frac{2}{\overline{CS}} \Rightarrow \overline{CA'} = \frac{\overline{CS} \cdot \overline{CA}}{2\overline{CA} - \overline{CS}}$$

Grandissement d'un miroir :

$$\gamma = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} = \frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \Rightarrow \gamma = \frac{\overline{CS}}{2\overline{CA} - \overline{CS}}$$

Cas de miroir convexe :



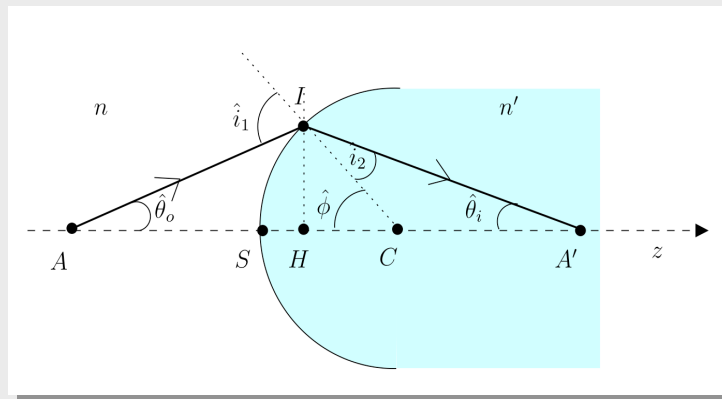
Dioptrique sphérique et lentilles

- I. Définition d'un dioptrique sphérique
- II. Propriétés d'un dioptrique sphérique
- III. Constructions géométriques pour un dioptrique sphérique
- IV. Définition d'une lentille
- V. Constructions géométriques pour une lentille mince
- VI. Propriétés des images

Dioptr sphérique et lentilles

I. Dfinition d'un dioptr sphrique

Un dioptr sphrique est un ensemble constitu de deux milieux transparents, homogènes et isotropes, d'indices diffrents surs par une surface sphrique. L'axe principal est l'axe perpendiculaire au plan de base, il coupe le dioptr en son sommet S . Le milieu d'indice n sera qualifi de milieu objet tandis que celui d'indice n' sera qualifi de milieu image.



Dioptre sphérique et lentilles

II. Propriétés d'un dioptre sphérique

$$\frac{n}{AS} + \frac{n'}{SA'} = \frac{(n' - n)}{SC}$$

On ré écrit cette équation en utilisant la notation algébrique :

$$\left. \begin{aligned} p &= \overline{SA} \\ p' &= \overline{SA'} \\ R &= \overline{SC} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{(n' - n)}{R}$$

Les valeurs p , p' et R peuvent être négatives !

On peut introduire la notion de vergence du dioptre V :

$$V = \frac{(n' - n)}{R}$$

- Si $V > 0$, le dioptre est convergent
- Si $V < 0$, le dioptre est divergent

On définit :

$$\left. \begin{aligned} f &= \overline{SF} = -\frac{n}{V} \\ f' &= \overline{SF'} = \frac{n'}{V} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{(n' - n)}{R} = V = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$$

Application :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/dioptre_spherique.html

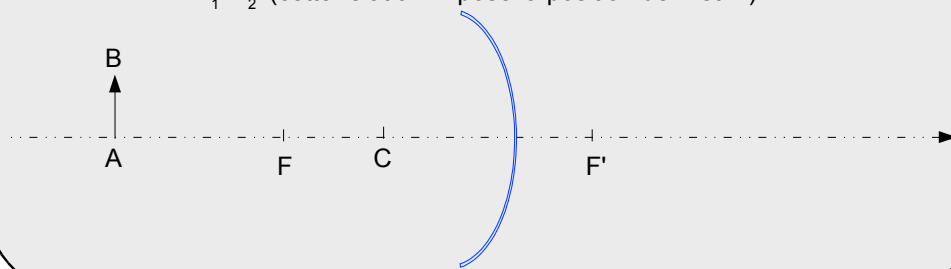
Dioptr sphérique et lentilles

III. Construction géométrique pour un dioptr sphérique

Nous utiliserons pour faire cette construction 3 rayons particuliers :

- un rayon passant par le centre du dioptr et qui n'est pas dévié à la traversée de celui-ci
- un rayon issu de B et passant par le foyer objet F : il est réfracté suivant une parallèle à l'axe principal
- un rayon issu de B et parallèle à l'axe principal : il est réfracté suivant un rayon qui passe par le foyer image F'.

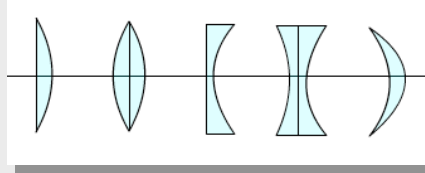
$n_1 > n_2$ (cette relation impose la position de F et F')



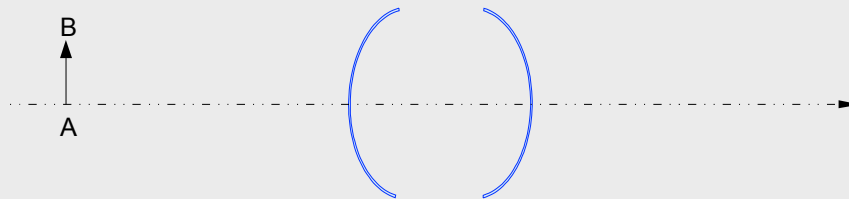
Dioptrique sphérique et lentilles

IV. Définition d'une lentille

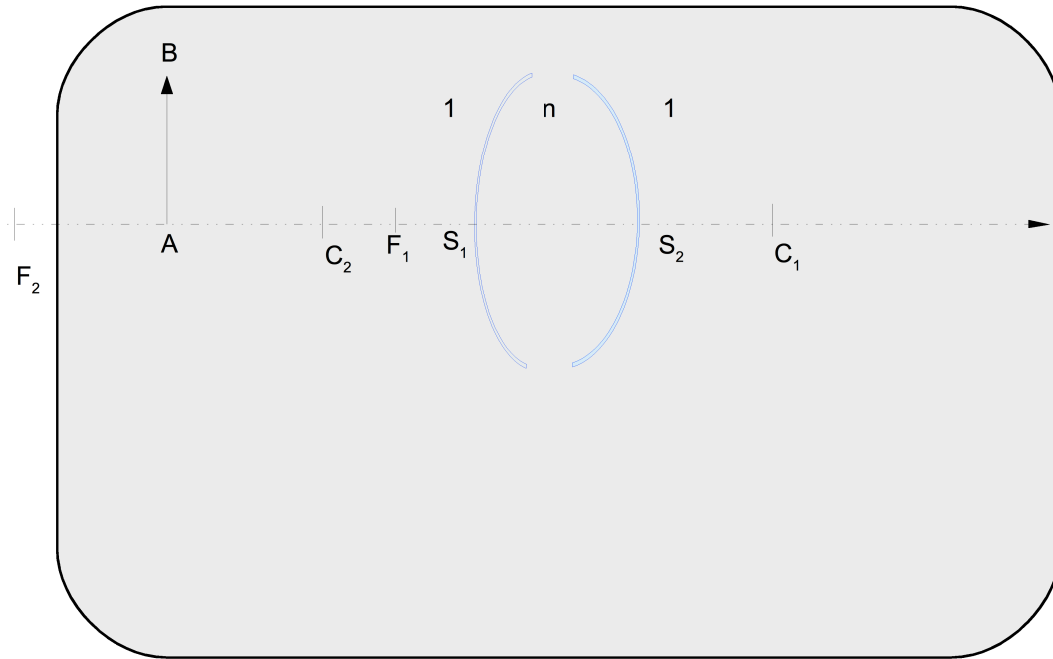
Une lentille est un système centré formé de deux dioptrés dont l'un au moins est un dioptré sphérique.



Comment se crée une image ?



Dioptre sphérique et lentilles
IV. Définition d'une lentille



Dioptrique sphérique et lentilles

IV. Définition d'une lentille

Relation de conjugaison de la lentille mince :

$$\frac{1}{OA} - \frac{1}{OA''} = \frac{1}{OF}$$

Interprétation physique de cette formule :

Si A'' est à l'infini, alors

Si A est à l'infini, alors

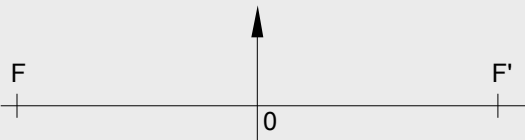
Remarque : pour une lentille mince, F et F' sont symétriques par rapport à leur sommet O .

Dioptr sphérique et lentilles

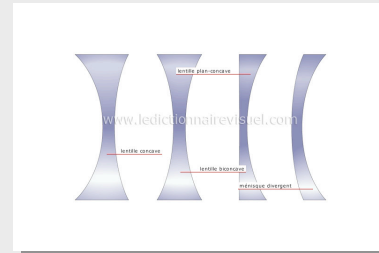
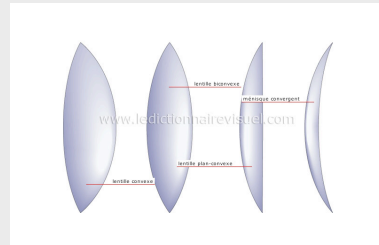
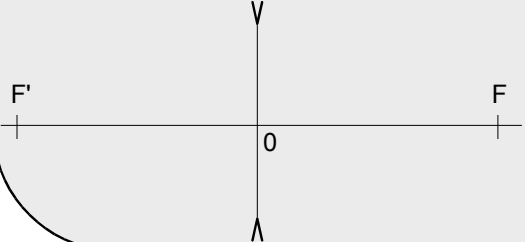
IV. Définition d'une lentille

En fonction du signe de la distance algébrique OF (et donc de la composition de la lentille), il existe 2 type de lentille :

$\overline{OF} < 0$ (Lentille convergente)



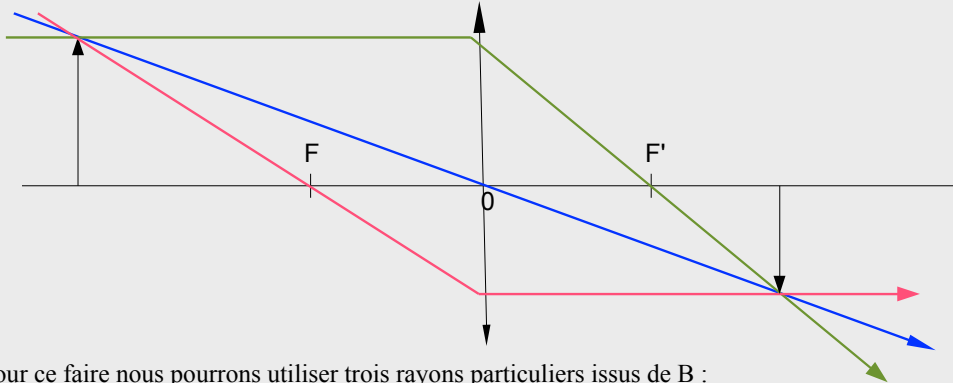
$\overline{OF} > 0$ (Lentille divergente)



Dioptrique sphérique et lentilles
V. Constructions géométriques pour une lentille

$\overline{OF} < 0$ (Lentille convergente)

Dans le cadre de l'approximation de Gauss, l'image d'un point est un point.



Pour ce faire nous pourrions utiliser trois rayons particuliers issus de B :

le rayon qui passe par le centre optique O et qui n'est pas dévié.

le rayon qui passe par le foyer objet F de la lentille et qui émerge parallèlement à l'axe principal.

le rayon parallèle à l'axe principal et qui émerge en passant par le foyer image F'.

Seuls deux des trois rayons utilisés suffisent à déterminer la position du point image

Dioptrique sphérique et lentilles

VI. Propriétés des images (cas d'une lentille convergente)

Un système optique donne une image d'un objet. L'objet peut être réel ou virtuel, il est en de même pour l'image. Celle-ci peut aussi être réduite ou agrandie, à l'endroit ou à l'envers. Il peut être intéressant de caractériser ce système optique afin de comprendre dans quelle situation, celui-ci peut être intéressant d'utilisation. Nous allons étudier le cas d'une lentille convergente.

Le paramètre qui permet de quantifier si une image est agrandie ou rétrécie / à l'endroit ou à l'envers est le grandissement :

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

Toutefois, une image agrandie pourrait nous paraître plus petite que l'objet dans certaines conditions ...

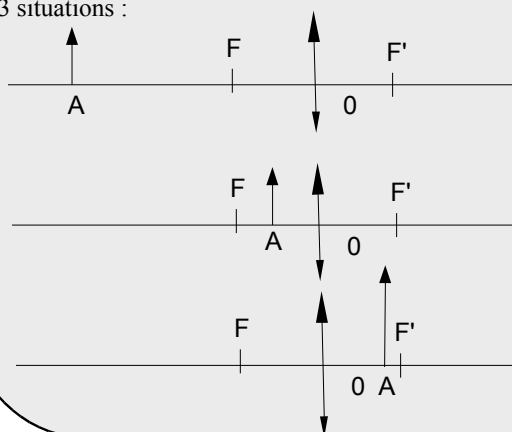
Prenons un exemple aussi improbable qu'irréaliste d'un système optique qui donnerait l'image d'une orange la lune !

Dioptrique sphérique et lentilles

VI. Propriétés des images (cas d'une lentille convergente)

Un système optique donne une image d'un objet. L'objet peut être réel ou virtuel, il est en de même pour l'image. Celle-ci peut aussi être réduite ou agrandie, à l'endroit ou à l'envers. Il peut être intéressant de caractériser ce système optique afin de comprendre dans quelle situation, celui-ci peut être intéressant d'utilisation. Nous allons étudier le cas d'une lentille convergente.

3 situations :



Situation	Objet	Image
1	Réel	
2	Réel	
3	Virtuel	

Dioptre sphérique et lentilles
VI. Propriétés des images (cas d'une lentille convergente)

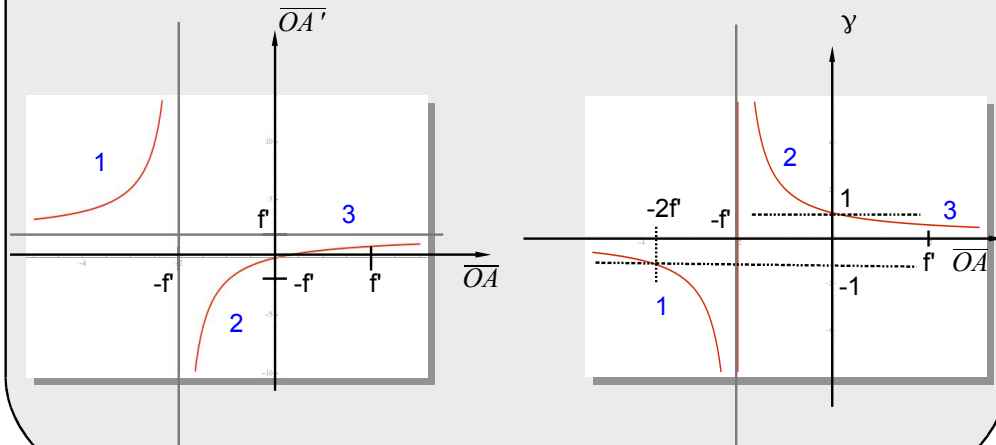
Mise en équation : relation de conjugaison d'une lentille mince

Dioptre sphérique et lentilles
VI. Propriétés des images (cas d'une lentille convergente)

Tracé des courbes :

$$\overline{OA'} = \frac{f' \overline{OA}}{f' + \overline{OA}}$$

$$\gamma = \frac{f'}{f' + \overline{OA}}$$



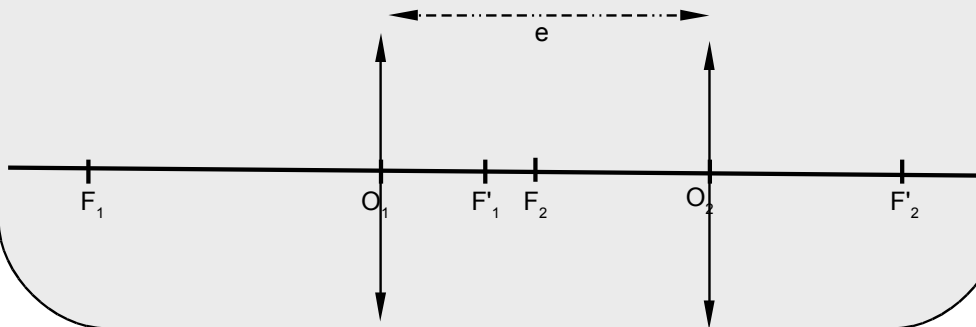
Dioptrique sphérique et lentilles

VII. Associations de lentilles minces

L'association de lentilles peut être motivée pour obtenir des performances que seule une seule lentille ne pourrait pas obtenir, ou alors avec un encombrement supérieur. De plus, les lentilles ne forment pas des images parfaites : l'image d'un point n'est généralement pas rigoureusement un point, mais une tache (stigmatisme approché voire astigmatisme). Ces **aberrations** affectent la qualité des images, mais peuvent cependant être minimisées par l'association de deux lentilles de verres optiques différents qui agissent en correction.

On classe les aberrations en 2 grandes familles :

- aberrations chromatiques : l'image se forme différemment selon la couleur de la lumière.
- aberrations géométriques, qui caractérisent les écarts au stigmatisme rigoureux, écarts d'autant plus grands que l'on s'éloigne des conditions de Gauss.



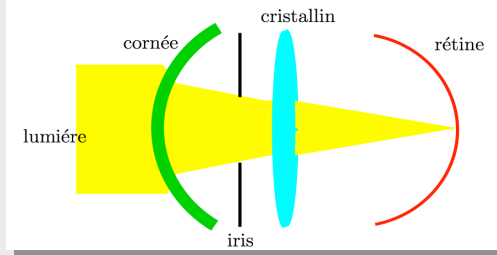
Instruments d'optiques

- I. L'oeil
- II. La lunette astronomique
- III. La lunette de Galilée
- IV. Le téléobjectif
- V. Le microscope

Instruments d'optiques

I. L'oeil

Schématisation de l'oeil :



- La cornée est une membrane solide et transparente de 11 mm de diamètre au travers de laquelle la lumière entre à l'intérieur de l'œil. Elle est nourrie par un liquide fluide comme l'eau : l'humeur aqueuse ($n=1.336$). La cornée est la principale lentille de l'œil, elle assure environ 80% de la réfraction.
- L'iris (arc-en-ciel en grec) : Il s'agit du diaphragme de l'œil percé en son centre par la pupille. C'est un muscle qui fait varier l'ouverture de la pupille (entre 2,5 et 7 mm) afin de modifier la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil pour éviter l'aveuglement en plein soleil ou capter le peu de rayons la nuit.
- Le cristallin : c'est une lentille auxiliaire molle et composée de fines couches superposées. Il se comporte comme une lentille bi-convexe de vergence variable grâce à l'action de muscle ciliaire.
- La rétine : c'est la couche sensible à la lumière grâce aux photorécepteurs.

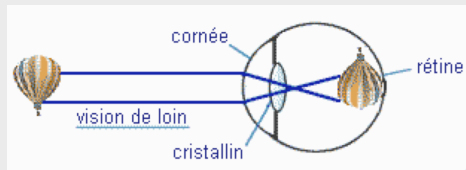
Instruments d'optiques

I. L'œil

Quel est le rôle du cristallin ?

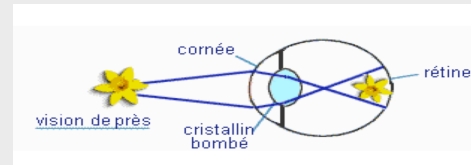
Vision de loin :

L'image est formée à l'envers.



Pour un œil normal, lorsque le cristallin est au repos, les images des objets situés à l'infini se forment sur la rétine : **on dit alors que l'œil n'accomode pas.**

Vision de près :

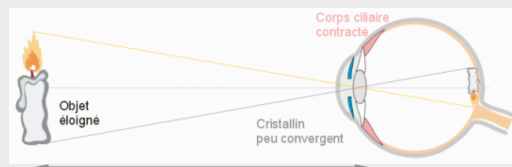
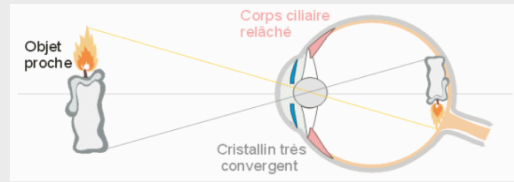


Lorsque l'œil regarde un objet proche, son cristallin se contracte, ce qui change la distance focale et permet aux images de se former sur la rétine : **on dit alors que l'œil accomode.**

Instruments d'optiques

I. L'oeil

On définit pour chaque oeil :

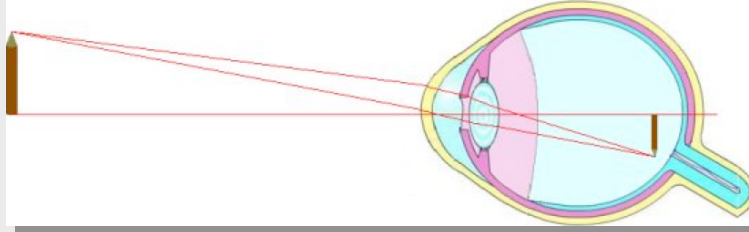


Instruments d'optiques

I. L'oeil

Défauts de la vision :

- L'oeil myope peut être un oeil dont la "lentille" est trop convergente (distance focale au repos trop courte), ce qui fait que l'image d'un objet à l'infini se forme avant la rétine. Alternativement, l'oeil myope peut être un oeil trop grand (distance cristallin-rétine trop importante) avec une "lentille" normale, ce qui donne le même résultat.

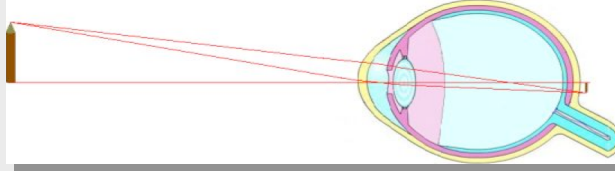


Un oeil myope ne peut ainsi pas voir nettement un objet situé à l'infini: son punctum remotum est inférieur à l'infini. Par contre, si ses capacités d'accommodation sont normales, il peut voir des objets placés très près : son punctum proximum est plus faible que celui d'un oeil normal.

Instruments d'optiques

I. L'oeil

- L'oeil hypermétrope peut être un oeil dont la "lentille" est trop peu puissante (distance focale au repos trop grande), ce qui fait que l'image d'un objet à l'infini, lorsque l'oeil n'accommode pas, se forme après la rétine. Alternativement, l'oeil hypermétrope peut être un oeil trop petit (distance cristallin-rétine trop faible) avec une "lentille normale", ce qui donne le même résultat.

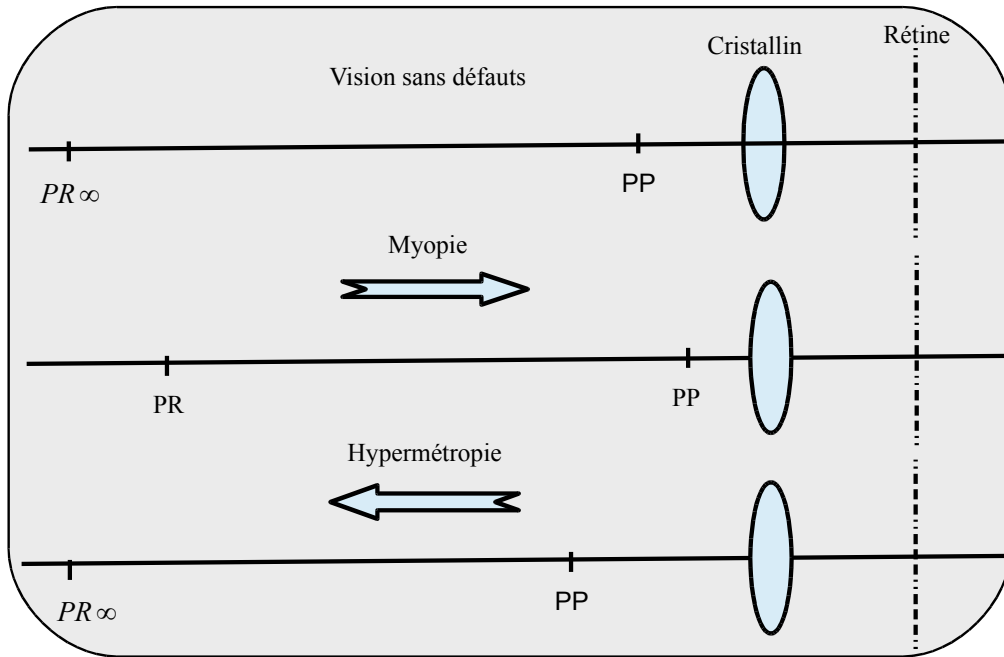


Un oeil hypermétrope, s'il n'accommode pas, forme l'image d'un objet très éloigné après la rétine. Il doit ainsi accommoder pour voir nettement un objet situé à l'infini. Son punctum remotum reste infini, mais s'il n'accommode pas, il voit flou.

S'il possède des capacités d'accommodation moyennes, la distance focale minimale de l'oeil hypermétrope, c'est-à-dire la valeur de son punctum proximum, est plus grande que celle d'un oeil normal : il voit flou des objets proches qu'un individu normal ou myope voit nettement.

Instruments d'optiques

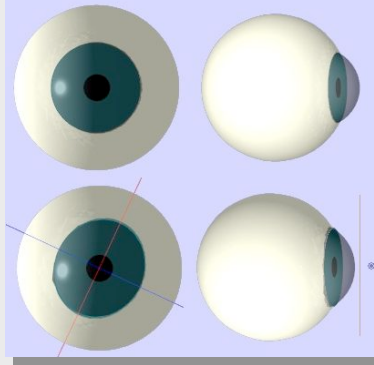
I. L'oeil



Instruments d'optiques

I. L'oeil

- L'oeil astigmatique possède des irrégularités de la courbure de la cornée ou du cristallin.



- L'oeil presbyte n'a pas la capacité d'accommoder, l'image se forme derrière la rétine, le cristallin n'étant plus capable d'accommoder, donc de voir correctement de près.

Instruments d'optiques

I. L'oeil

Pouvoir séparateur : distance minimale qui doit exister entre deux points pour que ceux-ci soient vus séparés.

Application : évaluation de la distance minimum observable à l'oeil nu depuis le fond de la salle d'un objet situé au tableau ?

Instruments d'optiques

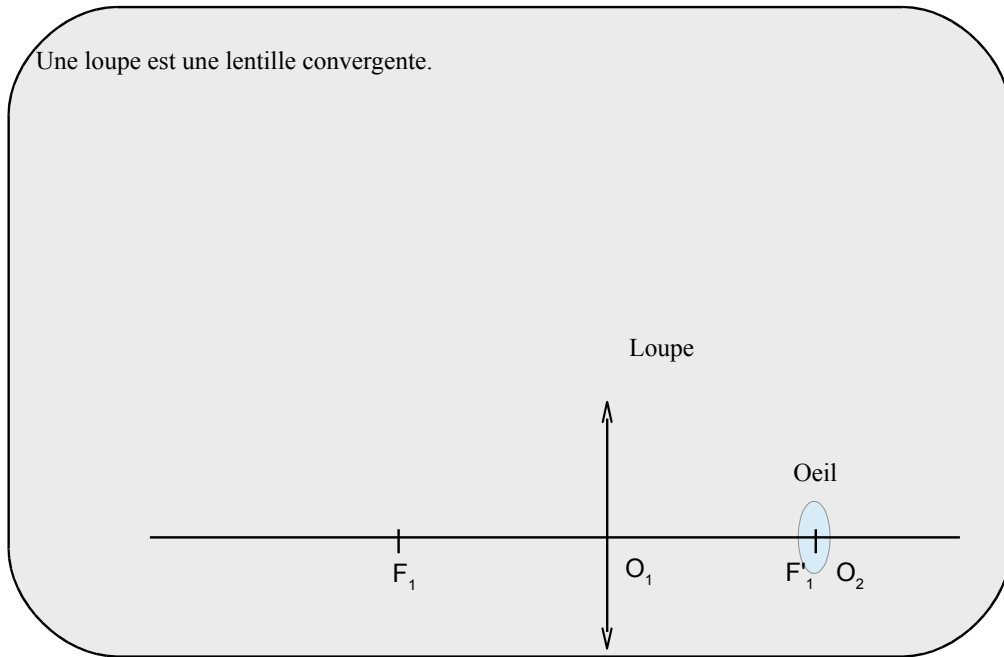
On distingue deux grandes familles d'instruments d'optique :

- Les instruments oculaires qui donnent une image virtuelle observée par l'oeil. Parmi ces instruments, on distingue la loupe, le microscope, la lunette et le télescope
- Les instruments objectifs ou de projection qui donnent d'un objet une image réelle.
Exemple : vidéo-projecteur ou appareil photo

Instruments d'optiques

II. La loupe

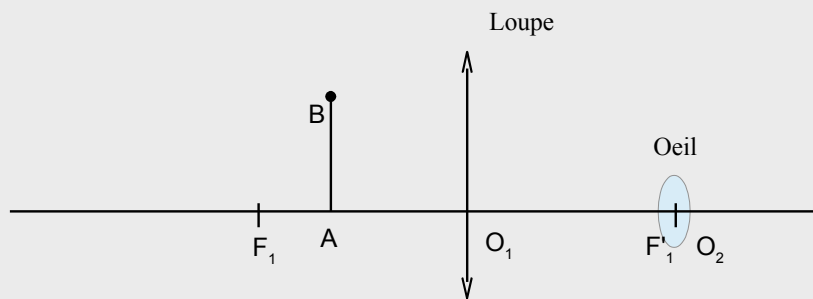
Une loupe est une lentille convergente.



Instruments d'optiques

II. La loupe

Une loupe est une lentille convergente. L'objet est situé **entre la lentille et son foyer**. Les rayons partant de cet objet sont alors déviés par la lentille pour rentrer dans l'oeil. L'image virtuelle est vue plus grande par l'oeil.

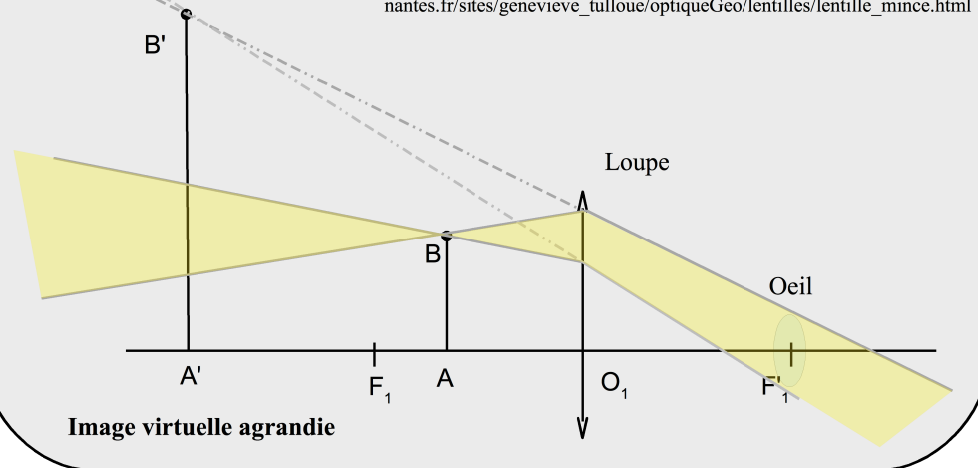


Instruments d'optiques

II. La loupe

Une loupe est une lentille convergente. L'objet est situé **entre la lentille et son foyer**. Les rayons partant de cet objet sont alors déviés par la lentille pour rentrer dans l'oeil. L'image virtuelle est vue plus grande par l'oeil.

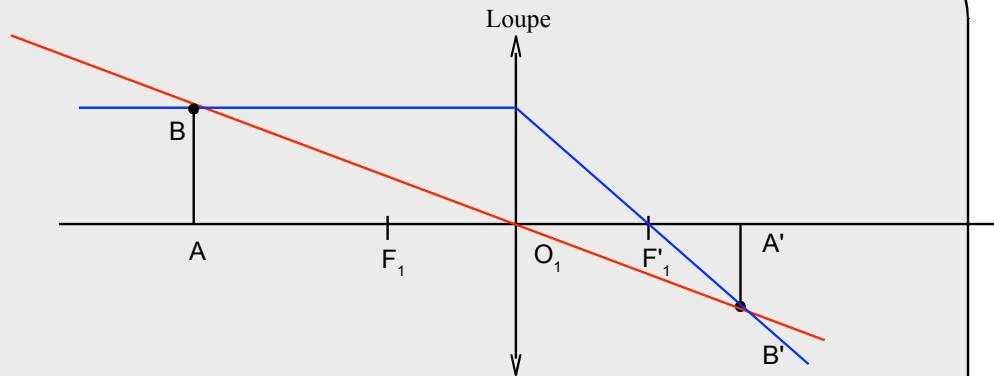
Lien : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.html



Instruments d'optiques

II. La loupe

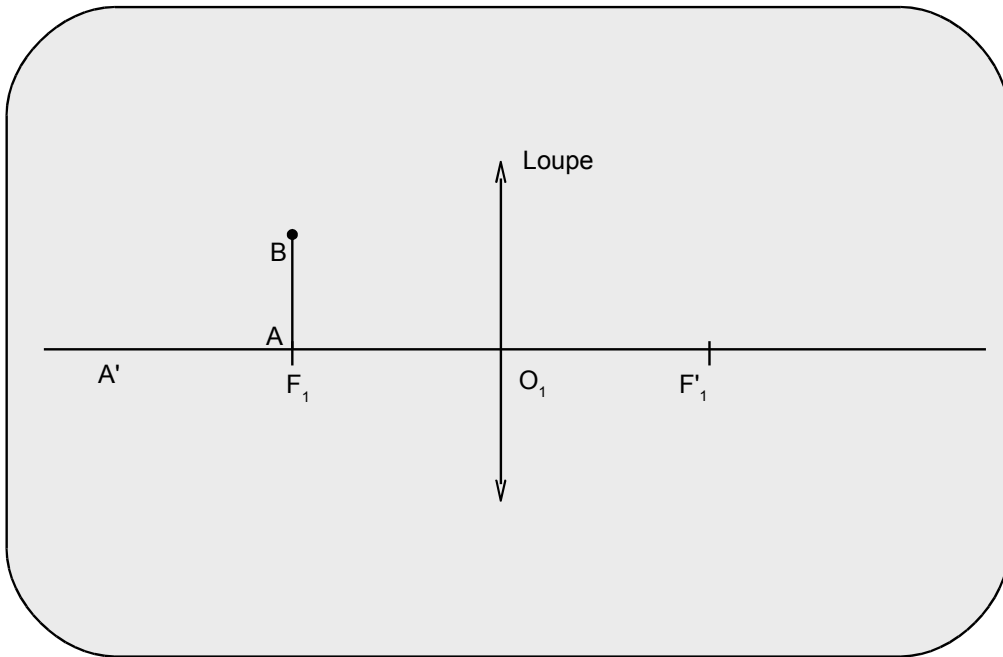
Remarque : Que devient l'image si l'objet est au delà du plan focal objet de la loupe ?



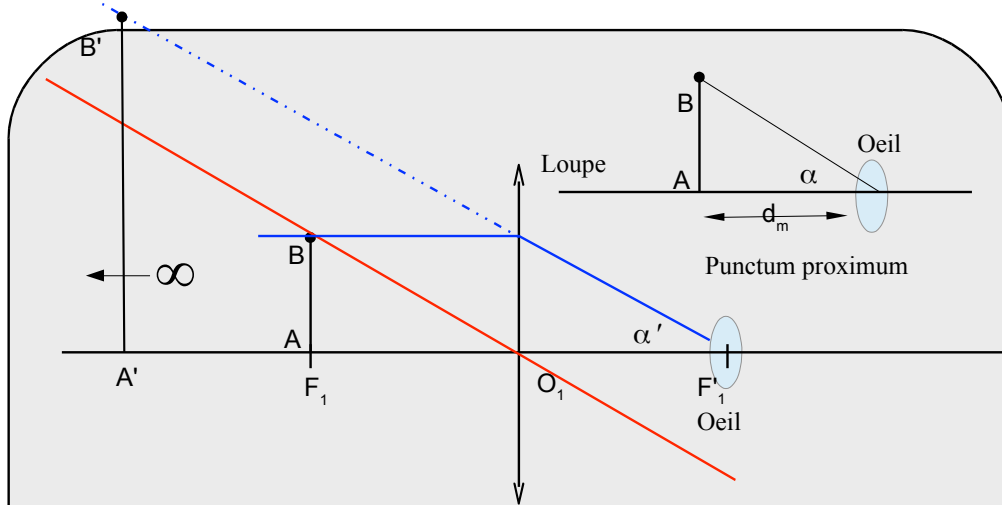
Lien : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.html

L'image devient réelle, elle sera donc visible sur un écran. Le grandissement dépend de la position de l'objet mais est dans la plupart des cas inférieur à 1.

Instruments d'optiques
II. La loupe



Instruments d'optiques II. La loupe



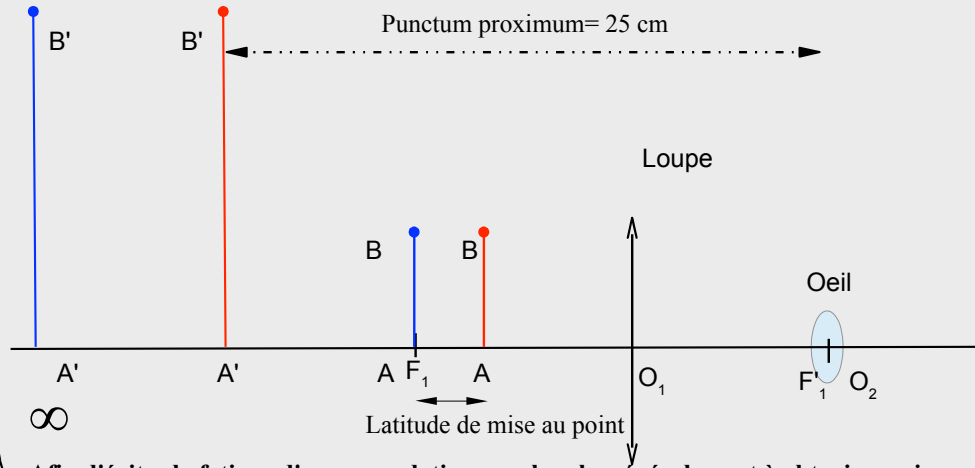
Afin de caractériser les performances de la loupe, il existe aussi la notion de grossissement :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\alpha'}{AB} d_m = P * d_m$$

Instruments d'optiques

II. La loupe

L'oeil ne voit bien un objet si et seulement si il est situé entre son PP et PR. Cette condition impose une zone où l'image sera nette, il s'agit de la **latitude de mise au point** :



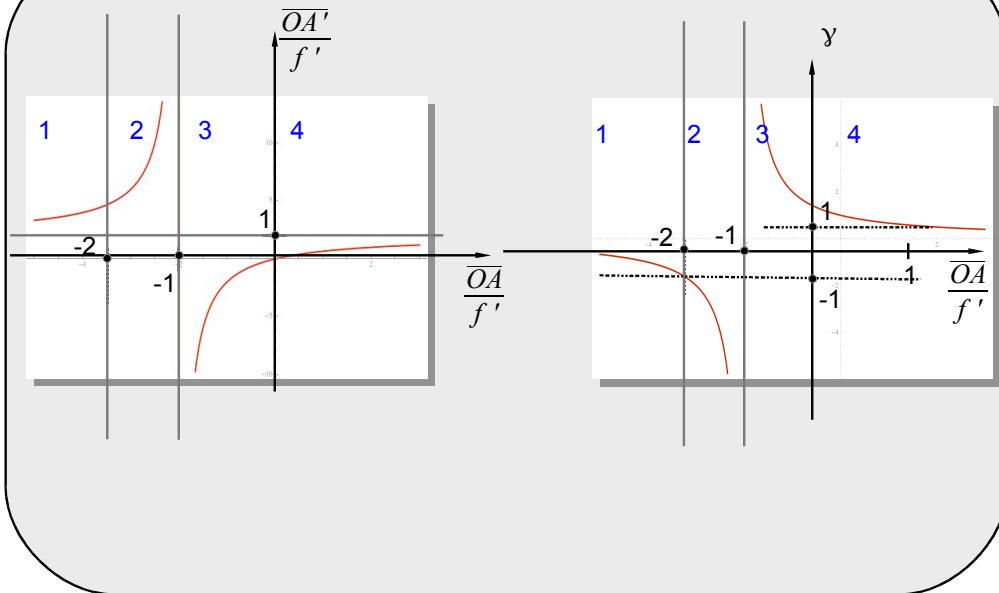
Afin d'éviter la fatigue d'accommodation, on cherche généralement à obtenir une image éloignée.

Instruments d'optiques
III. Le microscope



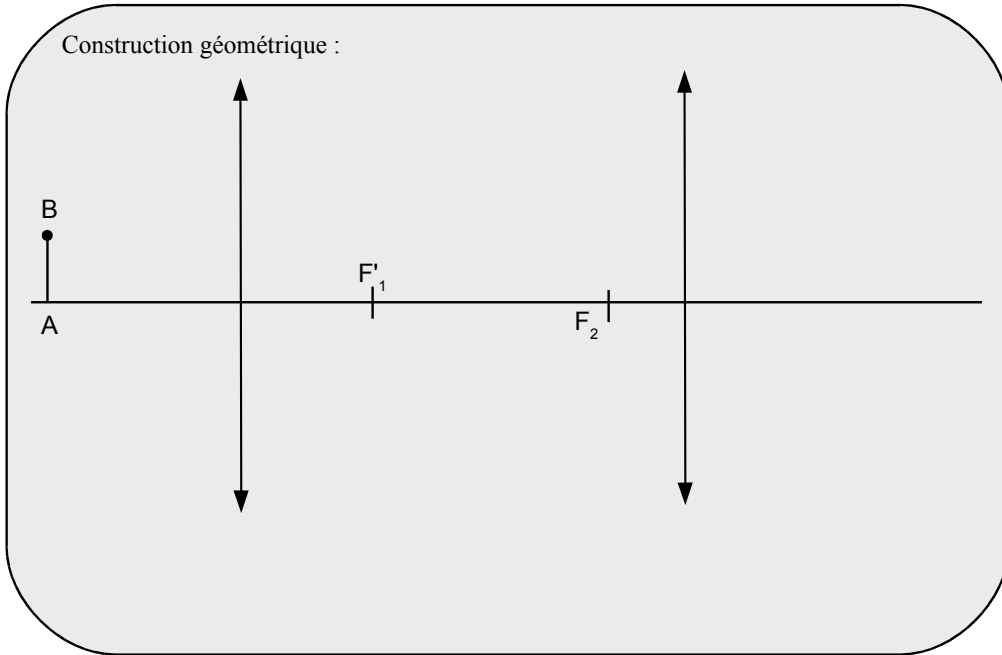
Instruments d'optiques
III. Le microscope

Dans quelle configuration est utilisée la 1^{ère} lentille convergente ?



Instruments d'optiques
III. Le microscope

Construction géométrique :



Instruments d'optiques

III. Le microscope

Le paramètre qui va caractériser le microscope est la puissance, on voit un objet de taille AB avec un angle α' :

$$P = \frac{\alpha'}{AB}$$

Instruments d'optiques

III. Le microscope

Remarque : même si cette expression montre que le grandissement est inversement proportionnel à f' , on peut montrer que le grandissement est **indépendant de f'** , mais dépend seulement du rapport entre la position de l'objet et f' .

$$\gamma = -\frac{e}{f'_1} = -\frac{\overline{F'_1 A'}}{\overline{O_1 F'_1}} = -\frac{\overline{F'_1 O_1} + \overline{O_1 A'}}{\overline{O_1 F'_1}} = 1 - \frac{\overline{O_1 A'}}{\overline{O_1 F'_1}}$$

$$\text{Or } \gamma = \frac{\overline{O_1 A'}}{\overline{O_1 A}} \Rightarrow 1 - \frac{\gamma \overline{O_1 A}}{\overline{O_1 F'_1}} = \gamma \Rightarrow \frac{1}{\gamma} = 1 + \frac{\overline{O_1 A}}{\overline{O_1 F'_1}}$$

$$\text{Je pose } x = \frac{\overline{O_1 A}}{\overline{O_1 F'_1}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{1+x} \quad (\text{Ce résultat a déjà été vu lors de l'étude de lentille convergente})$$

Instruments d'optiques

III. Le microscope

Discussion de : $|P| = \frac{e}{f'_1 f'_2}$

- Le signe – signifie que l'image est renversée
- La facteur e/f'_1 améliore la puissance de la loupe
- Une contrainte forte pour un microscope est sa compacité. Cependant pour avoir un grandissement de l'objectif important, il faut compenser e par f'_1 de petite valeur. Des valeurs centimétriques pour f'_1 suffisent pour obtenir des puissances importantes
- Comme dans le cas de la loupe, on cherche aussi à avoir f'_2 le plus petit possible. Comme dans le cas de l'objectif, des valeurs centimétriques suffisent.

Instruments d'optiques

III. Le microscope

Une autre caractéristique importante d'un microscope est son grossissement :

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

α : angle sous lequel on voit l'objet à l'oeil. Si on considère que cette distance est d_m :

Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

Dans le cadre de ce cours, on va considérer que la lunette astronomique est simplement composée **d'un seul objectif et d'un seul oculaire**. Dans la réalité, il existe un grand nombre de lentilles mise en cascade à l'intérieur d'une lunette.

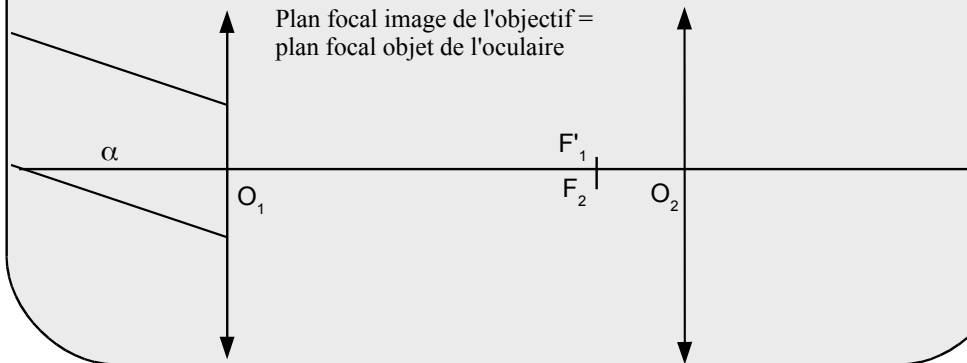
La fonction de l'objectif est de créer une **image intermédiaire réelle d'un objet lointain**. La valeur de **la focale de l'objectif est grande** afin de pouvoir obtenir une image intermédiaire de grande taille. Le but de l'oculaire est de grossir cette image intermédiaire. La fonction de l'oculaire est identique à celle d'une loupe.

Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

Dans le cadre de ce cours, on va considérer que la lunette astronomique est simplement composée **d'un seul objectif et d'un seul oculaire**. Dans la réalité, il existe un grand nombre de lentilles mise en cascade à l'intérieur d'une lunette.

La fonction de l'objectif est de créer une image intermédiaire. La valeur de la focale de l'objectif est grande afin de pouvoir obtenir une image intermédiaire de grande taille. Le but de l'oculaire est de grossir cette image intermédiaire. La fonction de l'oculaire est identique à celle d'une loupe.



Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

Afin de caractériser l'instrument, on utilise une 3^{ème} grandeur :

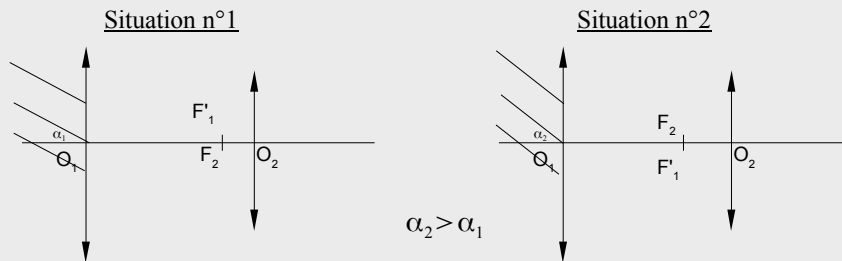
$$G = \frac{\alpha}{\alpha'}$$

Pour obtenir un grossissement le plus grand possible, il faut augmenter f_1 . De cette manière, $A'B'$ sera d'autant plus grand. Mais cette valeur est limitée par l'embrement qui doit rester faible. Il y a un compromis à trouver. Ensuite il est nécessaire que f_2 soit le petit possible, on retrouve la discussion que nous avons eue lors de l'étude de la loupe.

Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

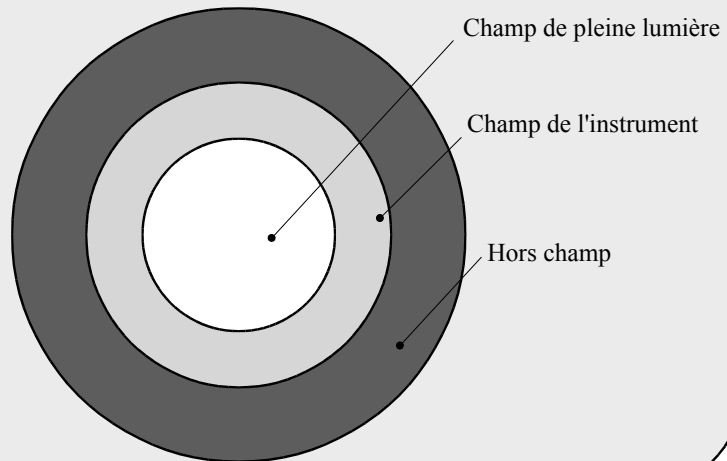
Dans la réalité, la taille des optiques (objectif et oculaire) est limitée. Dans un 1^{er} temps nous allons étudier les conséquences de la limitation de la taille de l'oculaire : que deviennent les faisceaux lumineux dans les 2 situations suivantes :



Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

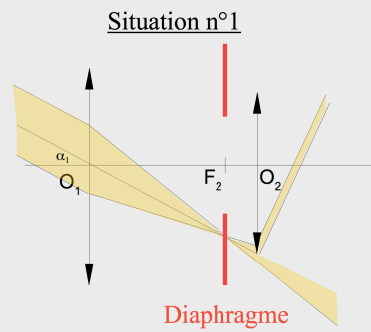
Dans la situation n°1, seulement une partie du faisceau sera transmis, tandis que dans la situation n°2, rien ne sera transmis. Ceci a pour conséquence que lors de l'observation, il y aura des zones de luminosité différente :



Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

Pour limiter ces effets de luminosité différente à cause de la taille des optiques, on peut supprimer les rayons des situations n°1 et 2 à l'aide d'un diaphragme qui va masquer les points tels qu'on est à l'extérieur du champ de pleine lumière.

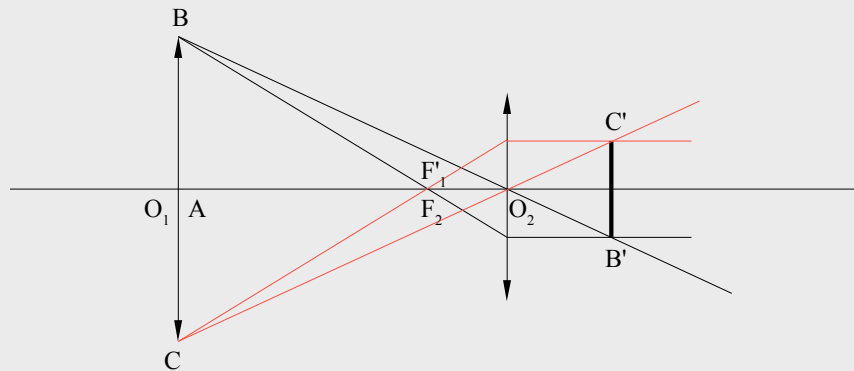


Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

Pour que l'observation soit la plus lumineuse possible, il faut que tous les rayons ayant traversé l'instrument parviennent à l'oeil. Quel est le trajet des faisceaux lumineux incidents à l'instrument ?

⇒ Cela consiste à faire l'image de l'objectif à travers l'oculaire



Animation : http://web.cortial.net/bibliohtml/cer_oc_j.html

Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

B'C' est l'image de l'objectif à travers l'oculaire : B'C' est le cercle oculaire. Afin de recueillir le maximum de lumière, l'oeil devra se placer à ce niveau. La taille du cercle oculaire devra être légèrement plus grande que la pupille de telle manière à ce que la pupille dilatée puisse recevoir le maximum de rayons. Idéalement, la taille du cercle oculaire est égale à la pupille dilatée.

Instruments d'optiques

IV. La lunette astronomique

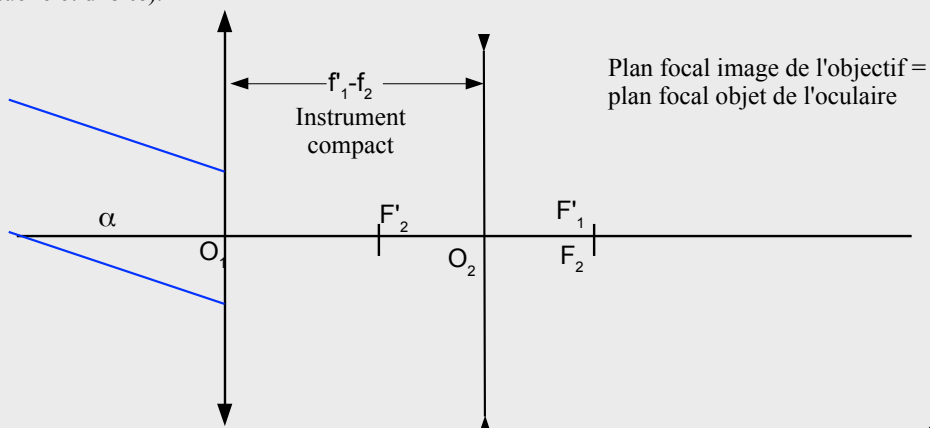
B'C' est l'image de l'objectif à travers l'oculaire : B'C' est le cercle oculaire. Afin de recueillir le maximum de lumière, l'oeil devra se placer à ce niveau. La taille du cercle oculaire devra être légèrement plus grande que la pupille de telle manière à ce que la pupille dilatée puisse recevoir le maximum de rayons. Idéalement, la taille du cercle oculaire est égale à la pupille dilatée.

Position et taille du cercle oculaire :

Instruments d'optiques

V. La lunette de Galilée

La lunette de Galilée est composée d'une lentille convergente de focale f_1 , l'objectif, faisant une image réelle d'un objet réel lointain, et d'une **lentille divergente** de focale $f_2 < 0$, l'oculaire. Dans les conditions standards d'observation, l'image est à l'infini (image agrandie virtuelle et **droite**).



Instruments d'optiques
V. La lunette de Galilée

Grossissement :

Instruments d'optiques

IV. Le téléobjectif

Cas où l'image intermédiaire est **avant** le plan focal objet de la 2^{ème} lentille : le téléobjectif.
Un téléobjectif est constitué d'une **lentille convergente** qui donne à partir d'un objet à l'infini une image. Pour augmenter la taille de cette image, il faut augmenter la distance focale, mais on augmente aussi l'encombrement de l'appareil. Le rôle de la **lentille divergente** (oculaire) placée après l'objectif est d'obtenir une image sur le capteur (**donc réelle**) et **agrandie**.

