PH100-Optique(cours)

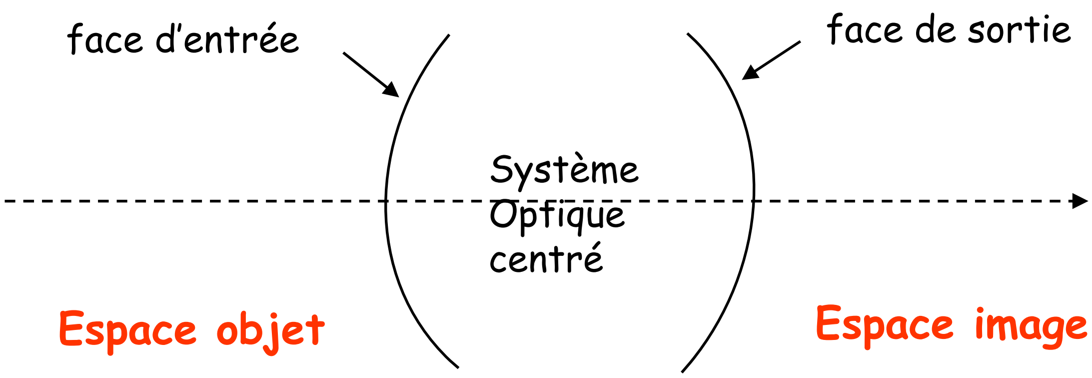
Physique Générale (Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines)

CHAPITRE 1: FORMATION DES IMAGES
LENTILLES SPHERIQUES

I. DEFINITIONS

1/ Système optique, espace objet espace image:

Système optique: Ensemble de milieux transparents et homogènes séparés par des surfaces de formes géométriques simples

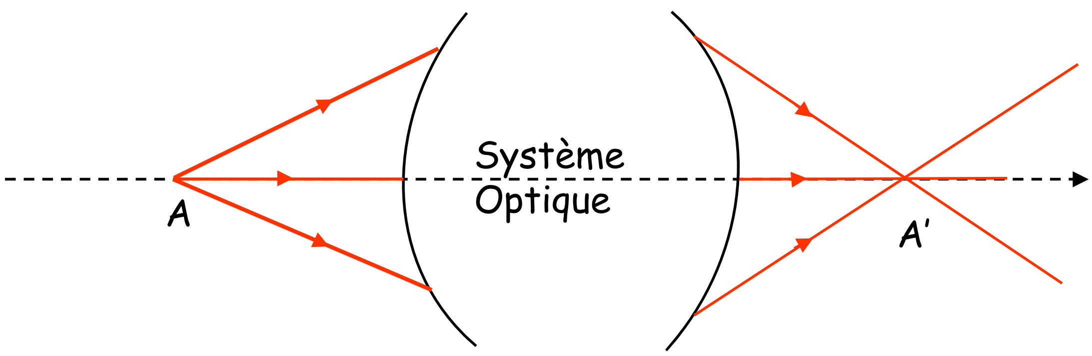


Si le système optique présente une symétrie de révolution autour d'un axe, le système est dit centré et l'axe est appelé axe optique

Espace objet: zone située avant la face d'entrée.

Espace image: zone située après la face de sortie

2/: Stigmatisme



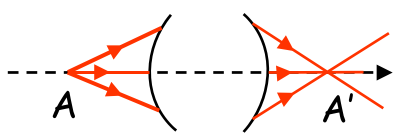
Le système optique est dit stigmatique si tous les rayons lumineux émis d'un point objet A se coupent au même point de l'image A'

⇒ Le système formera en A' une image de l'objet A.

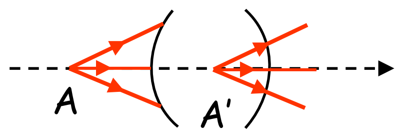
3/ Image réelle, image virtuelle:

L'image est réelle si elle est formée dans l'espace image

L'image est virtuelle si elle est formée en dehors de l'espace image (dans l'espace objet, dans le système optique)



A' image réelle de A



A' image virtuelle de A

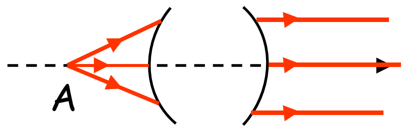
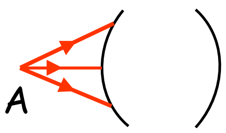


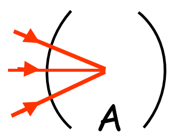
Image réelle à l'infini

4/ Objet réel, objet virtuel:

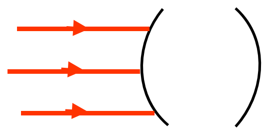
L'objet est réel s'il se trouve dans l'espace objet
L'objet est virtuel s'il se situe après la face d'entrée du système optique (dans l'espace image, dans le système optique)



A objet réel



A objet virtuel



Objet réel à l'infini

Pour former un objet virtuel, il faut utiliser un autre système optique

Remarques:

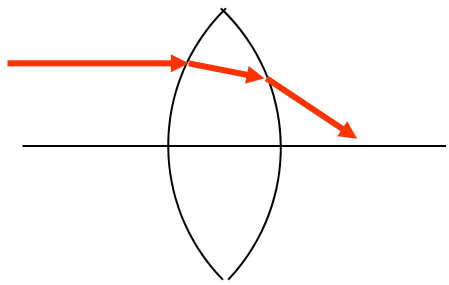
- Une image réelle peut être projetée sur un écran.
- Les rayons semblent venir d'une image virtuelle
- Un objet réel peut être une source lumineuse
- un objet virtuel doit être formé par un système optique (à partir d'un objet réel)

II. LENTILLES

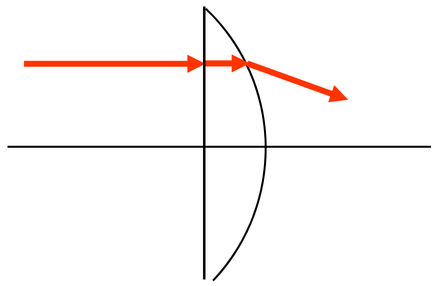
1/ Introduction:

<u>Définition:</u> Une *lentille* est un milieu transparent ($n > 1$) limité par deux dioptres sphériques ou un dioptre plan et un dioptre sphérique.

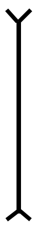
Lentille convergente



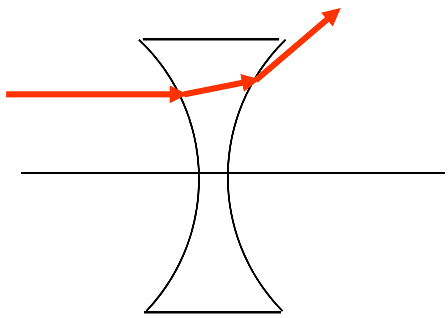
Biconvexe



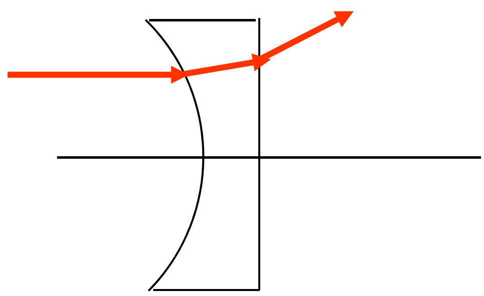
Plan-convexe



Lentille divergente



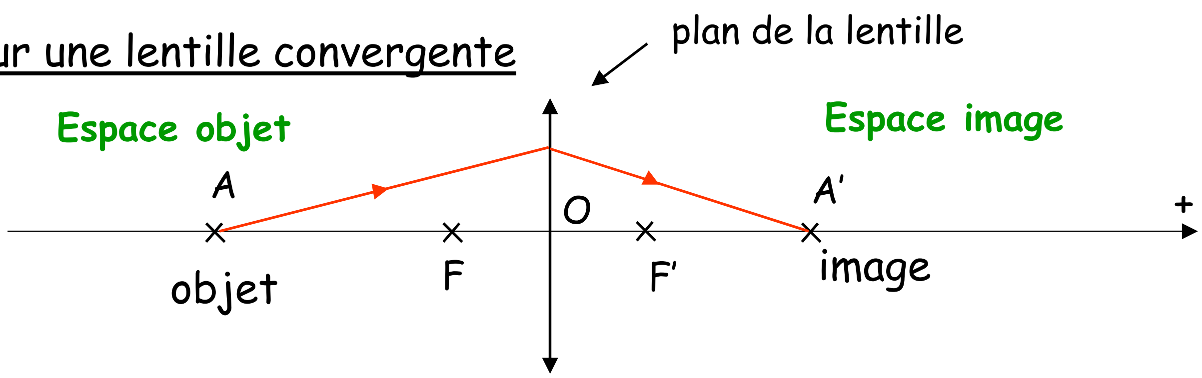
Biconcave



Concave-plan

2/ Lentilles minces: On néglige l'épaisseur de la lentille.

<u>Pour une lentille convergente</u>



F: foyer principal objet
F': foyer principal image
A: objet
A': image

<u>Remarque:</u> pour une lentille divergente, F et F' sont inversés

Relation de conjugaison: $$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}}$$

avec: $f' = \overline{OF'}$ distance focale image

$f = \overline{OF}$ Distance focale objet

et: $f' = -f$

<u>Attention:</u> on a affaire à des grandeurs algébriques (origine en O)

Dans notre exemple: $\overline{OA} < 0$ $\overline{OA'} > 0$ et $\overline{OF} < 0$ $\overline{OF'} > 0$

<u>Autre notation:</u>

Soit: $p' = \overline{OA'}$ $p = \overline{OA}$ donc: $$\boxed{\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}}$$

avec p, p', f et f' grandeurs algébriques

<u>Vergence d'une lentille:</u>

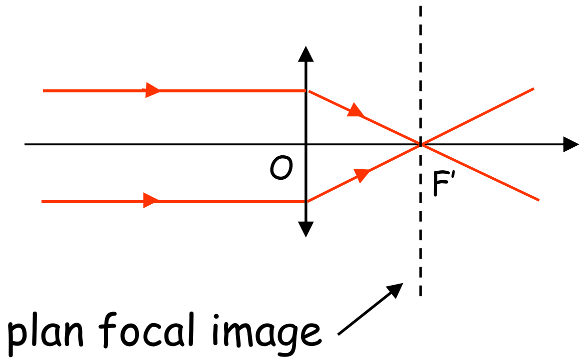
$$\boxed{V = \frac{1}{f'}}$$

Unité: dioptrie: δ

<u>3/ lentille convergente:</u> $\boxed{f' > 0}$ $\Rightarrow$ $V > 0$

Considérons un objet placé à l'infini: $\overline{OA} = p \to -\infty$

$\Rightarrow$ $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{-\infty} = \frac{1}{f'}$ donc $\overline{OA'} = f' = \overline{OF'} > 0$

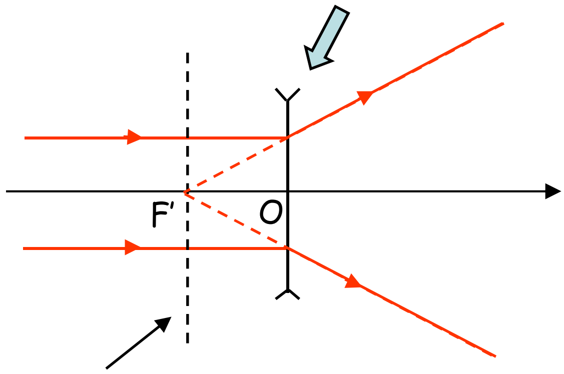


L'image de l'objet A placé à l'infini converge en F'. C'est une image <u>réelle</u>.

4/ lentille divergente: $\boxed{f' < 0}$ $\Rightarrow$ $v < 0$

Considérons un objet placé à l'infini: $\overline{OA} = p \to -\infty$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{-\infty} = \frac{1}{f'} \quad \text{donc} \quad \overline{OA'} = f' \equiv \overline{OF'} < 0$$



plan focal image

L'image de l'objet A placé à l'infini est <u>virtuelle</u>. Les rayons semblent provenir du foyer image

III. FORMATIONS DES IMAGES PAR UNE LENTILLE MINCE

En partant de la relation de conjugaison: $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$

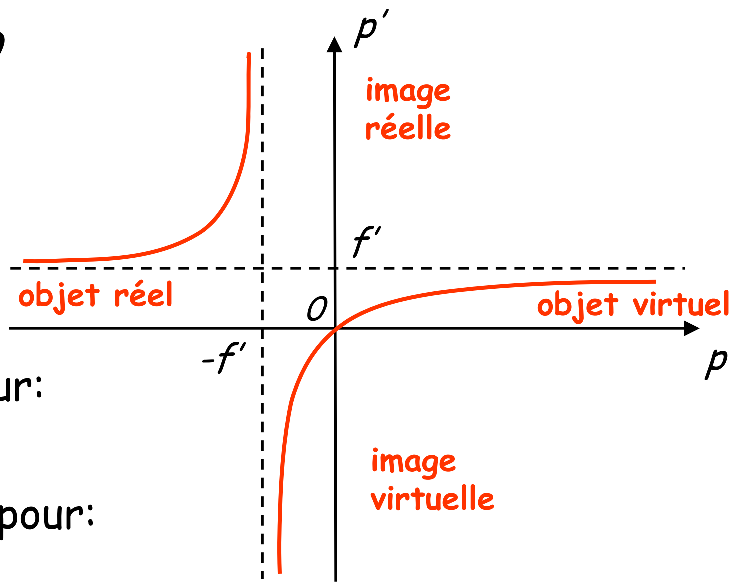
on en déduit la position p' de l'image connaissant celle de l'objet p :

$$\boxed{p' = \frac{f'p}{f'+p}}$$

Rappel: objet réel: $p < 0$ image virtuelle: $p' < 0$ objet virtuel $p > 0$ image réelle $p' > 0$

1/ Lentille convergente: $f' > 0$

p	$-\infty$	$-f'$	0	$+\infty$
P'	f'	$+\infty \mid -\infty$	0	f'

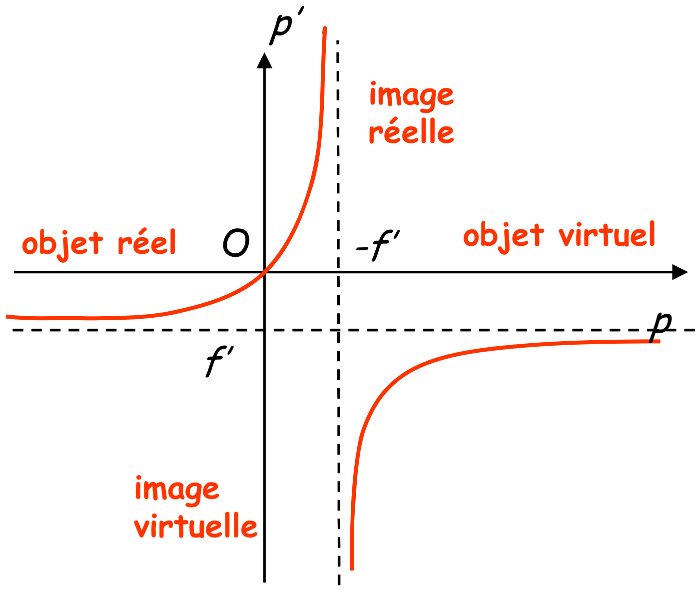


On forme une image réelle pour:
$-\infty < p < -f'$ ou $p > 0$

On forme une image virtuelle pour:
$-f' < p < 0$

2/ Lentille divergente: $f'<0$

p	$-\infty$	0	$-f'\ (>0)$	$+\infty$
P'	f'	0	$+\infty \mid -\infty$	f'



On forme une image réelle uniquement pour: $0 < p < -f'$

IV. METHODE DE CONSTRUCTION DES IMAGES

1/ Principe:

On utilise un tracé de rayons pour construire l'image formée par une lentille.

Les rayons émis par l'objet (source) traversent la lentille et:

- convergent vers l'image (pour une image réelle)
- semblent provenir de l'image (image virtuelle)

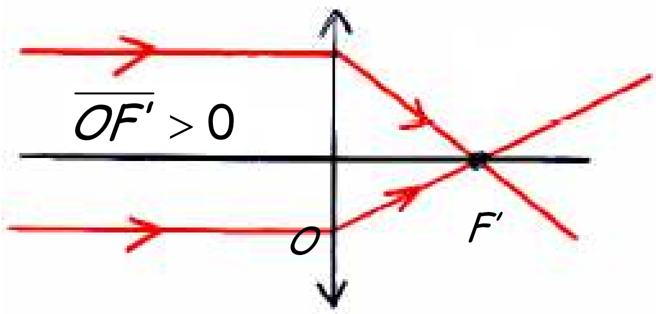
Hypothèse: stigmatisme rigoureux

$\Rightarrow$ Tous les rayons émis d'un point source (objet) donnent le même point image

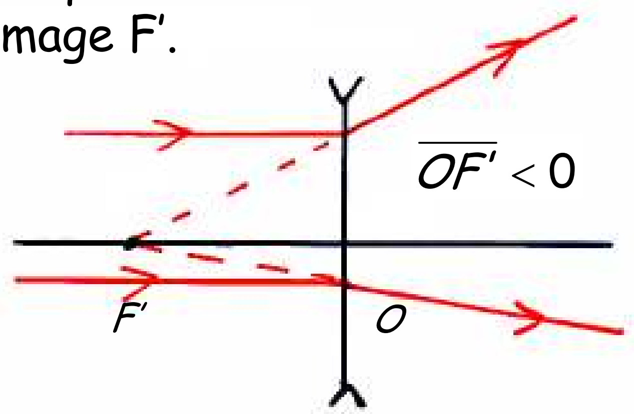
Il suffira de trouver 2 rayons particuliers pour définir un point image

2/: Rayons particuliers:

- Les rayons parallèles à l'axe optique « vont vers le /semblent provenir du » foyer image F'.

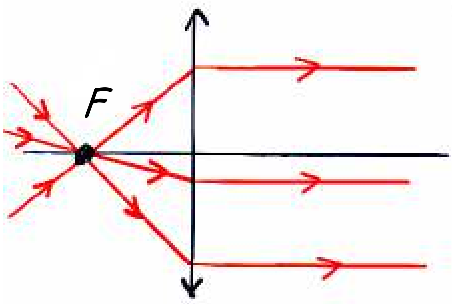


Lentille convergente

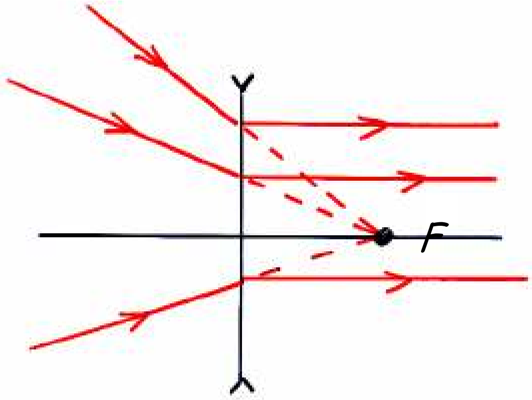


Lentille divergente

- Les rayons « émis du /allant vers le » foyer objet F donnent des rayons parallèles à l'axe optique.

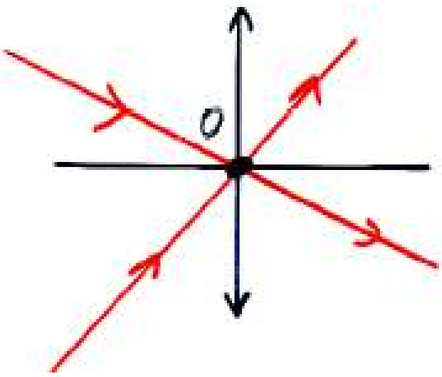


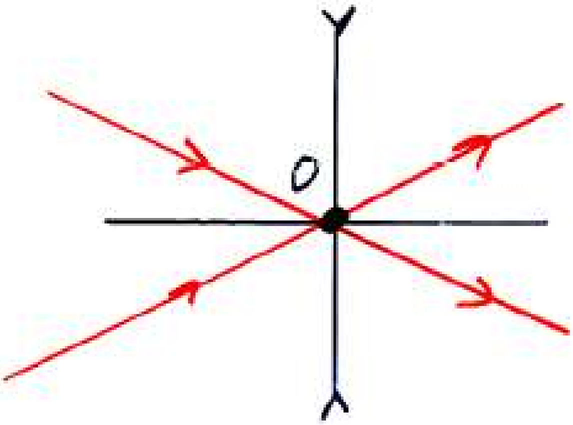
Lentille convergente



Lentille divergente

- Les rayons passant par le centre optique ne sont pas déviés.

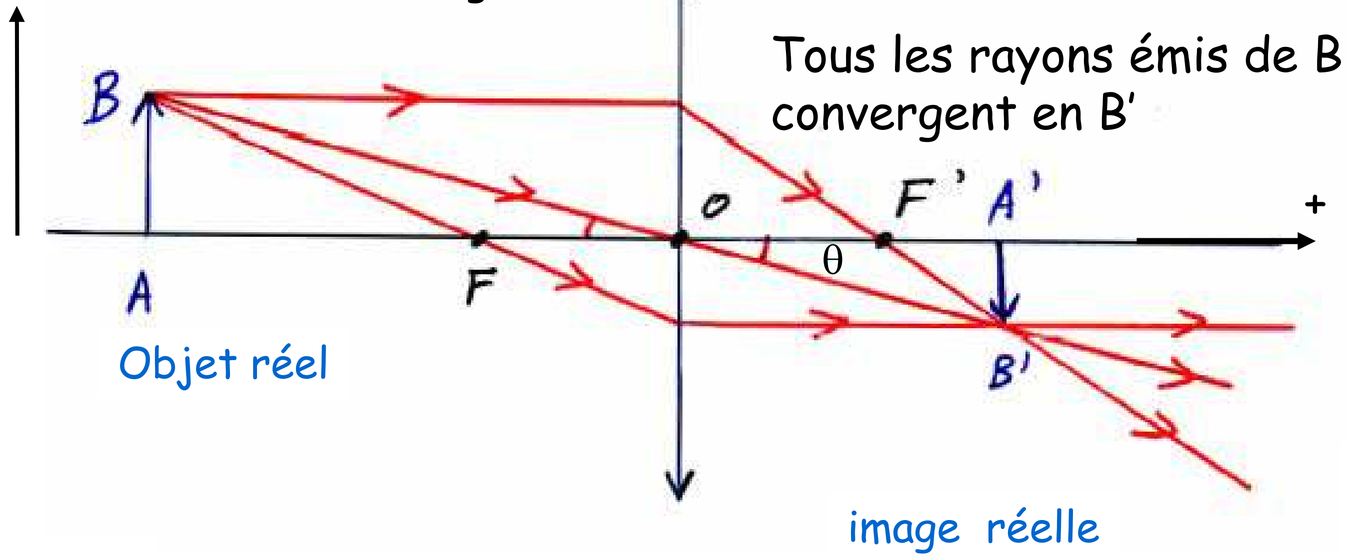




3/: Construction de l'image d'un objet réel:

Lentille convergente

Tous les rayons émis de B convergent en B'



4/: Grandissement

Définition:

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

Propriétés:

$$tg\,\theta = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA'}} \qquad \text{donc} \qquad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p}}$$

Si $\gamma > 0$	$\Rightarrow$	- l'image est droite - p et p' sont de même signe
Si $\gamma < 0$	$\Rightarrow$	- l'image est inversée - p et p' sont de signe contraire

Si $\lvert\gamma\rvert > 1$	$\Rightarrow$	l'image est agrandie (microscope, loupe ...)
Si $\lvert\gamma\rvert < 1$	$\Rightarrow$	l'image est réduite (photo, cinéma ...)

Dans notre exemple, $\gamma < 0$ et $\lvert\gamma\rvert < 1$, *l'image est inversée et réduite*

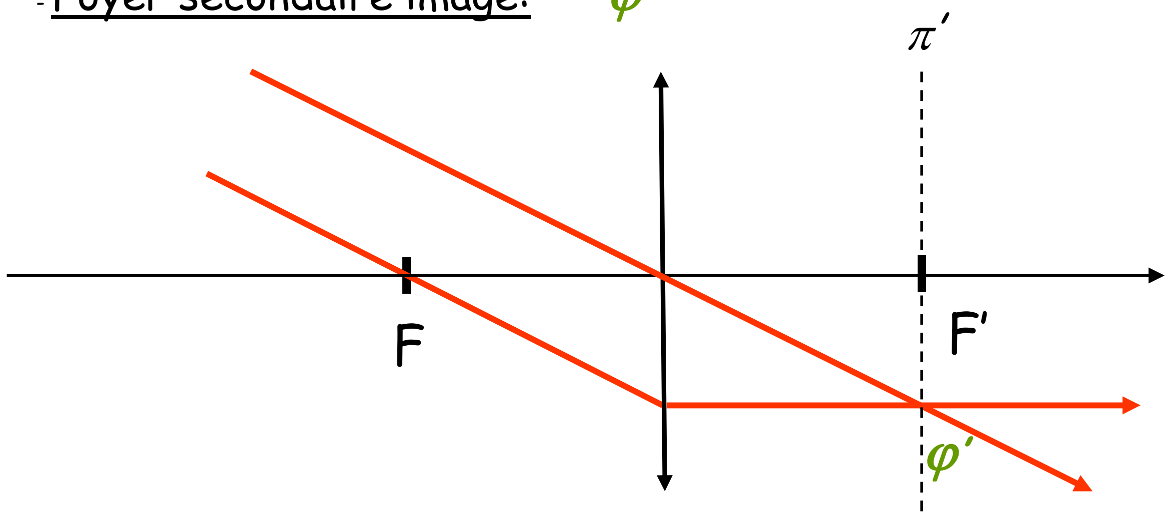
Une recette pour déduire l'image d'un objet:

- Soit un objet AB, A étant sur l'axe optique.
- Connaissant la position de l'objet sur l'axe optique, $p = \overline{OA}$, calculer la position de l'image sur l'axe optique, $p' = \overline{OA'}$, puis placer le point A'.
- Tracer un faisceau passant par le centre de la lentille, O, et par le point B. B' sera situé sur cette droite.
- En déduire la position du point B' à la verticale de A'

5/ Foyers secondaires:

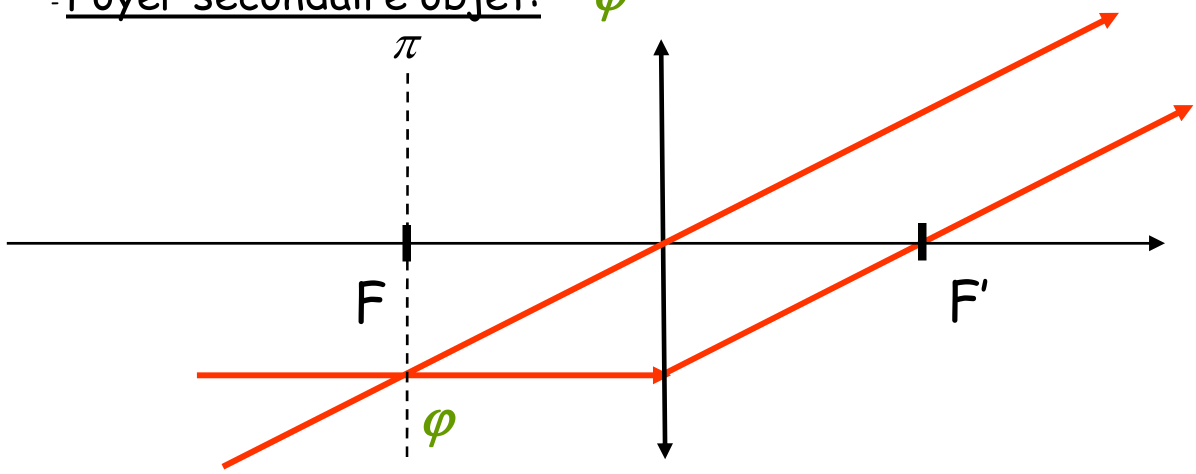
Plan focal: C'est un plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par le foyer (objet ou bien image)

- Foyer secondaire image: φ'



π': plan focal image, plan perpendiculaire à l'axe optique en F'

- Foyer secondaire objet: φ



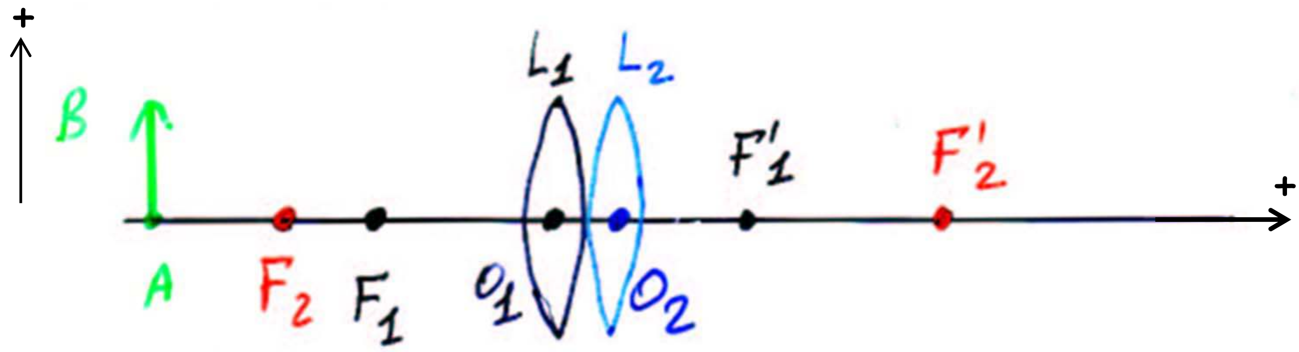
π: plan focal objet

CHAPITRE 2: ASSOCIATION DE LENTILLES

I. PRINCIPE:

Dans le cas de l'association de deux lentilles L_1 et L_2, l'image formée par la première lentille est l'objet pour la deuxième lentille

II. LENTILLES MINCES ACCOLÉES



Lentille L_1 de centre O_1 et de distance focale image $f'_1 = \overline{O_1F'_1}$
Lentille L_2 de centre O_2 et de distance focale image $f'_2 = \overline{O_2F'_2}$

$\overline{AB}$ objet réel pour $L_1 \Rightarrow$ image $\overline{A_1B_1}$

$\overline{A_1B_1}$ objet pour $L_2 \Rightarrow$ image $\overline{A'B'}$

On écrit les lois de conjugaison pour les deux lentilles:

$$\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f_1'}$$ pour la lentille 1

$$\frac{1}{\overline{O_2A'}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1}} = \frac{1}{f_2'}$$ pour la lentille 2

Hypothèse des lentilles minces accolées:

O_1 et O_2 sont confondus en O

$\Rightarrow \quad \overline{O_1A_1} \approx \overline{O_2A_1} \approx \overline{OA_1}$ avec $\overline{O_2A'} \approx \overline{OA'}$ et $\overline{O_1A} \approx \overline{OA}$

alors
$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{1}{\overline{OA_1}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f_1'} \\ \\ \dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA_1}} = \dfrac{1}{f_2'} \end{array}\right. \Rightarrow \boxed{\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f_1'} + \dfrac{1}{f_2'}}$$

On retrouve la relation de conjugaison d'une lentille mince de distance focale image f' avec:

$$\boxed{\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1'} + \frac{1}{f_2'}} \quad \text{et} \quad \boxed{v' = v_1 + v_2}$$

Attention:

f_1' et f_2' sont des valeurs algébriques

> 0 pour une lentille convergente
< 0 pour une lentille divergente

f' peut être *positif* ou *négatif* suivant les valeurs de f_1' et f_2'

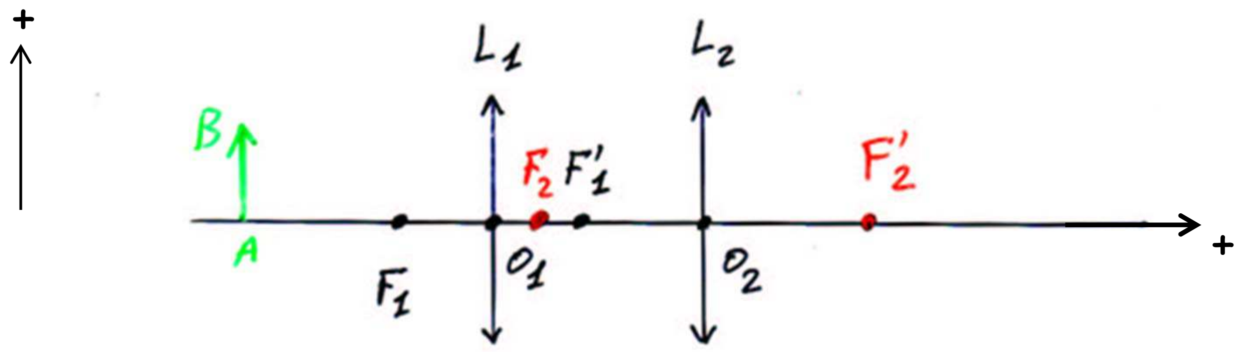
Remarque:

On peut accoler plus de deux lentilles. On aura alors:

$$V' = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots$$

mais à condition que l'ensemble des lentilles puisse être considéré comme composé de lentilles minces accolées

III. LENTILLES MINCES NON ACCOLÉES



Pour la lentille L_1: objet $\overline{AB} \rightarrow$ image $\overline{A_1B_1}$

$$\frac{1}{p_1'} - \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f_1'} \quad \text{avec} \quad p_1 = \overline{O_1A} \quad \text{et} \quad p_1' = \overline{O_1A_1}$$

Z: origine en O_1, valeurs algébriques !!

Pour la lentille L_2: objet $\overline{A_1B_1} \rightarrow$ image $\overline{A'B'}$

$$\frac{1}{p_2'} - \frac{1}{p_2} = \frac{1}{f_2'} \quad \text{avec} \quad p_2 = \overline{O_2A_1} \quad \text{et} \quad p_2' = \overline{O_2A'}$$

Z: origine en O_2, valeurs algébriques !!

Pour résumer:

$\overline{AB}$ objet réel pour $L_1 \Rightarrow$ image (réelle ou virtuelle) $\overline{A_1B_1}$

$\overline{A_1B_1}$ objet (réel ou virtuel) pour $L_2 \Rightarrow$ image $\overline{A'B'}$

On détermine le grandissement:

Pour la lentille L_1: $$\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}}$$

Pour la lentille L_2: $$\gamma_2 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}}$$

Le grandissement total sera:

$$\gamma_t = \frac{\overline{image\_finale}}{\overline{objet\_initial}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} . \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}}$$

donc: $$\boxed{\gamma_t = \gamma_1 . \gamma_2}$$

Valable pour les lentilles accolées ou non

Remarques:

-γ_1 et γ_2 sont > 0 ou < 0 $\Rightarrow$ $\gamma_t > 0$ *si* γ_1 et γ_2 sont de même signe
$\Rightarrow$ $\gamma_t < 0$ *si* γ_1 et γ_2 sont de signe opposé

- pour un instrument d'observation (jumelle, lunette, …) : $\gamma_t > 0$

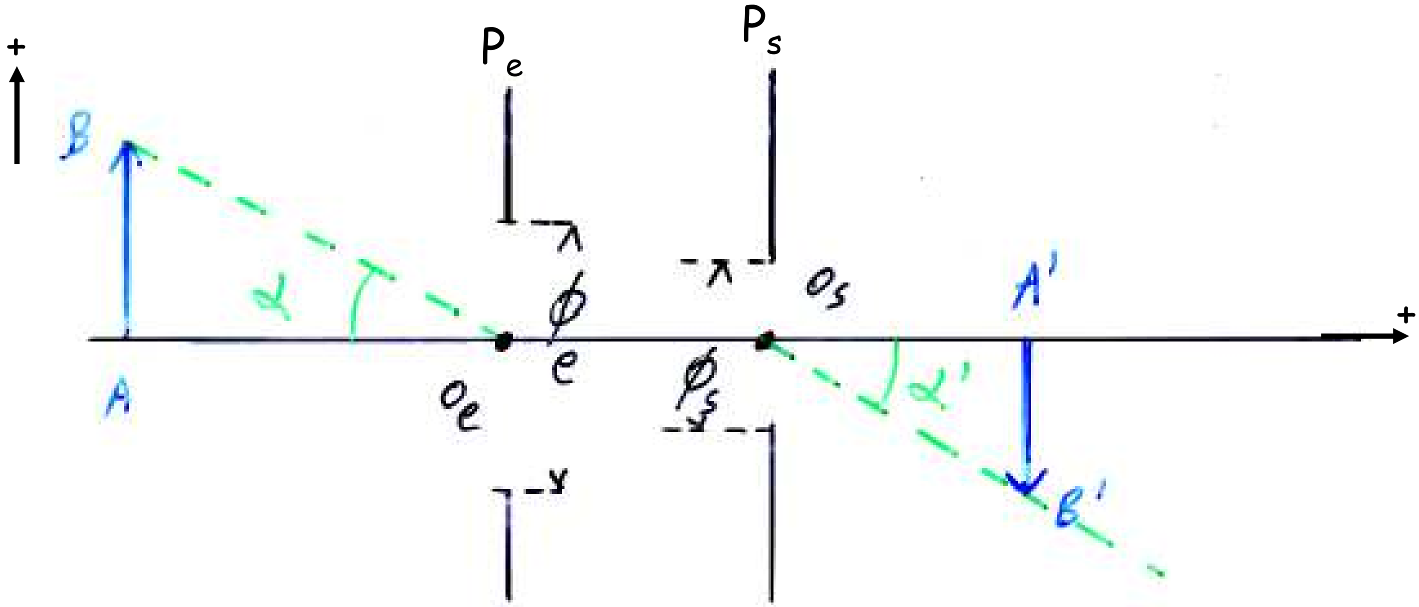
- Pour plusieurs lentilles: $\gamma_t = \gamma_1 . \gamma_2 . \gamma_3 ....$

CHAPITRE 3: OPTIQUE INSTRUMENTALE

I. DEFINITIONS

Un instrument d'optique est généralement composé de plusieurs éléments (lentilles, miroirs, diaphragmes ….)

Représentation schématique:



Φ_e pupille d'entrée

Φ_s pupille de sortie

P_e: Pupille d'entrée d'ouverture Φ_e de centre O_e

P_s: Pupille de sortie d'ouverture Φ_s de centre O_s

α angle sous lequel la pupille d'entrée voit l'objet AB

α' angle sous lequel la pupille de sortie voit l'image A'B'

1/ Grandissement:

Objet $AB \rightarrow A'B'$

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

Grandeur non définie pour des objets et images à l'infini pour lesquels on utilise la notion de grossissement

2/ Grossissement:

$$tg\alpha = \frac{AB}{O_eA} \rightarrow \alpha$$

$$tg\alpha' = \frac{A'B'}{O_sA'} \rightarrow \alpha'$$

Approximation de Gauss (angle α et α' petits)

On définit le grossissement

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

Rapport entre deux angles (sans dimension)

3/ Puissance: Rapport entre l'angle α' et la dimension de l'objet

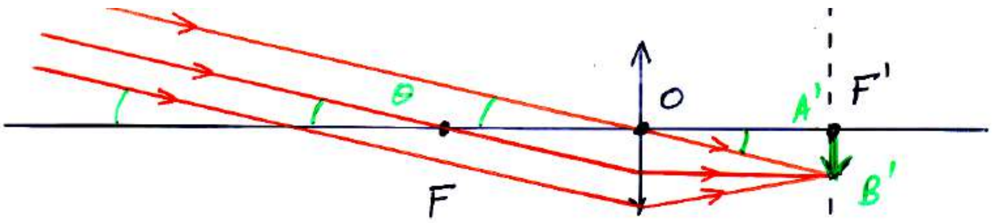
$$\boxed{P = \frac{\alpha'}{AB}}$$

AB: mètre
α' radian
P: dioptrie (δ)

4/ Diamètre apparent:

Grandeur définie pour des objets ou images à l'infini

-Objet à l'infini:

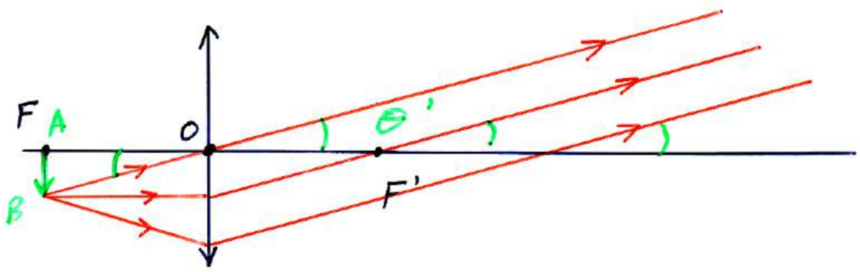


$$\boxed{tg\,\theta = \frac{A'B'}{|f'|} \approx \theta}$$

(approximation de Gauss)

θ: diamètre apparent de l'objet unité: radian

- Image à l'infini:

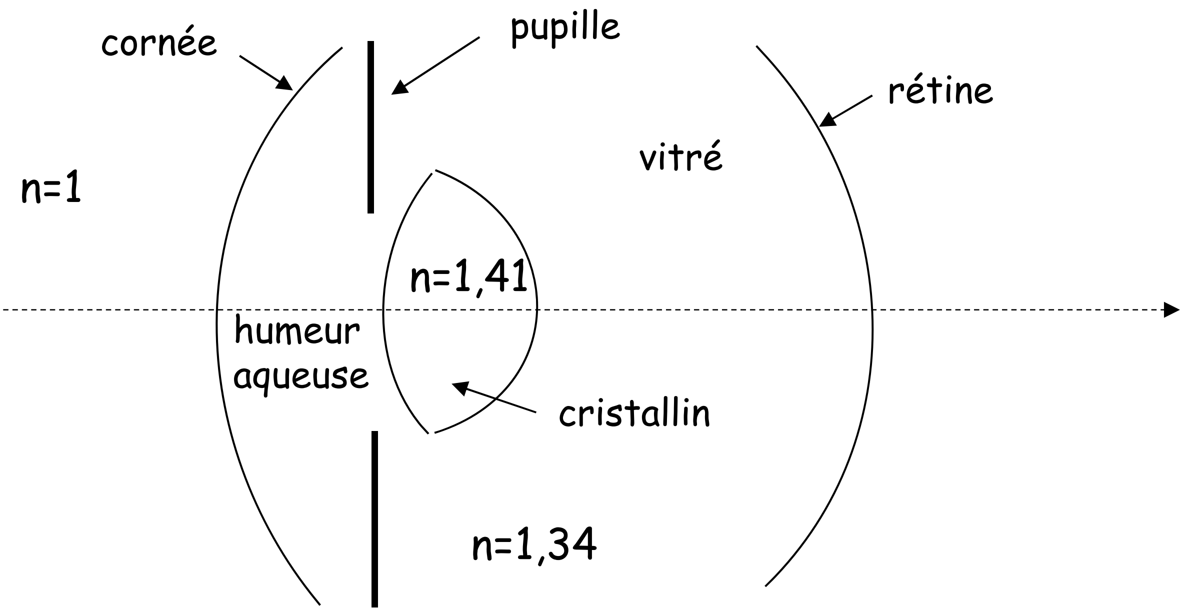


$$\boxed{\theta' \approx tg\,\theta' = \frac{AB}{|f|}}$$

θ': diamètre apparent de l'image unité: radian

II. L'OEIL

1/ Description (simplifiée)



L'œil peut être schématisé par:

- un dioptre d'entrée sphérique: **cornée**
  avec R=8mm (rayon de courbure du dioptre)
- un diaphragme: **pupille**
- une lentille convergente épaisse: **cristallin**
- un récepteur/capteur: la **rétine**
  l'image est inversée sur la rétine puis redressée par le « cerveau »

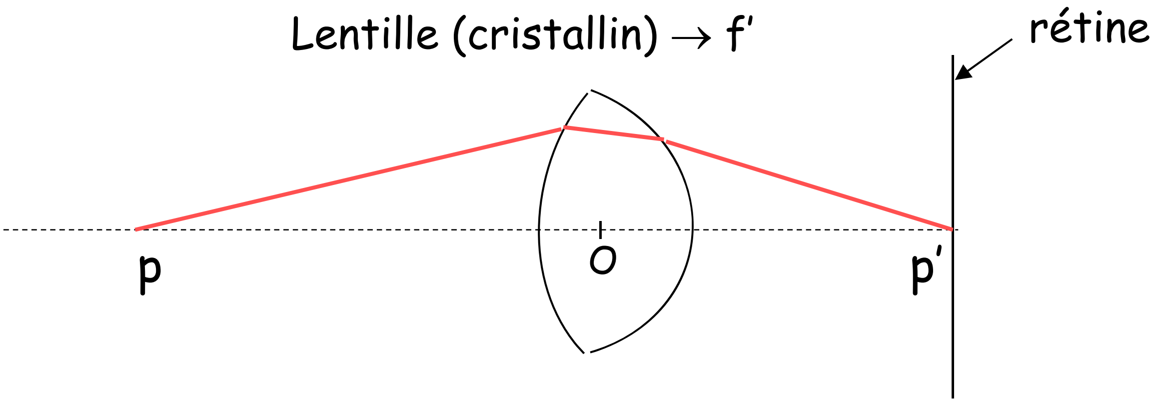
La rétine est fixe $\rightarrow$ le **cristallin se déforme** pour avoir toujours l'image sur la rétine

$\Rightarrow$ phénomène d'**accommodation**.

La vergence de l'oeil au repos est: v~ 60 dioptrie

- <u>Punctum Proximum</u> (PP):
  Distance minimale que l'œil peut accommoder
- <u>Punctum Remotum</u> (PR):
  Distance maximale que l'œil peut accommoder. PR $\rightarrow \infty$

2/ Accommodation de l'oeil



Modèle très simplifié

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$$ Relation de conjugaison

Objet à l'infini:

L'oeil est au repos, l'image se situe dans le plan focal image (sur la rétine)

$$p \to -\infty \quad \longrightarrow \quad \frac{-1}{p} \to 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{1}{p'} \to \frac{1}{f'} \quad \longrightarrow \quad p' \to f'$$

Objet proche de l'œil:

Pour accommoder, il est nécessaire, que l'image soit toujours sur la rétine avec p' inchangé (distance cristallin-rétine fixe !)

Si l'objet se rapproche → $-1/p$ croit

donc comme p' est fixe alors $1/f'$ croit

donc f' décroit: la distance focale image du cristallin a diminuée

f' diminue lorsque l'objet se rapproche (déformation du cristallin)

3/ Les défauts de l'œil:

a): Myopie: **le cristallin est trop convergent**

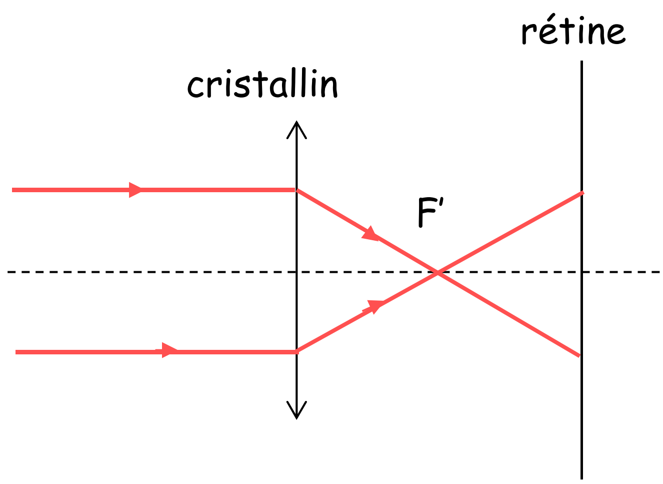
L'image d'un objet à l'infini est formée avant la rétine

$\rightarrow f'_{oeil}$ trop petit

$\Downarrow$

Correction en ajoutant une lentille divergente: $f_l' < 0$

Image d'un objet à l'infini



Correction: combinaison de 2 lentilles accolées: (œil+ lunette)

$$\frac{1}{f'_{final}} = \frac{1}{f'_{oeil}} + \frac{1}{f'_l} \quad \text{donc si } f'_l < 0 \quad \text{alors} \quad \frac{1}{f'_{final}} < \frac{1}{f'_{oeil}}$$

donc $f'_{final} > f'_{oeil}$

Le système optique (œil+lunette) est moins convergent

b): Hypermétropie: **le cristallin n'est pas assez convergent**

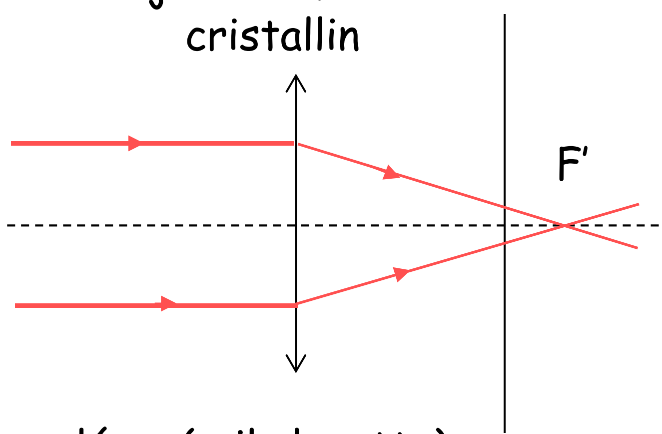
L'image d'un objet à l'infini est formée après la rétine

$\rightarrow f'_{oeil}$ trop grand

$\Downarrow$

Correction en ajoutant une lentille convergente: $f_l' > 0$

Image d'un objet à l'infini



Correction: combinaison de 2 lentilles accolées: (œil+ lunette)

$$\frac{1}{f'_{final}} = \frac{1}{f'_{oeil}} + \frac{1}{f'_l} \quad \text{donc si } f'_l > 0 \quad \text{alors} \quad \frac{1}{f'_{final}} > \frac{1}{f'_{oeil}}$$

donc $f'_{final} < f'_{oeil}$

Le système optique (œil+lunette) est plus convergent

C): Presbytie: Vieillissement de l'œil qui perd sa faculté d'accommodation (le cristallin ne se déforme plus).

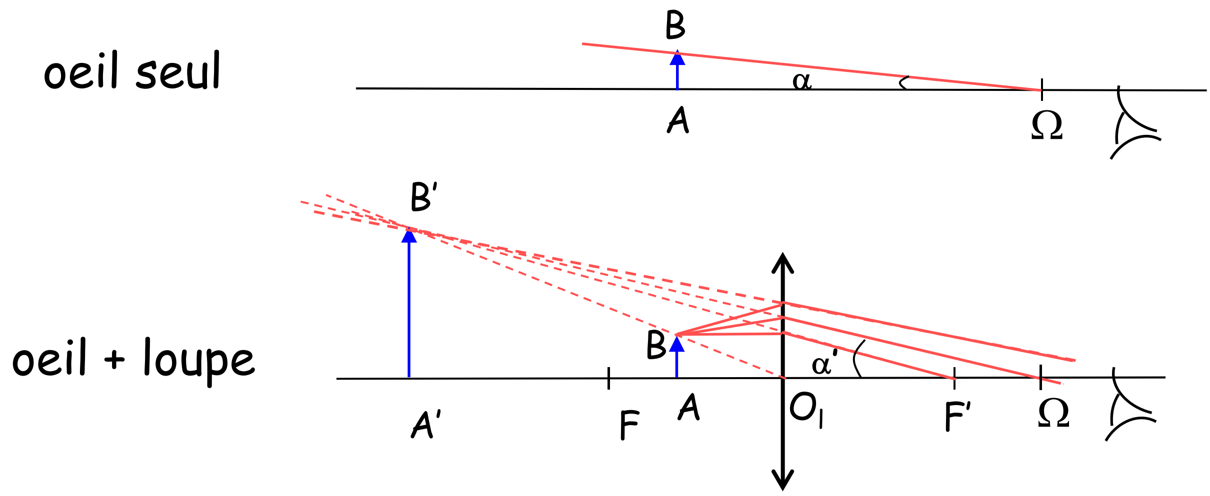
Le punctum proximum (PP) augmente avec l'âge et rend difficile l'accommodation d'objets proches

$\Rightarrow$ Lunettes à plusieurs foyers ou bien foyers progressifs.

III. LA LOUPE

1/ Principe:

La loupe est une lentille convergente (en général bi-convexe).
Elle formera, à partir d'un objet réel placé entre le foyer objet F et le centre de la lentille O_l, une image virtuelle.



- p et p' sont négatifs, $f' = -f > 0$
- le grandissement est positif
- l'image formée par la loupe est virtuelle droite (non inversée)
- L'image virtuelle formée par la loupe est reprise par l'œil, placé en Ω, qui en forme une image réelle sur la rétine.

2/ Grossissement

A l'approximation des rayons paraxiaux:

Sans loupe, l'œil voit l'objet AB sous l'angle: $\alpha \approx \tan\alpha = \dfrac{AB}{\Omega A}$

Avec loupe, l'œil voit l'image A'B' de l'objet AB sous l'angle: $\alpha' \approx \tan\alpha' = \dfrac{A'B'}{\Omega A'}$

Le grossissement de la loupe est: $$G=\frac{\alpha'}{\alpha}\approx\frac{A'B'}{AB}\frac{\Omega A}{\Omega A'}=|\gamma|\frac{\Omega A}{\Omega A'}$$

avec: $|\gamma|=\frac{A'B'}{AB}$ valeur absolue du grandissement de la lentille

<u>Remarque:</u> les angles α et α' étant définis en valeur absolue, il en est de même pour A'B' et AB ainsi que pour $|\gamma|$

On exprime le grandissement en fonction de O_lA et O_lA':

$$G=|\gamma|\frac{\Omega A}{\Omega A'}\approx\frac{O_lA'}{O_lA}\frac{\Omega A}{\Omega A'}$$

<u>Pour l'œil au repos:</u> $\Rightarrow$ l'image est à l'infini: $O_lA' \sim \Omega A'$
l'objet est dans le plan focal: $O_lA=f_l'$

Soit d la distance œil-objet, alors: $d = \Omega A$. Le grossissement s'écrit alors:

$$\boxed{G=\frac{d}{f_l'}}$$

On définira le **grossissement commercial** pour d=0,25m (valeur moyenne du Punctum Proximum PP). Donc:

$$\boxed{G=\frac{0{,}25}{f_l'(m)}=\frac{v(dioptries)}{4}}$$

<u>3/ Puissance:</u> $P=\frac{\alpha'}{AB}$ Lorsque l'image est à l'infini, α' est petit donc:

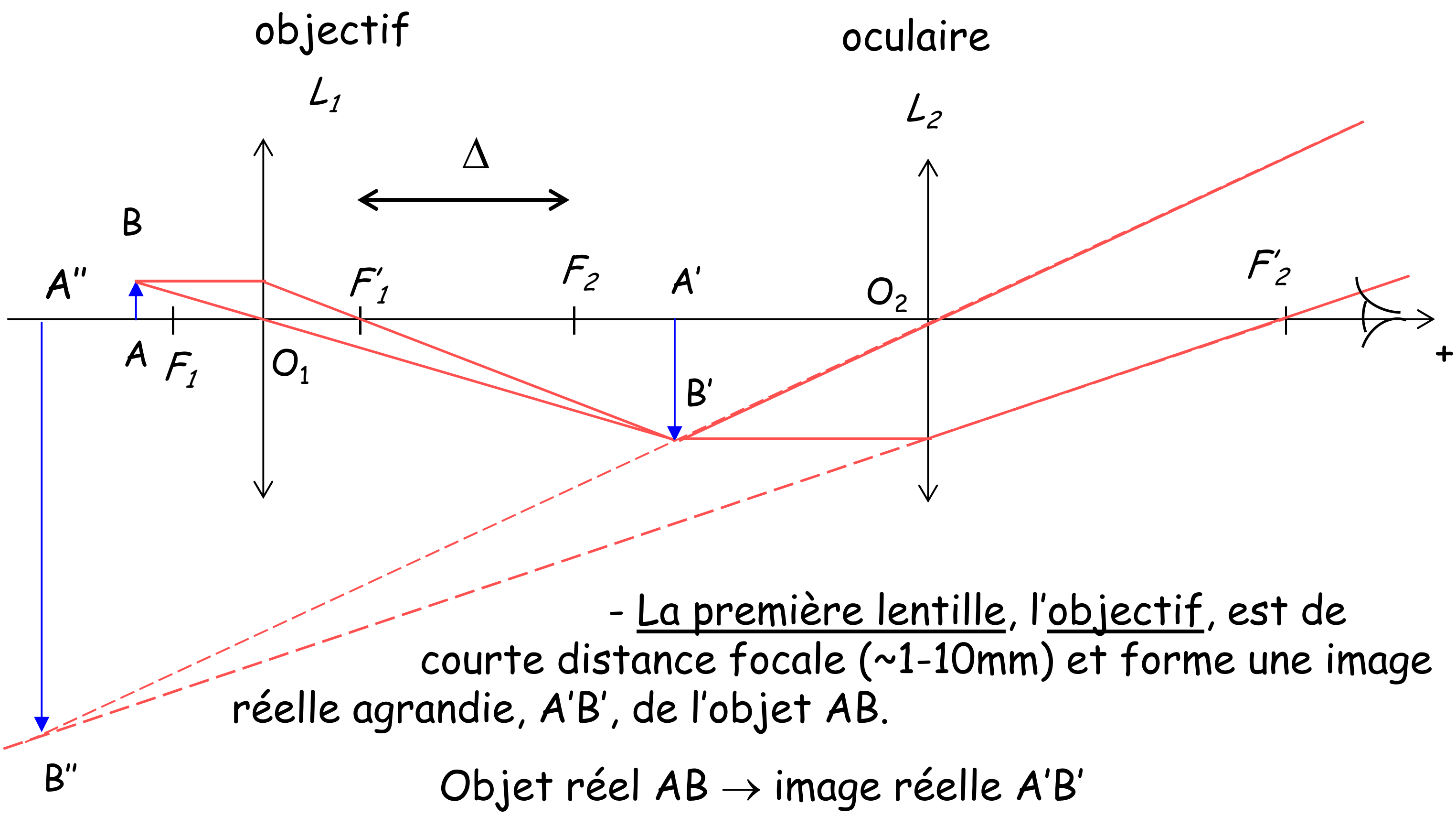
$$\alpha'\approx\tan\alpha'=\frac{A'B'}{\Omega A'}\approx\frac{A'B'}{O_lA'}=\frac{AB}{O_lA}=\frac{AB}{f_l'} \quad \text{car} \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\frac{\overline{O_lA'}}{\overline{O_lA}}$$

La puissance de la loupe s'écrit alors: $$\boxed{P=\frac{1}{f_l'}=v}$$

IV. LE MICROSCOPE:

1/ Description:

- Instrument d'optique composé de deux lentilles convergentes non accolées.
-Il sert à former des images agrandies, observées à l'œil ou photographiées ou filmées.
- L'image formée par le microscope, A''B'', est virtuelle mais est un objet réel pour l'œil



- <u>La première lentille</u>, l'<u>objectif</u>, est de courte distance focale (~1-10mm) et forme une image réelle agrandie, A'B', de l'objet AB.

Objet réel AB $\rightarrow$ image réelle A'B'

- <u>La seconde lentille</u>, l'<u>oculaire</u>, forme une image virtuelle, A''B'', de l'objet A'B'. Sa distance focale est de quelques cm.

Objet réel A'B' $\rightarrow$ image virtuelle A''B''

- <u>L'œil</u> forme sur la rétine une image de l'objet réel A''B''.

<u>Remarques:</u>

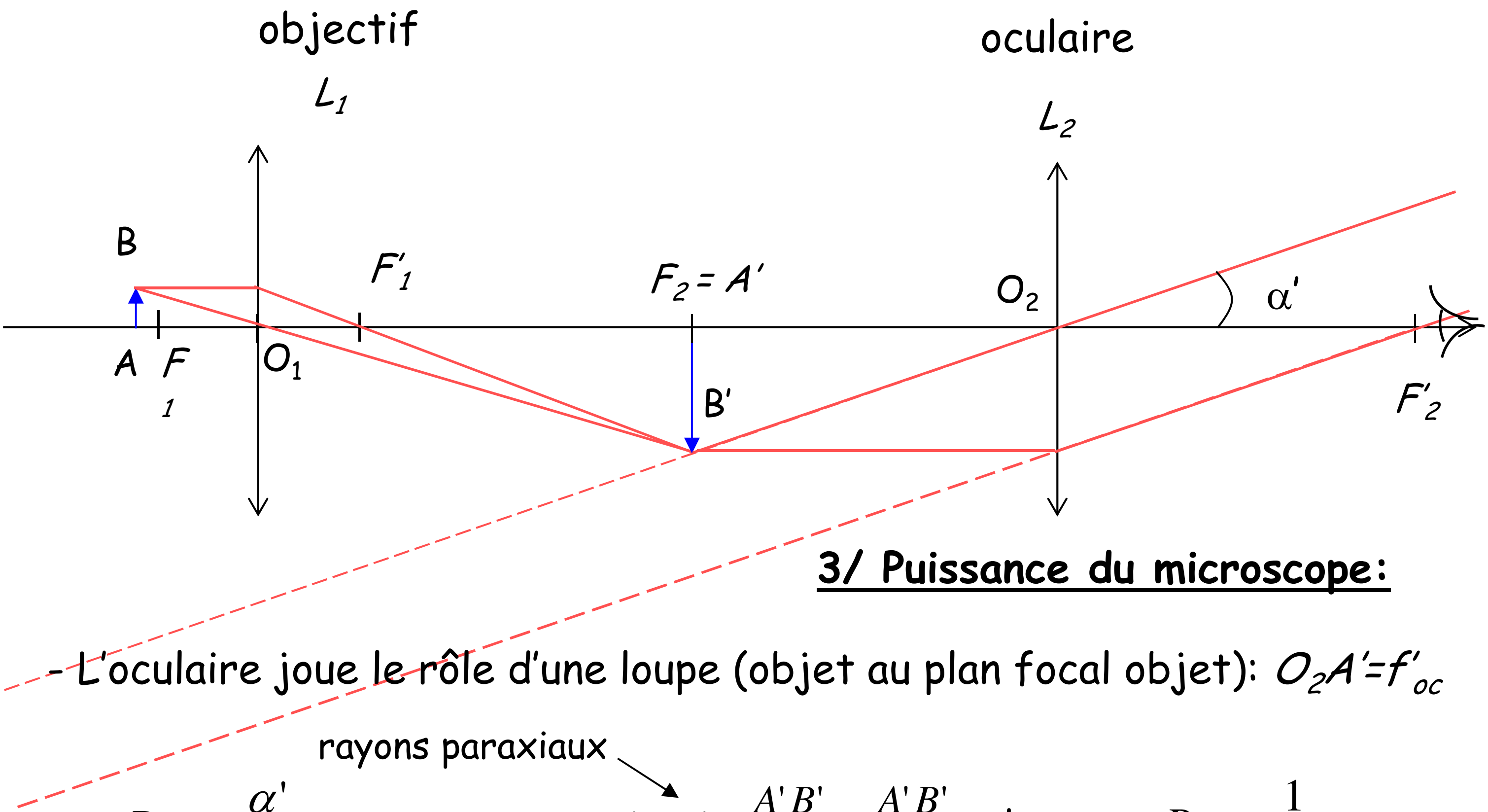
- On appelle Δ la distance entre le foyer image de l'objectif, F'_1, et le foyer objet de l'oculaire F_2. En général $\Delta = F'_1F_2 = 18$cm.
- L'objet AB est placé avant le plan focal objet de l'objectif
- A'B' est placé entre le plan focal objet, F_2, et le centre O_2 de l'oculaire

2/ Observation sans accommodation:

Pour que l'observation se fasse sans fatigue, l'œil doit accommoder à l'infini

$$\overline{O_2A''} \to -\infty$$

donc, il est nécessaire que l'image formée par l'objectif, $A'B'$, soit localisée au plan focal objet de l'oculaire



3/ Puissance du microscope:

- L'oculaire joue le rôle d'une loupe (objet au plan focal objet): $O_2A' = f'_{oc}$

rayons paraxiaux

$$P_{oc} = \frac{\alpha'}{A'B'} \quad \text{avec} \quad \tan\alpha' \approx \alpha' = \frac{A'B'}{O_2A'} = \frac{A'B'}{f_{oc}'} \quad \text{donc} \quad P_{oc} = \frac{1}{f_{oc}'}$$

- La puissance du microscope est donnée par: $P_{mic} = \dfrac{\alpha'}{AB} = \dfrac{\alpha'}{A'B'}\dfrac{A'B'}{AB}$

À l'approximation de Gauss (rayons paraxiaux): $\tan\alpha' \approx \alpha' = \dfrac{A'B'}{f'_{oc}}$

On a: $\gamma_{obj} = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ il vient: $\boxed{P_{mic} = |\gamma_{obj}|.P_{oc}}$

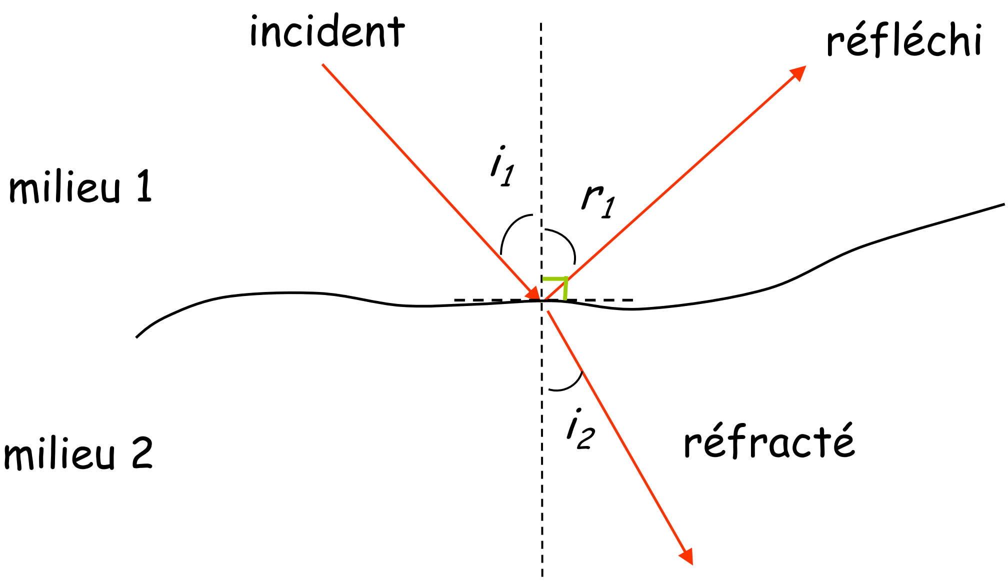
Remarques:

- L'oculaire est toujours le même pour un instrument donné. Donc P_{oc} est constant.
- Le grandissement de l'objectif peut être modifié en changeant la distance focale de la lentille objectif (tourelle porte-objectifs)

CHAPITRE 4: LOIS DE DESCARTES - DIOPTRE PLAN

I/ DIOPTRE:

Définition: surface de séparation entre deux milieux transparents isotropes



Le faisceau incident (monochromatique) se décompose en:

- un faisceau réfléchi
- un faisceau réfracté

1/ Lois de Descartes:

Première loi: Les faisceaux incident, réfléchi et réfracté sont dans un même plan, normal au dioptre, appelé plan d'incidence

Deuxième loi: L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion

$$\boxed{i_1 = r_1}$$

Troisième loi: Les angles d'incidence et de réfraction sont liés par:

$$\boxed{n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)}$$

ieu 1

n_2 indice de réfraction du milieu 2

2/ Signification physique de l'indice

Pour un milieu transparent, *n* est définit par:

$$\boxed{n = \frac{c}{v}}$$

Rapport de la vitesse de la lumière dans le vide, *c*, sur la vitesse dans le milieu considéré, *v*.

avec n ≥ 1 sans dimension

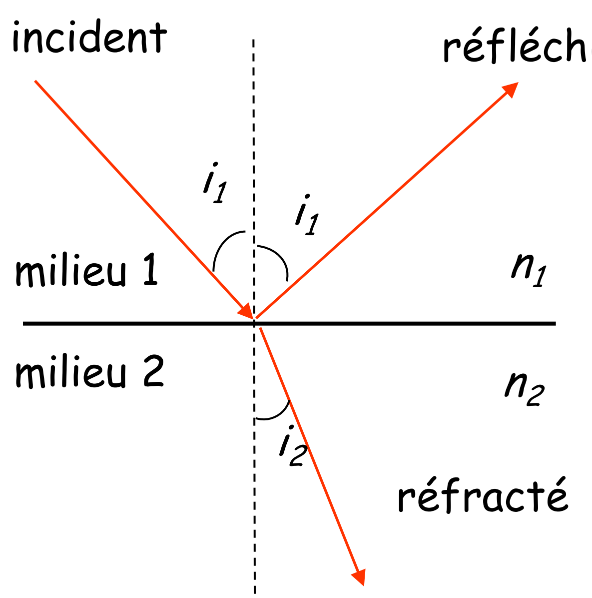
Z: Pour un milieu transparent, l'indice peut dépendre de la longueur d'onde

$\Rightarrow$ phénomène de dispersion de la lumière (prisme)

3/ Principe du retour inverse:

Le trajet suivi par la lumière est indépendant du sens de propagation

II. DIOPTRE PLAN:



a) Si $n_1 < n_2$

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

donc $\sin i_2 < \sin i_1$ car $n_1/n_2 < 1$

alors: $i_1 > i_2$

L'angle réfracté maximal, i_{2max}, sera obtenu pour $i_1 = \pi/2$

avec: $$\sin i_{2max} = \frac{n_1}{n_2}$$

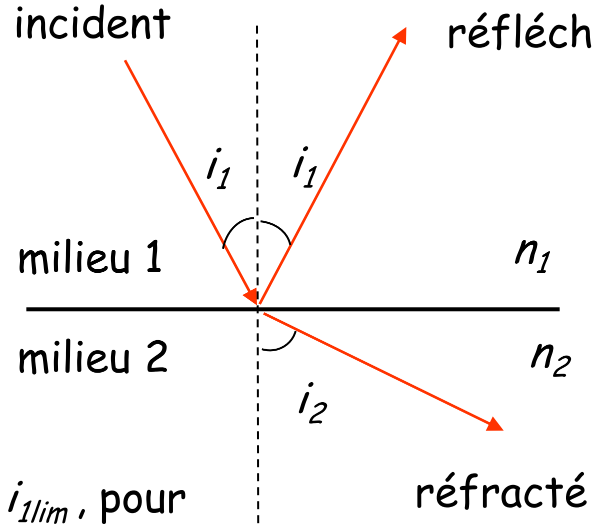
$\Rightarrow$ Il y a toujours un rayon réfracté

b) Si $n_1 > n_2$

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin i_1$$

donc $\sin i_2 > \sin i_1$ car $n_1/n_2 > 1$

alors: $i_2 > i_1$

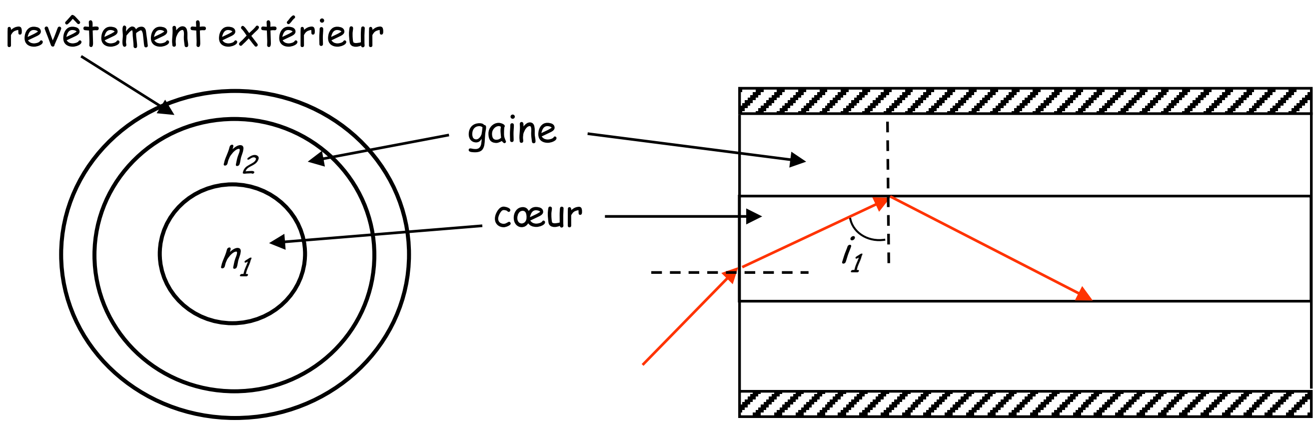


Il y aura une valeur limite de l'angle i_1, i_{1lim}, pour laquelle le faisceau réfracté est rasant ($i_2 = \pi/2$)

avec: $\boxed{\sin i_{1\lim} = \frac{n_2}{n_1}}$

- Pour $i_1 > i_{1lim}$, le rayon est complètement réfléchi (il n'y a pas de faisceau réfracté)
- Le dioptre se comporte comme un miroir. On dit qu'il y a <u>réflexion totale</u>

<u>Application:</u> La fibre optique

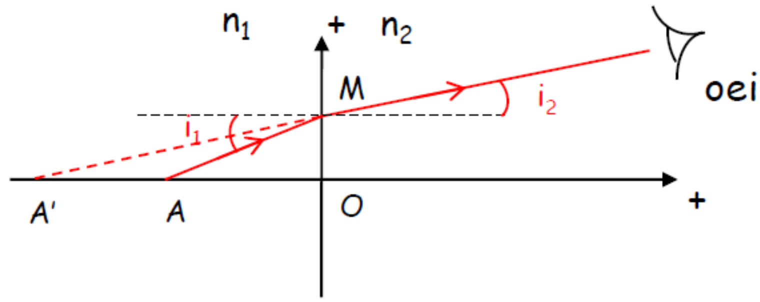


Fibre optique: $n_1 > n_2 > 1$

Indice de l'air: $n = 1$

Les faisceaux qui arrivent sur la gaine avec $i_1 > i_{1lim}$ seront totalement réfléchis :

b) Approximation de Gauss



On suppose $n_1 < n_2$

A' est l'image de A

On suppose que les angles i_1 et i_2 sont très faibles : $\sin i_1 \sim i_1$ et $\sin i_2 \sim i_2$

Donc $n_1 i_1 \sim n_2 i_2$

$$\tan i_1 = \frac{\overline{OM}}{\overline{OA}} \sim i_1 \qquad \text{et} \qquad \tan i_2 = \frac{\overline{OM}}{\overline{OA'}} \sim i_2$$

$$\boxed{\frac{\overline{OA'}}{n_2} = \frac{\overline{OA}}{n_1}}$$

Relation de conjugaison du dioptre plan à l'approximation de Gauss

La position de A' est indépendante de l'angle i_1.

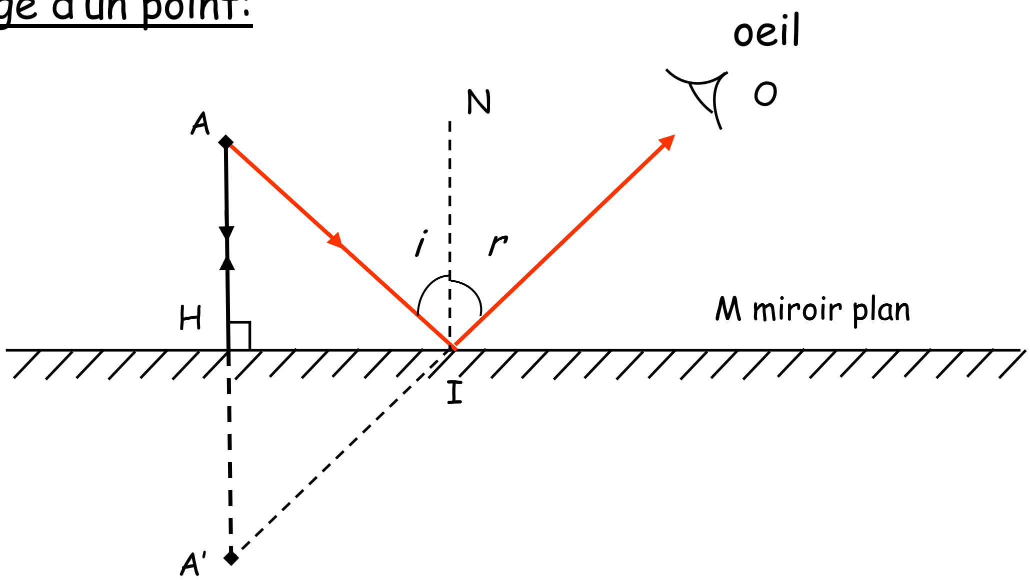
III. MIROIR PLAN

1/ Définition: Surface plane réfléchissante qui impose à la lumière un changement de direction et de sens de propagation

Détails techniques:

- la surface est rendue réfléchissante en y déposant un film mince métallique (Al, Ag,…)
- le film métallique est souvent protégée par une glace en verre.

Image d'un point:



On considère un point lumineux (objet): A.
Ce point lumineux est observé par un observateur placé en O

Lois de Descartes:

- Le rayon AH perpendiculaire à M est réfléchi sur lui-même.
- Tout rayon AI passant par I est réfléchi symétriquement à la normale, IN, avec $i = r$.

Donc, pour un observateur O quelconque, le rayon réfléchi semble provenir d'un point A', symétrique de A par rapport à M

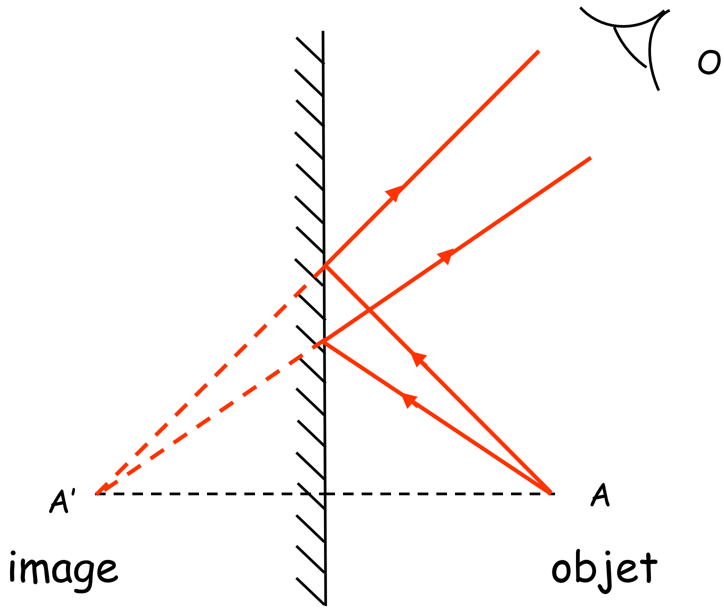
Propriétés:

-Un miroir plan donne d'un point A, une image A' symétrique par rapport au plan du miroir.

- Le miroir plan est dit <u>stigmatique</u> car l'image de tout point de l'espace est un point

2/ Images et objets réels et virtuels:

a) Premier cas:



Considérons un objet lumineux A placé face à un miroir M.
⇒ C'est un objet réel

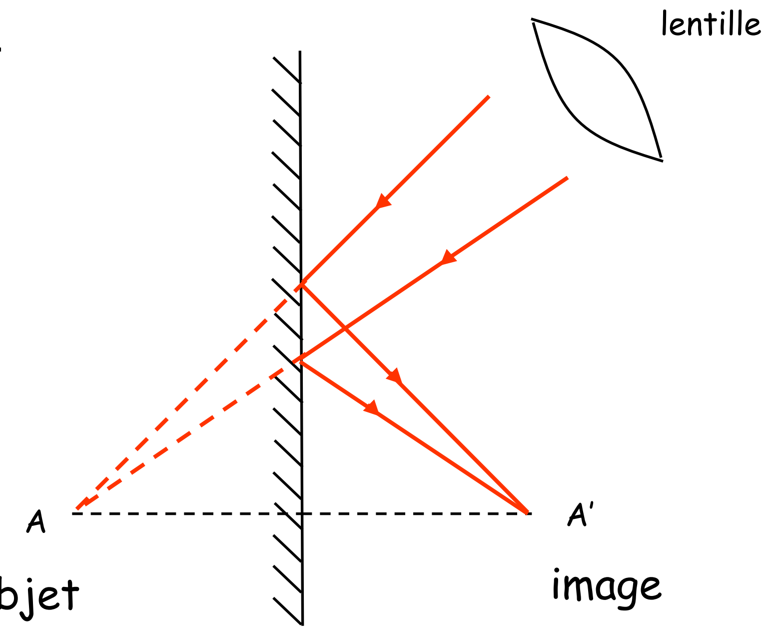
Pour l'observateur O, les faisceaux lumineux semblent provenir de l'image A'

⇒ A' est l'image de A formée par le miroir

Or aucune énergie lumineuse n'est émise par A'. (pas de signal lumineux détectable en A').

⇒ On dit que A' est une image virtuelle.

b) Deuxième cas:



Considérons un faisceau de lumière conique (fourni par une lentille) de sommet A.

Si on interpose un miroir dans le faisceau, alors les rayons lumineux sont réfléchis et forment une image lumineuse en A'

- -A' est une image réelle de l'objet A car l'énergie lumineuse se concentre réellement en A'
- -A l'inverse, aucun signal lumineux n'est détectable en A. A est donc un objet virtuel.

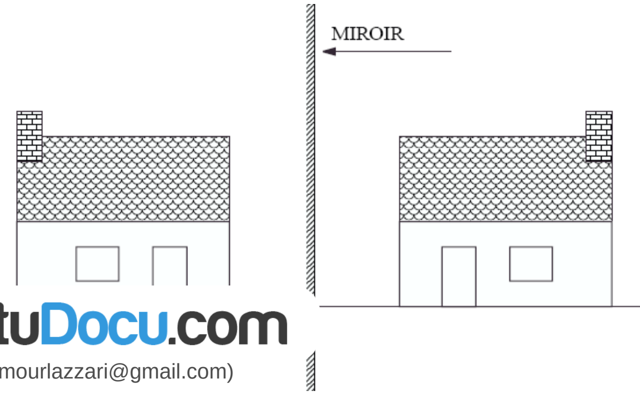
Conclusions:

a) Pour un miroir plan,

- si l'objet est réel, alors l'image est virtuelle
- si l'objet est virtuel, alors l'image est réelle.

b) Pour un miroir plan, l'objet et l'image sont inversés

$\Rightarrow$ **Symétrie miroir**

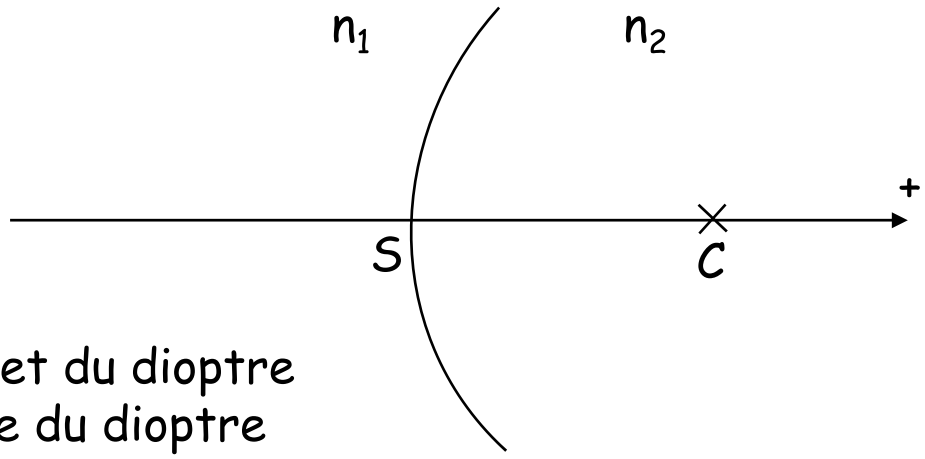


CHAPITRE 5: DIOPTRE ET LENTILLE SPHERIQUES

I. LE DIOPTRE SPHERIQUE:

1. Définition:

Un dioptre sphérique est composé de deux milieux transparents homogènes et isotropes d'indices n_1 et n_2 différents, séparés par une surface sphérique de rayon de courbure R



S: sommet du dioptre
C: centre du dioptre

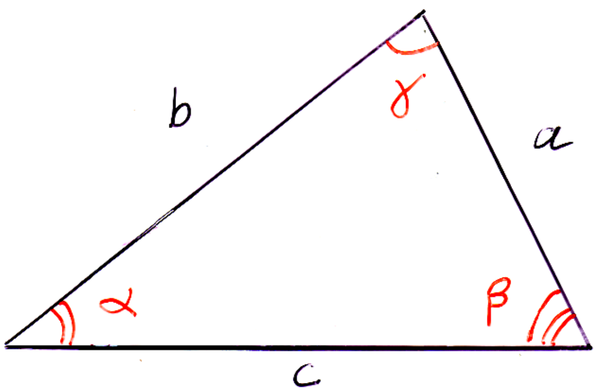
a) Convention d'orientation:

- On oriente l'axe principal: sens positif +
- La valeur algébrique de la distance CS sera notée $\overline{CS}$ avec $\overline{CS} < 0$
- L'origine des valeurs algébriques est souvent définie au point S
- Par convention, la lumière se propage dans le sens positif.

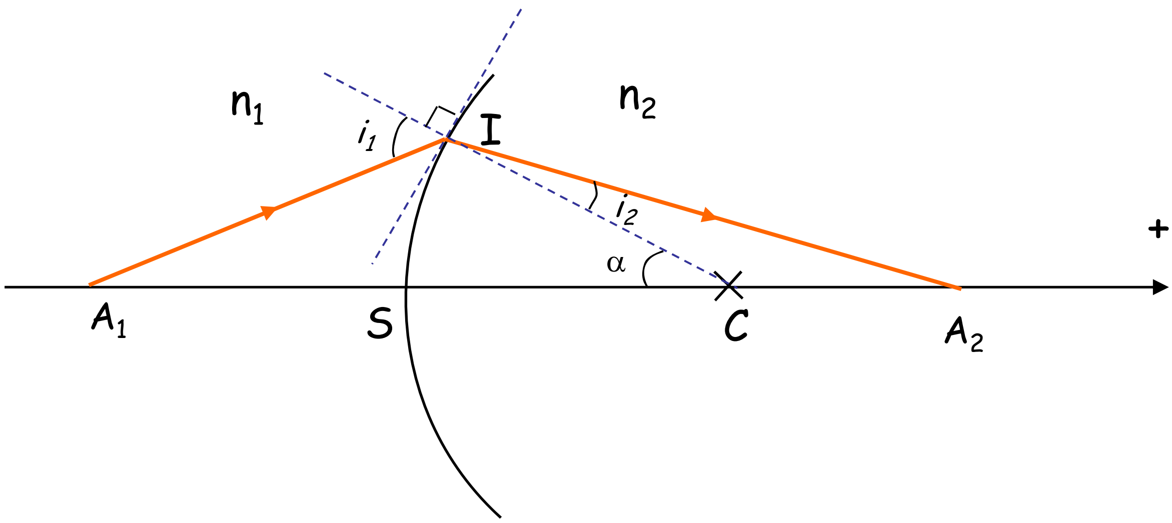
b) Relation des sinus:

$$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma}$$

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi = 180°$$



2/ Invariant fondamental



On considère un dioptre sphérique de centre C qui sépare un milieu d'indice n_1 d'un milieu d'indice n_2

Un rayon lumineux émis d'un point source A_1 (sur l'axe optique) traverse le dioptre en I et recoupe l'axe en A_2

On considère les triangles CIA_1 et CIA_2 et on applique la relation des sinus:

$$\frac{\overline{CA_1}}{\sin(\pi - i_1)} = \frac{\overline{IA_1}}{\sin\alpha}$$ Triangle CIA_1

$$\frac{\overline{CA_2}}{\sin i_2} = \frac{\overline{IA_2}}{\sin(\pi - \alpha)}$$ Triangle CIA_2

or $\sin(\pi - i_1) = \sin i_1$ et $\sin(\pi - \alpha) = \sin\alpha$

donc $$\frac{\overline{CA_1}}{\overline{IA_1}\sin i_1} = \frac{\overline{CA_2}}{\overline{IA_2}\sin i_2}$$

$$\Rightarrow \sin\alpha = \frac{\overline{IA_2}}{\overline{CA_2}}.\sin i_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{\overline{CA_1}}{\sin i_1} = \frac{\overline{IA_1}}{\overline{IA_2}}\frac{\overline{CA_2}}{\sin i_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{\overline{CA_1}}{\overline{IA_1}} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}.\frac{\overline{CA_2}}{\overline{IA_2}}$$

En tenant compte de la relation $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

Il vient: $$\boxed{n_1 \frac{\overline{CA_1}}{\overline{IA_1}} = n_2 \frac{\overline{CA_2}}{\overline{IA_2}}} \qquad (1)$$

milieu 1 milieu 2

Au passage du dioptre sphérique la grandeur $n\frac{\overline{CA}}{\overline{IA}}$ est conservée

Invariant fondamental

<u>3/ Approximation de Gauss:</u>

On ne considère que les rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique du dioptre (rayons paraxiaux)

Donc $\overline{IA_1} \approx \overline{SA_1}$ et $\overline{IA_2} \approx \overline{SA_2}$ alors $n_1 \frac{\overline{CA_1}}{\overline{SA_1}} = n_2 \frac{\overline{CA_2}}{\overline{SA_2}}$

Or $\overline{CA_1} = \overline{CS} + \overline{SA_1}$ et $\overline{CA_2} = \overline{CS} + \overline{SA_2}$

L'équation (1) devient: $n_1\left(\frac{\overline{CS}+\overline{SA_1}}{\overline{SA_1}}\right) = n_2\left(\frac{\overline{CS}+\overline{SA_2}}{\overline{SA_2}}\right)$

donc $n_1\left(\frac{\overline{CS}}{\overline{SA_1}}+1\right) = n_2\left(\frac{\overline{CS}}{\overline{SA_2}}+1\right)$ puis $\overline{CS}\left(\frac{n_1}{\overline{SA_1}} - \frac{n_2}{\overline{SA_2}}\right) = n_2 - n_1$

Donc: $$\boxed{\frac{n_1}{\overline{SA_1}} - \frac{n_2}{\overline{SA_2}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{CS}}} \qquad (2)$$ <u>Relation de conjugaison du dioptre sphérique</u>

-Cette relation permet de calculer la position de <u>l'image</u> A_2 connaissant la position de <u>l'objet</u> A_1

-La relation de conjugaison s'exprime avec des grandeurs algébriques (origine en S: sommet du dioptre)

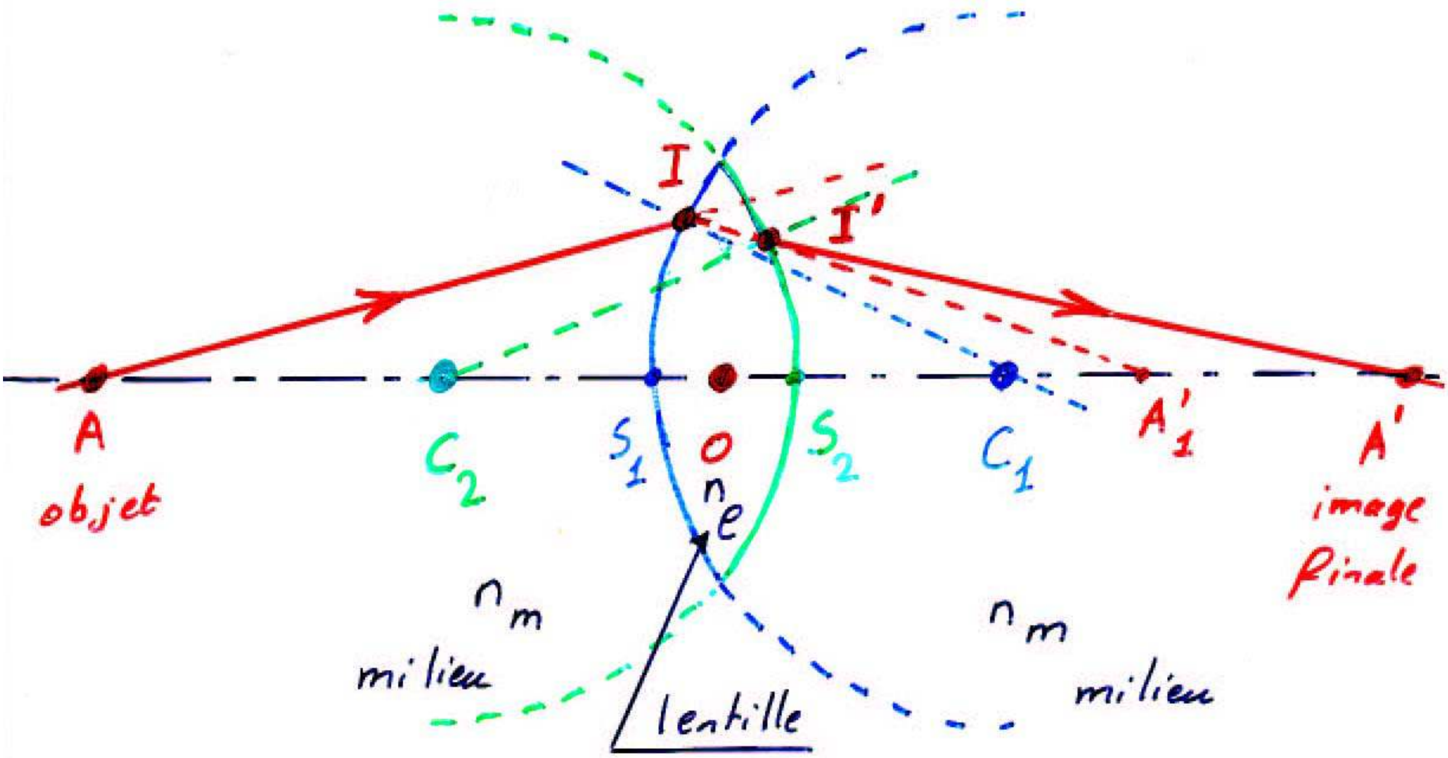
- Le module de $\overline{SC}$ est le rayon de courbure du dioptre: $\left|\overline{SC}\right| = R$

II. LENTILLE SPHERIQUE

Définition:

Une lentille sphérique est l'association de 2 dioptres sphériques

Exemple de lentille:



C_1: Centre du premier dioptre; S_1: sommet

C_2: centre du deuxième dioptre; S_2: sommet

n_m: indice du milieu (air) et n_l: indice de la lentille

En général: $n_l > n_m$: les lentilles sont fabriquées dans un matériau plus réfringent que le milieu dans lequel elles sont placées

On cherche l'image A' de l'objet A: $\underset{\text{objet}}{A} \longrightarrow \underset{\text{image}}{A'}$

Passage du premier dioptre: $\underset{\text{objet}}{A} \longrightarrow \underset{\text{image}}{A_1'}$

Passage du second dioptre: $\underset{\text{objet}}{A_1'} \longrightarrow \underset{\text{image}}{A'}$

1/ Relation de conjugaison:

- A l'approximation de Gauss (rayons paraxiaux) on a:

Passage du premier dioptre: $$\frac{n_m}{\overline{S_1A}} - \frac{n_l}{\overline{S_1A'_1}} = \frac{n_m - n_l}{\overline{S_1C_1}}$$

Passage du second dioptre: $$\frac{n_l}{\overline{S_2A'_1}} - \frac{n_m}{\overline{S_2A'}} = \frac{n_l - n_m}{\overline{S_2C_2}}$$

- Approximation des lentilles minces:

On suppose que l'épaisseur de la lentille est négligeable
$\Rightarrow$ S_1 et S_2 sont confondus en O

Les relations de conjugaison deviennent:

Passage du premier dioptre: $$\frac{n_m}{\overline{OA}} - \frac{n_l}{\overline{OA'_1}} = \frac{n_m - n_l}{\overline{OC_1}}$$

Passage du second dioptre: $$\frac{n_l}{\overline{OA'_1}} - \frac{n_m}{\overline{OA'}} = \frac{n_l - n_m}{\overline{OC_2}}$$

On additionne les 2 équations et on divise par $-n_m$

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \left(\frac{n_l}{n_m} - 1\right)\left(\frac{1}{\overline{OC_1}} - \frac{1}{\overline{OC_2}}\right)} \qquad (3)$$

Relation de conjugaison pour une lentille mince

Remarques: - les grandeurs sont algébriques
- l'origine est prise en O

2/ Foyers de la lentille mince:

Lorsque l'objet A se trouve à l'infini, l'image A' se trouvera au foyer image F'

$\overline{OA} \rightarrow -\infty$ donc $\dfrac{1}{\overline{OF'}} = \left(\dfrac{n_l}{n_m} - 1\right)\left(\dfrac{1}{\overline{OC_1}} - \dfrac{1}{\overline{OC_2}}\right)$

On définit la distance focale image: $f' = \overline{OF'}$

donc $\boxed{\dfrac{1}{f'} = \left(\dfrac{n_l}{n_m} - 1\right)\left(\dfrac{1}{\overline{OC_1}} - \dfrac{1}{\overline{OC_2}}\right)}$

f' dépend:
- des paramètres géométriques de la lentille (rayon de courbure des dioptres): OC_1, OC_2
- des indices du verre de la lentille, n_l, et du milieu extérieur, n_m.

La relation de conjugaison devient alors:

$\boxed{\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f'}}$ avec $\boxed{f = -f'}$

4/ catégories de lentilles:

- si $f' > 0$ alors la lentille est convergente
- si $f' < 0$ alors la lentille est divergente

Le signe de f' dépendra:

- du signe de $\left(\dfrac{n_l}{n_m} - 1\right)$ $\Rightarrow$ propriété du matériau
- du signe de $\left(\dfrac{1}{\overline{OC_1}} - \dfrac{1}{\overline{OC_2}}\right)$ $\Rightarrow$ caractéristique géométrique de la lentille

On pose: $R_1 = \overline{OC_1}$ et $R_2 = \overline{OC_2}$ rayons de courbure des dioptres d'entrée et de sortie (grandeurs algébriques)

alors $\boxed{\dfrac{1}{f'} = \left(\dfrac{n_l}{n_m} - 1\right)\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2}\right)}$ Distance focale image