OPTIQUE GEOMETRIQUE

I-/ LOIS FONDAMENTALES DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

II-/ PRINCIPE DE FERMAT

III-/ MIROIR PLAN -DIOPTRE PLAN

IV-/ LENTILLES MINCES

CHAPITRE I : LOIS FONDAMENTALES DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

I.1/ PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

I.1.1/ Définitions

L'optique est l'étude des **phénomènes lumineux** dans un milieu.

Un milieu optique est caractérisé par son **indice de réfraction** noté $\boldsymbol{n} = \frac{\boldsymbol{C}}{\boldsymbol{V}}$

Avec $\boldsymbol{C}$ = 3.10^8 m/s : célérité de la lumière

$\boldsymbol{V}$: vitesse de la lumière dans le milieu.

Un milieu est d'autant **plus réfringent** lorsque son indice de **réfraction** $\boldsymbol{n}$ est de plus en plus grand.

Un milieu **homogène** est un milieu dont la composition est la même en tous ses points.

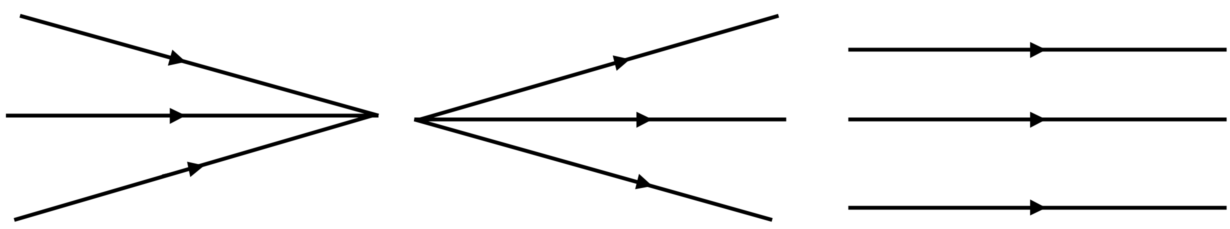
Un milieu **isotrope** est un milieu dont les propriétés sont les mêmes dans toutes les directions.

I.1.2 Principe de propagation rectiligne de la lumière

Dans un milieu **homogène et isotrope**, la lumière se propage en **ligne droite**.

Un **rayon lumineux** est la trajectoire suivie par la lumière constitue.

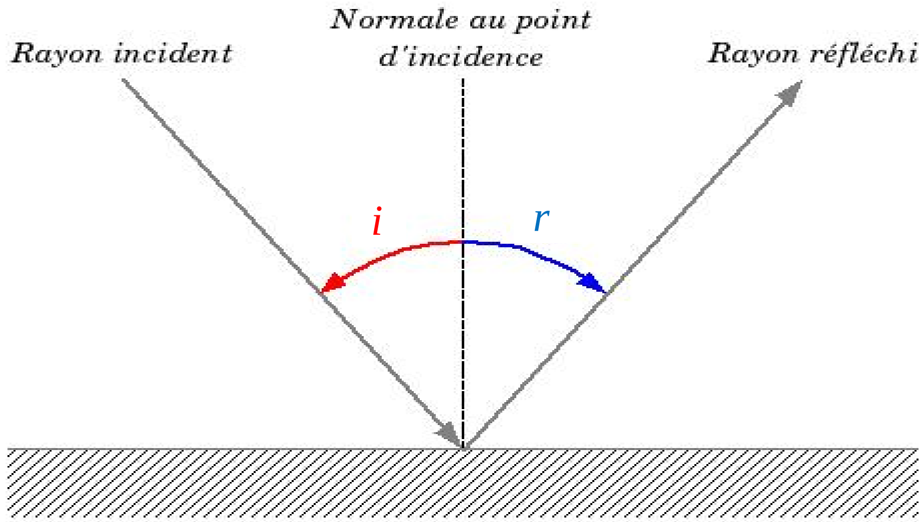
Un ensemble de rayons lumineux issus d'une même source constitue un **faisceau lumineux**.



Rayons convergents Rayons divergents Rayons parallèles

I.2/ LOIS DE SNELL-DESCARTES

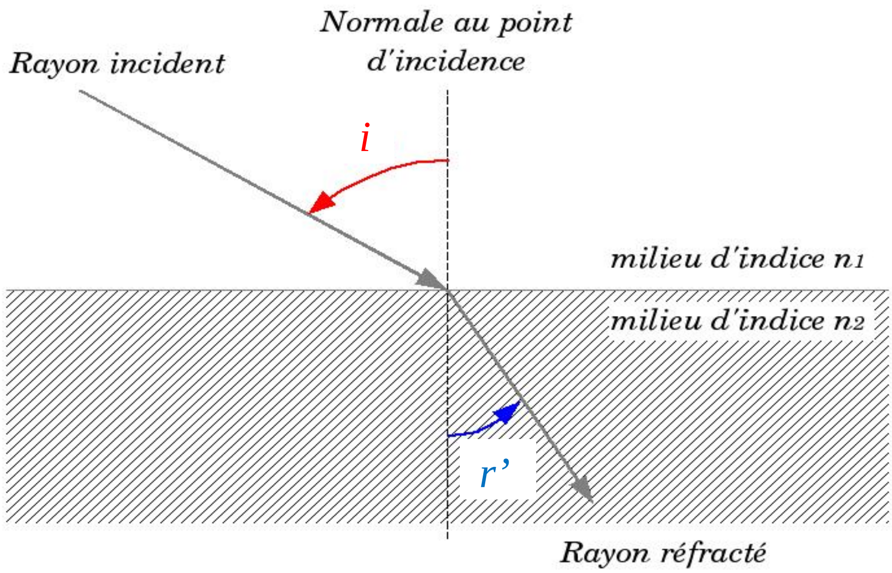
I.2.1/ Loi de Snell-Descartes de la réflexion



- Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans le même plan (coplanaire).
- Le rayon réfléchi est le **symétrique** du rayon incident par rapport à la normale à la surface réfléchissante. On a donc les angles incident ***i*** et de réflexion ***r*** ont la même mesure:

$$i = r$$

I.2.2/ Loi de Snell-Descartes de la réfraction



- Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans le même plan (coplanaire).
- Les angles incident $\boldsymbol{i}$ et de réfraction $\boldsymbol{r'}$ sont liés par la relation suivante :

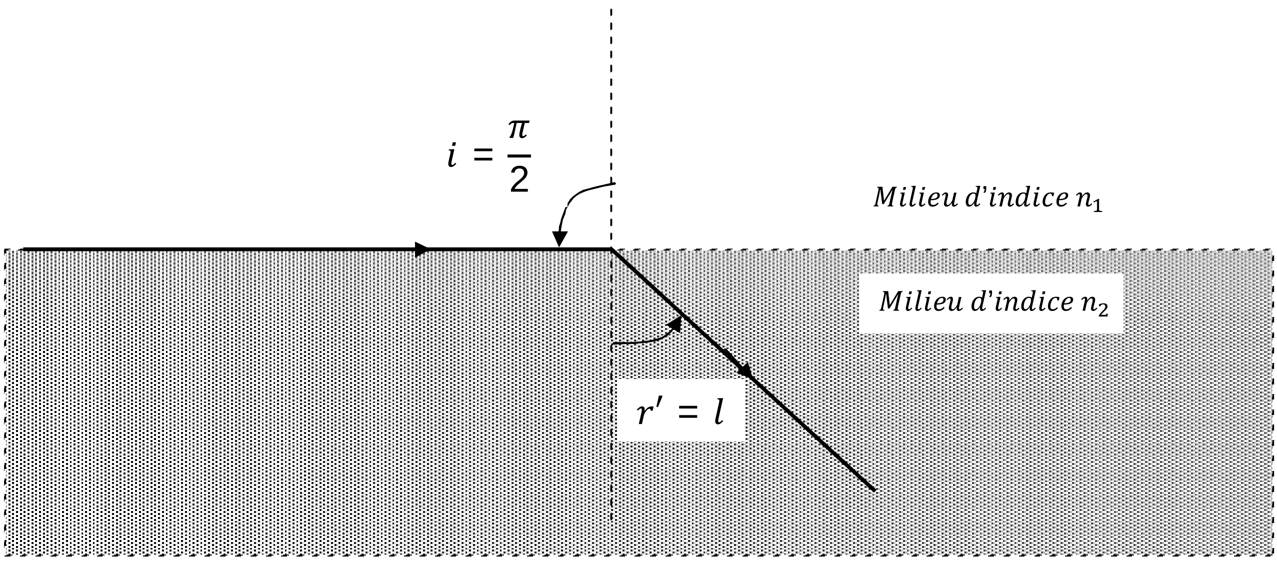
$$\boldsymbol{n_1 sin(i) = n_2 sin(r')}$$

I.3./ Angle de réfraction limite :

Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent (n_1) dans un autre plus réfringent n_2 ***($n_2 > n_1$).*** D'après la loi de Snell-Descartes $i > r'$, le rayon incident s'éloigne plus de la normale que le rayon réfracté. Pour l'incidence rasante, où $i = \frac{\pi}{2}$, r' prend une valeur $\boldsymbol{l}$, appelée **angle de réfraction limite**, donnée par :

$$\boldsymbol{n_1 sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = n_2 sin(l)}$$

$$\boxed{\boldsymbol{sin(l) = \frac{n_1}{n_2}}}$$



I.3.4/ Réflexion totale

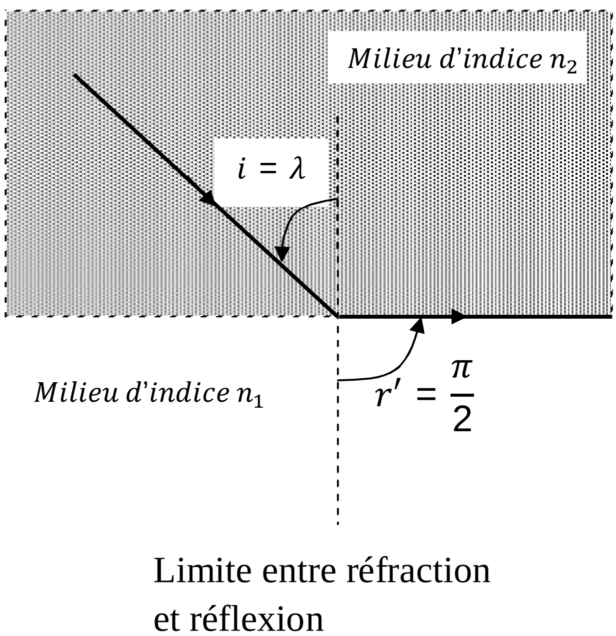
Lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent (n_1) dans un autre moins réfringent (n_2) ($\mathbf{n_1} > \boldsymbol{n_2}$), d'après la loi de Descartes $r' > \boldsymbol{i}$. Le rayon réfracté s'éloigne plus de la normale que le rayon incident.

Pour une valeur de $i = \lambda$, on a $r' = \frac{\pi}{2}$.

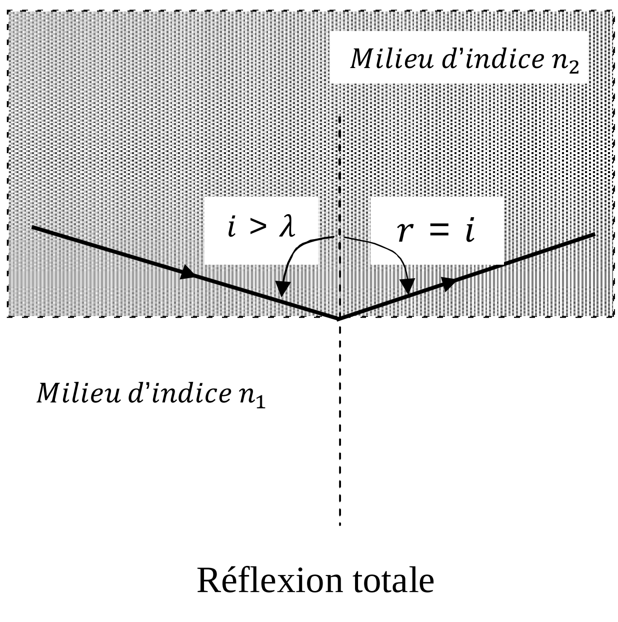
$$\boldsymbol{n_1 sin}(\lambda) = \boldsymbol{n_2 sin}\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\boxed{\boldsymbol{sin}(\lambda) = \frac{\boldsymbol{n_2}}{\boldsymbol{n_1}}}$$

Lorsque $i > \lambda$, $r' > \frac{\pi}{2}$ il n'y a plus de rayon réfracté : toute la lumière incidente est alors réfléchie : c'est le phénomène de **réflexion totale**.



Limite entre réfraction et réflexion



Réflexion totale

<u>CHAPITRE II</u> : MIROIR PLAN - DIOPTRE PLAN

II.1/ DEFINITIONS

II.1.1/Système optique

On appelle **système optique** l'ensemble d'un certain nombre de milieux **transparents** en général **homogènes** et **isotropes** séparés par des surfaces **réfractantes** (dioptres) ou **réfléchissantes** (miroirs).

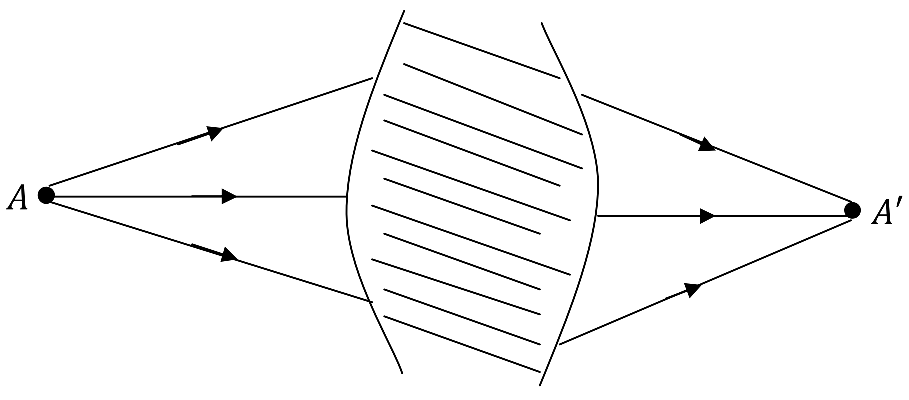
Les systèmes utilisés sont souvent **centrés**, c'est-à-dire qu'ils possèdent un axe de symétrie. On distingue trois catégories de systèmes :

- **les systèmes dioptriques** : comportant seulement des dioptres ;
- **les systèmes catoptriques** : comportant seulement des miroirs;
- **les systèmes catadioptriques** : comportant des dioptres et des miroirs.

II.1.2/Stigmatisme

Un système optique est dit **stigmatique** pour le couple de points *(A, A')* si tous les rayons incidents issus d'un point A passent par un autre point A' après avoir traversé le système.

Les points *A* et *A'* sont dits **conjugués** par rapport au système.



Système optique

1601-1665

Pierre de Fermat

II.1.3/ Principe de Fermat

Ce principe constitue le principe fondamental
de l'optique géométrique. Il s'énonce ainsi :
Pour aller d'un point A à un point A' la lumière empreinte
le trajet qui nécessite la plus petite durée.
Pas forcément la ligne droite.

Conséquence immédiate du principe de Fermat

Si les points A et A' sont dans le même milieu homogène et isotrope d'indice n constant, le chemin qui nécessite le plus petit temps est la ligne droite.
Donc le chemin optique doit être le segment de droite [A, A']. On retrouve ainsi le principe de la **propagation rectiligne** de la lumière dans un milieu **homogène** et **isotrope**

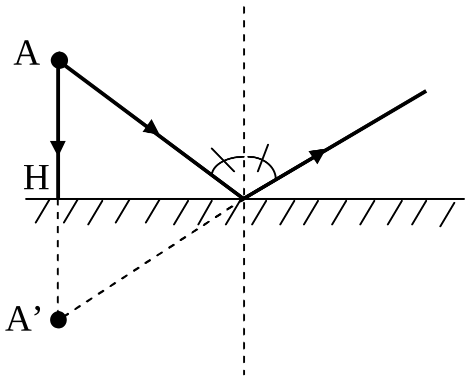
II.2/ MIROIR PLAN

II.1.1/ Définition

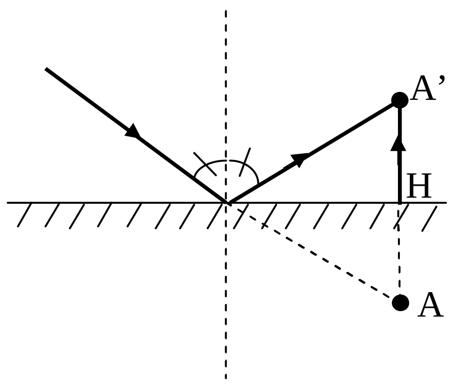
Le miroir plan est une surface plane capable de réfléchir la quasi-totalité de la lumière qu'elle reçoit, quel que soit l'angle d'incidence.

II.1.2/ Image d'un point et Relation de conjugaison

Le miroir plan donne de tout point objet A une image A' rigoureusement stigmatique et symétrique du point objet par rapport au plan du miroir
A' est l'intersection d'au moins deux rayons réfractés issus de A.



Objet A réel car les rayons passe par A
Image A' virtuelle car les rayons ne passe pas par A'



Objet A virtuel car les rayons ne passent pas par A
Image A' réelle car les rayons passent par A'

Dans un miroir plan, l'objet et l'image sont toujours de natures opposées.

Relation de conjugaison

Soit H le projeté orthogonal de A sur la surface du miroir.

On a :

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

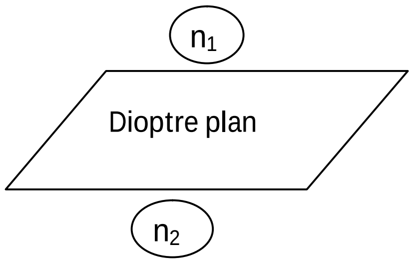
Ou $$\overline{AH} = -\overline{A'H}$$

NB : le sens positif des mesures algébriques est celui de la propagation de la lumière.

II.3/ DIOPTRE PLAN

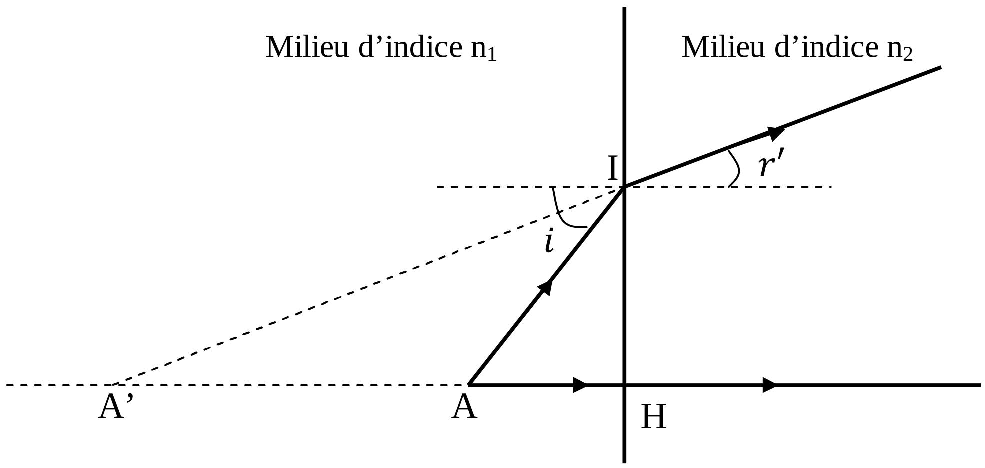
II.3.1/ Définition

Un dioptre plan est une surface plane séparant deux milieux transparents, homogènes et isotropes, d'indices de réfraction différents.



III.2.2/ Image d'un point et Relation de conjugaison

Soit un dioptre plan séparant deux milieux d'indices n_1 et n_2 :



Pour construire l'image de A, on utilise deux rayons :

Le rayon issu de A qui arrive perpendiculairement au dioptre n'est pas dévié.

Le rayon issu de A dont l'angle d'incidence est i; il est réfracté avec un angle r'.

L'intersection des deux rayons réfractés donne l'image de A qui est A'

Relation de conjugaison

Soit H le projeté orthogonal de A sur la surface du dioptre.

On peut écrire :

$$tan(i) = \frac{\overline{HI}}{\overline{AH}} \quad , \quad tan(r') = \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}}$$

D'après les lois de Snell-Descartes on a : $n_1 sin(i) = n_2 sin(r')$

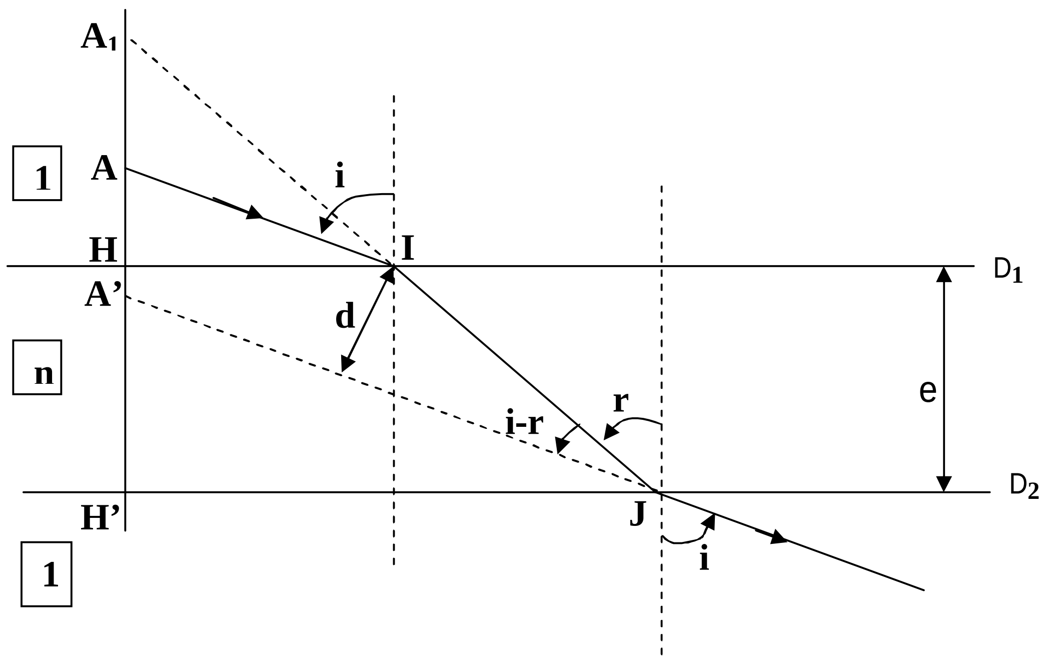
On considère des rayons paraxiaux (proche de la normale du dioptre) donc i et r' sont faibles d'où $sin(i) \approx tan(i)$ et $sin(r') \approx tan(r')$

Donc $$n_1 \frac{\overline{HI}}{\overline{AH}} = n_2 \frac{\overline{HI}}{\overline{A'H}}$$

$$\boxed{Finalement: \frac{\overline{AH}}{n_1} = \frac{\overline{A'H}}{n_2}, Relation\ de\ conjugaison}$$

III/ LAMES A FACES PARALLELES

Une lame à faces parallèle est un milieu homogène transparent et isotrope limité par deux surfaces planes.et parallèles.



Dans le cas de la lame à faces parallèles le rayon incident est parallèle au rayon émergent. Il subit un déplacement d

3.1/ Calcul du déplacement d

On a $Sin(i-r) = \frac{d}{IJ} \Longrightarrow d = IJSin(i-r)$

Or $cos\, r = \frac{e}{IJ} \Longrightarrow IJ = \frac{e}{cos\, r}$

$$\boldsymbol{d = \frac{e}{cos\, r} Sin(i-r)}$$

3.2/ Relation de conjugaison

A_1 est l'image de A par le dioptre D_1 et A' est l''image de A_1 par le dioptre D_2

$$\boxed{A} \xrightarrow{D_1} \boxed{A1} \xrightarrow{D_2} \boxed{A'}$$

On a $\overline{HA} = \dfrac{\overline{HA_1}}{n}$ et $\dfrac{\overline{H'A_1}}{n} = \overline{H'A'}$

Déterminons $\overline{AA'}$

$$\overline{AA'} = \overline{AH} + \overline{HH'} + \overline{H'A'}$$

$$\overline{AA'} = \frac{\overline{A_1H}}{n} + e + \frac{\overline{H'A_1}}{n}$$

$$\overline{AA'} = \frac{\overline{H'A_1}}{n} + \frac{\overline{A_1H}}{n} e$$

$$\overline{AA'} = \frac{\overline{H'H}}{n} + e$$

$$\overline{AA'} = \frac{-e}{n} + e$$

$$\boldsymbol{\overline{AA'} = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$

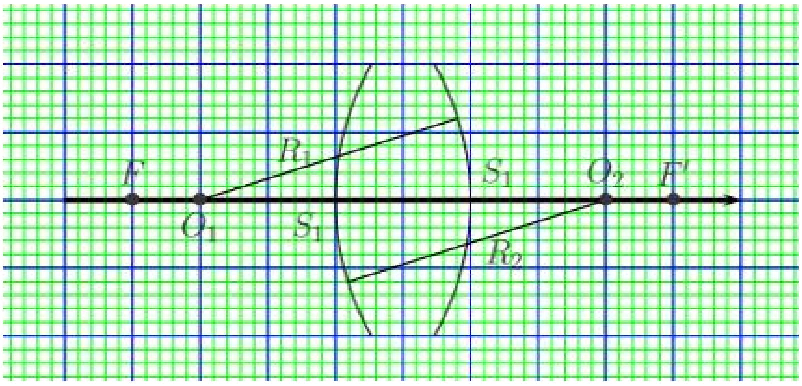
CHAPITRE IV : LENTILLES MINCES

IV.1/ CLASSIFICATION DES LENTILLES

Une lentille est un corps à symétrie de révolution qui est le plus souvent fabriqué en verre ou en matière plastique. Le milieu optique est délimité par deux surfaces sphériques.

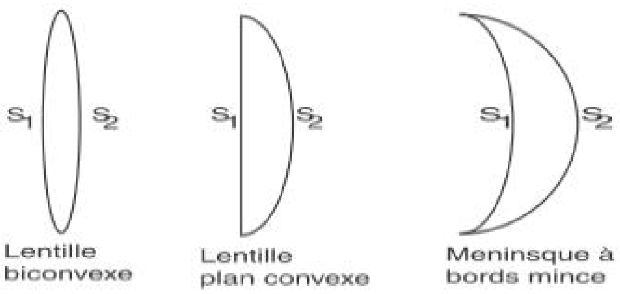
Une lentille est mince si son épaisseur e = $S_1 S_2$ est très négligeable devant R_1, R_2 et $|R_2 - R_1|$

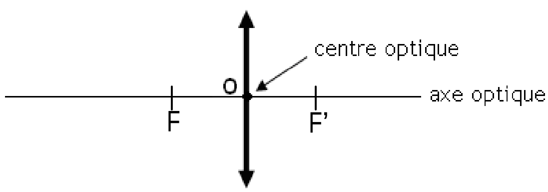
Dans ce cas $S_1 \equiv S_2 \equiv O$: centre optique de la lentille



IV 1.1/ Lentilles convergentes

La lentille convergente (ou lentille convexe) est plus épaisse au centre qu'au bord. Sur les schémas, elle est représentée comme suit:

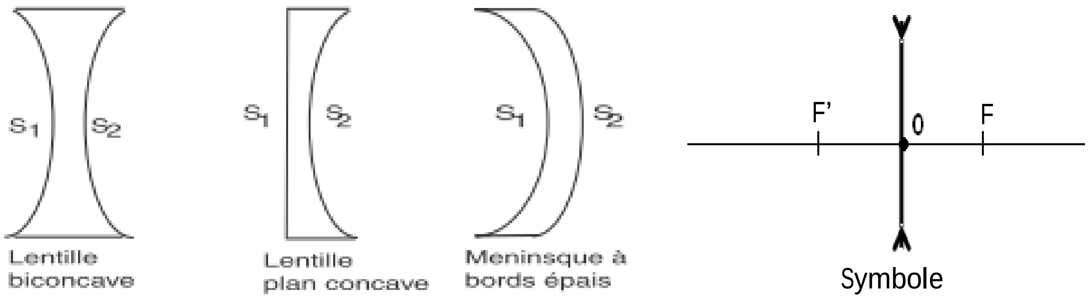




IV.1.2/ Lentilles divergentes

La lentille divergente (ou lentille concave) est plus mince au centre

qu'au bord. Sur les schémas, elle est représentée comme suit:

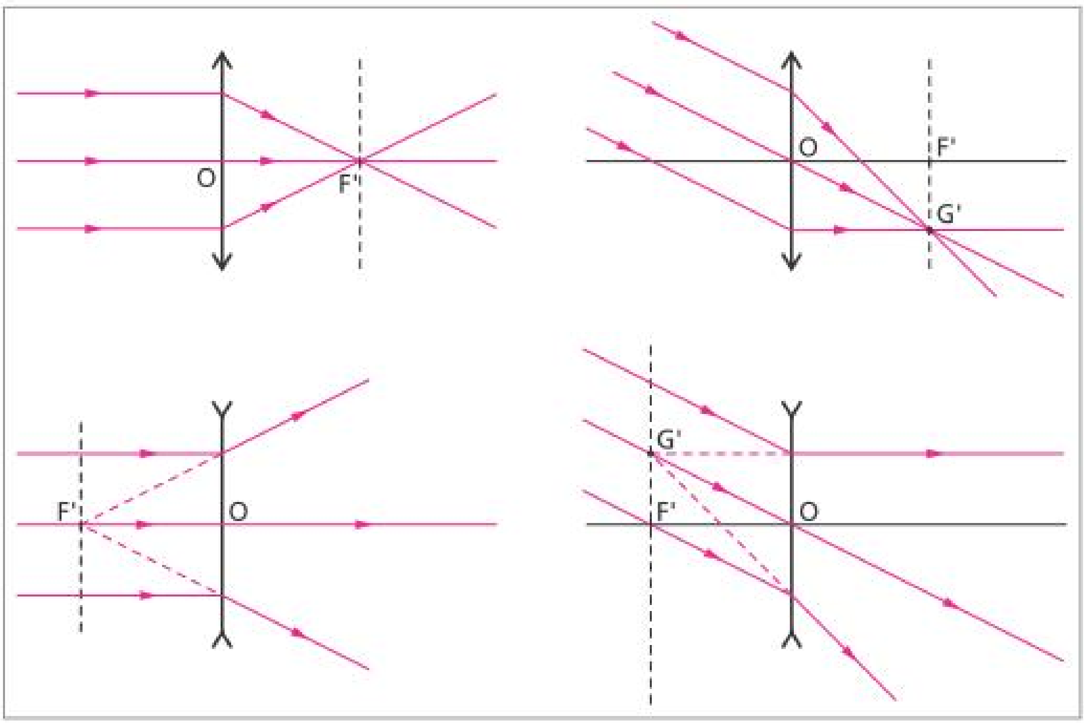


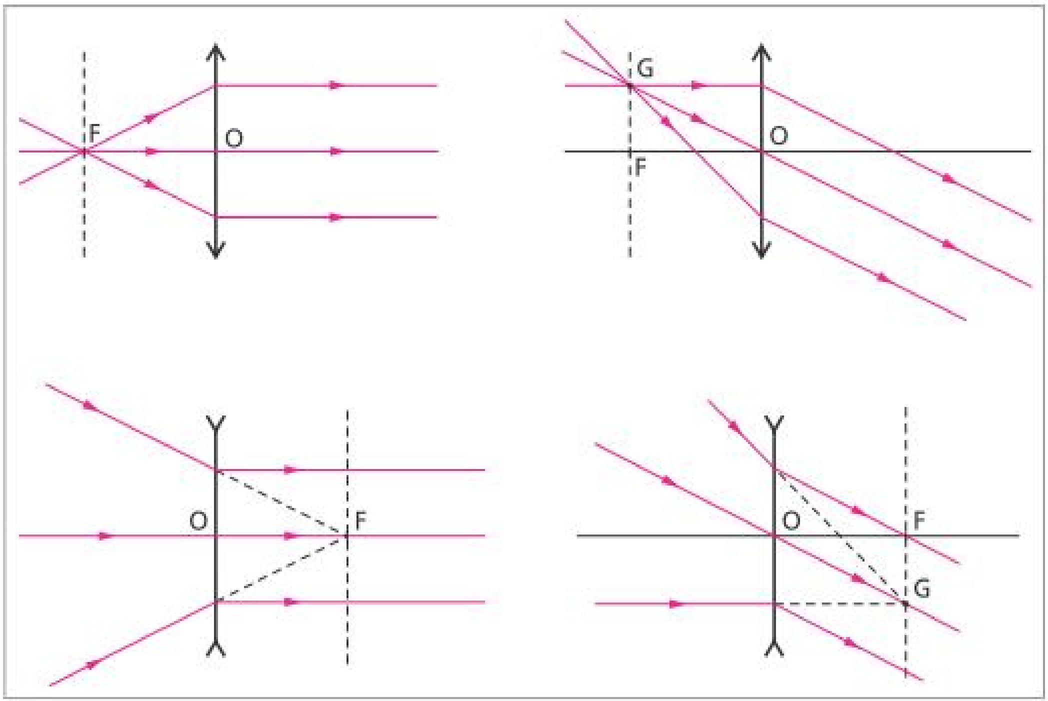
IV.2/ CONSTRUCTIONS DE RAYONS PARTICULIERS

Rappelons les trois règles essentielles de constructions :

- Les rayons passant par le centre optique O ne sont pas déviés.
- Les rayons incidents parallèles émergent en passant par le plan focal image.
- Les rayons incidents se coupant dans le plan focal objet correspondent des rayons émergents parallèles.

Attention : les foyers d'une lentille divergente sont virtuels. Ces règles sont illustrées sur les figures suivantes :





IV.3/ CONSTRUCTION D'IMAGE ET FORMULE DE CONJUGAISON

IV.3.1Construction d'image

Deux rayons particuliers suffisent pour construire l'image d'un objet.

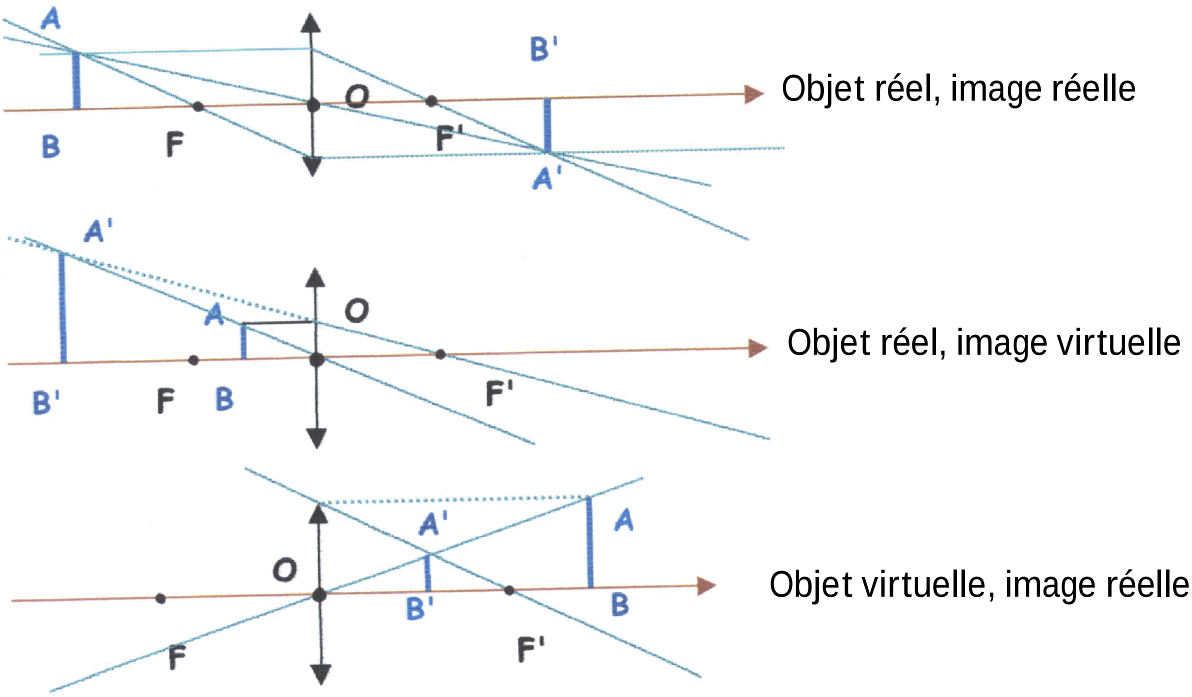
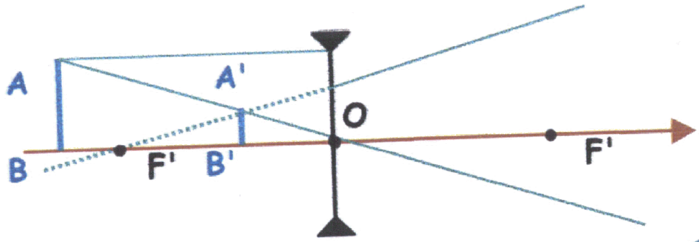
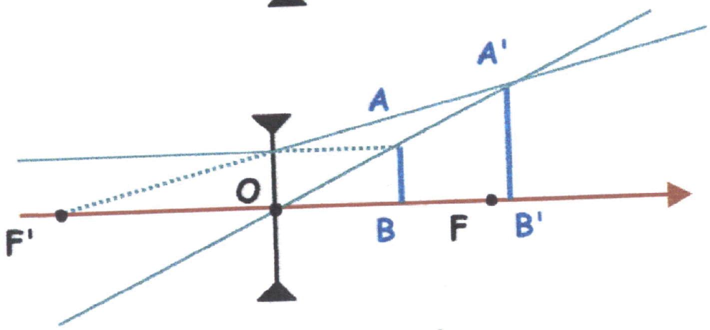


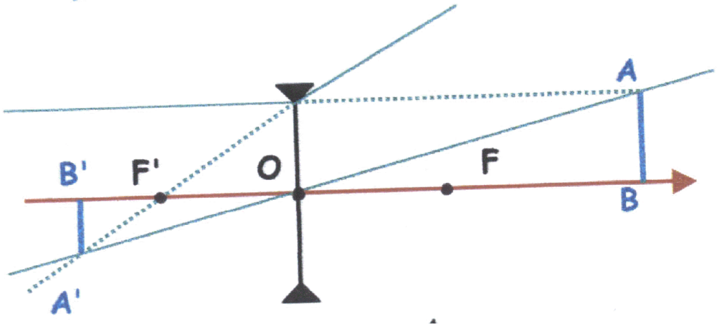
Image A’B’ d’un objet AB donnée par une lentille convergente



Objet réel, image virtuelle



Objet virtuelle, image réelle



Objet virtuelle, image virtuelle

Image A’B’ d’un objet AB donnée par une lentille divergente

IV.3.2/ Relation de conjugaison de Descartes

Par convention, l’axe optique de la lentille est orienté dans le sens de propagation de la lumière.

Le centre optique O coïncide avec l’origine de l’axe. Les positions de A et de A’ sont repérées par les valeurs algébriques $\overline{OA} < 0$ et $\overline{OA'} > 0$

F : foyer objet

F’ : foyer image

OF=OF’ : distance focale

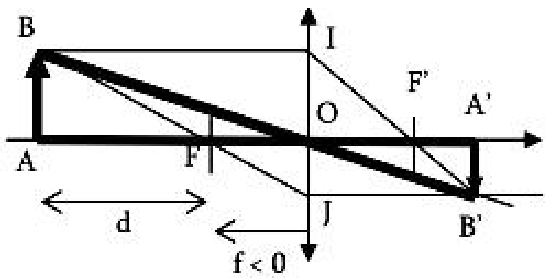
On pose f = $\overline{OF} < 0$

f’ = $\overline{OF'}$ >0

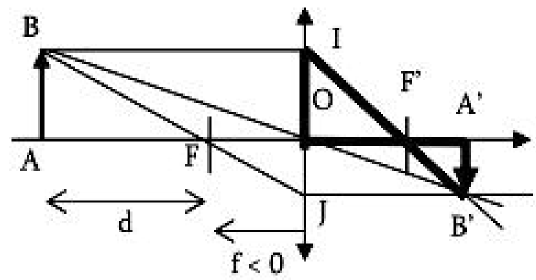
Relation de conjugaison

Le grandissement d’une lentille est donné par la relation suivant

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \qquad \mathit{Grandissement\ de\ la\ lentille}$$



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



$$\rightarrow \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OI}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{F'A'}}{-f'}$$

On regroupe et on élimine ce qui nous dérange :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{F'A'}}{-f'} = \frac{\overline{F'O} + \overline{OA'}}{-f'} = \frac{-f' + \overline{OA'}}{-f'} = \quad 1 - \frac{\overline{OA'}}{f'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

On passe de l’autre coté : $\overline{OA'}\left(\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}\right) = 1$

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

Les valeurs algébriques des « distances » lentille-objet et lentille-image sont reliées à la distance focale par la relation de conjugaison :

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

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

V/ APPLICATION A LA LOUPE

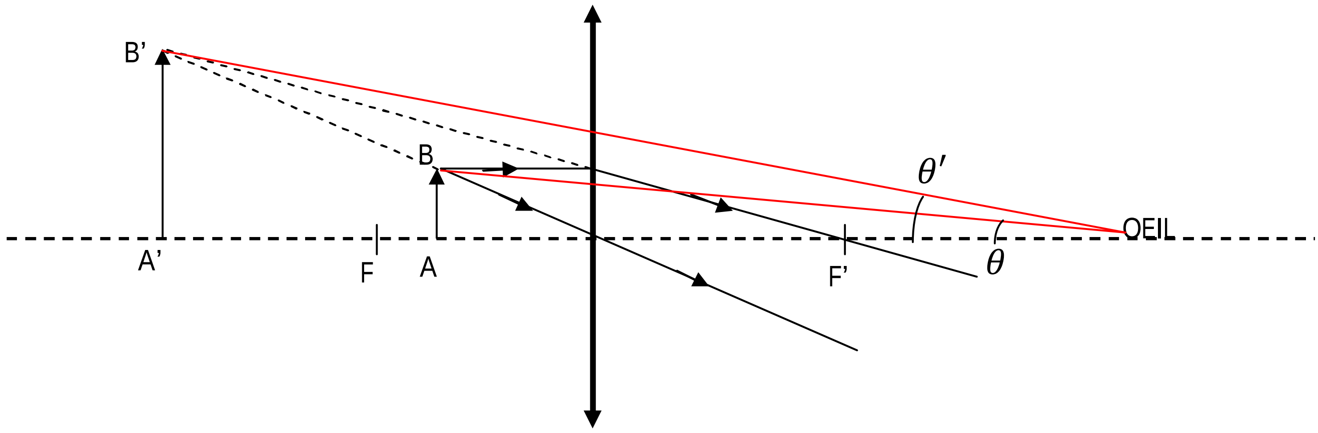
V.1/. Définition et intérêt

Pour observer les détails d'un objet à l'œil nu, il faut placer l'objet le plus près possible de l'œil. L'œil doit alors accommoder au maximum, entraînant une certaine fatigue.

L'utilisation d'une loupe augmente le pouvoir séparateur de l'œil tout en permettant à l'œil, éventuellement, d'observer sans accommoder.

La loupe n'est rien d'autre qu'une lentille convergente que l'on place proche de l'objet entre O et F, de manière à former une image virtuelle droite agrandie, qui est plus éloignée de l'œil que l'objet initial. Cette image est un objet pour l'œil.

V.2/ Image d'un objet et performances d'une loupe



Grossissement

Par définition, le grossissement G est le rapport entre l'angle θ' sous lequel est vu par l'œil l'image A'B' formée par la loupe, et l'angle θ sous lequel est vu l'objet AB sans la loupe :

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

Les angles sont comptés de l'axe optique vers le rayon lumineux considéré, et orientés selon le sens trigo.

Un grossissement négatif signifie que l'objet vu par l'œil à travers un système optique (ici la loupe) est inversé par rapport à une vision à l'œil nu.

Puissance

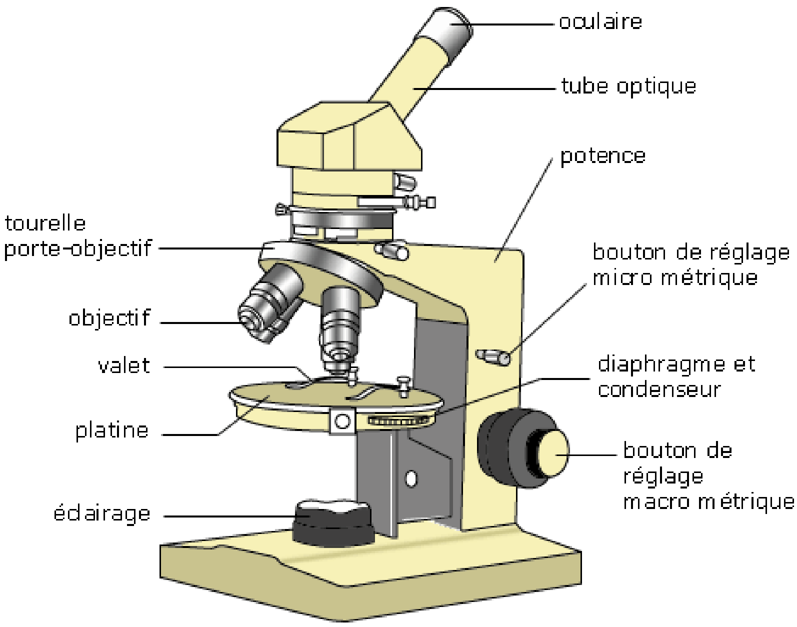
Par définition, la puissance P est le rapport entre l'angle θ' sous lequel est vu l'image A'B' par l'œil à travers la loupe et la taille de l'objet AB :

$$P = \left|\frac{\theta'}{AB}\right|$$

V/ APPLICATION AU MICROSCOPE OPTIQUE

V.1/ DESCRIPTON

Un microscope est un instrument d'optique dont le but est de grossir les détails d'objets de « très petites dimensions » (de l'ordre de grandeur d'une cellule vivante par exemple).



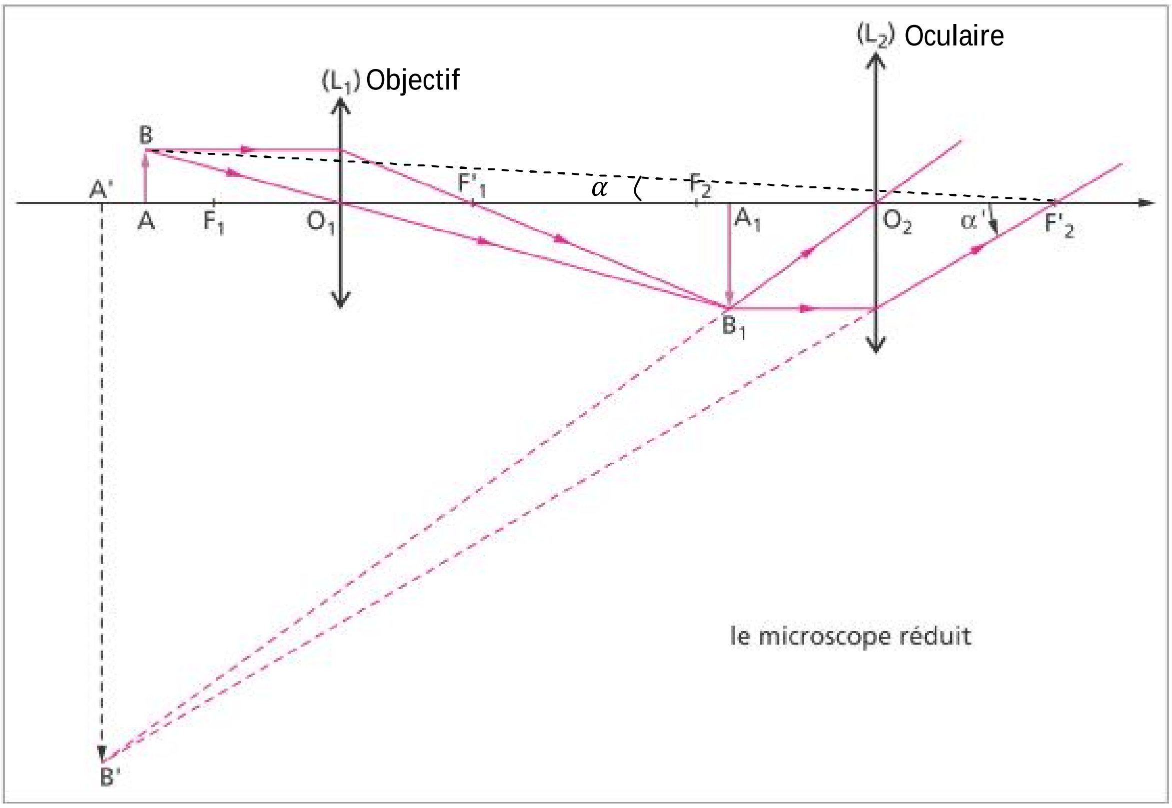
V.2/ MODELISATION

Un microscope peut être modélisé par l'association de deux lentilles convergentes de même axe optique :

- la lentille avant, appelée objectif, donne d'un objet une image intermédiaire réelle, renversée et agrandie.
- la lentille arrière, appelée oculaire, joue le rôle de loupe : l'oculaire sert à observer une l'image intermédiaire grossie.

La distance focale de l'objectif du microscope est nettement plus courte que celle de son oculaire.

V.3/ CONSTRUCTION D'IMAGE ET GROSSISSEMENT



A_1B_1 est l'image formée par l'objectif qui devient l'objet de l'oculaire.

A'B' est l'image de A_1B_1 formée par l'oculaire et finalement A'B' est l'image de AB formée par le microscope (ensemble objectif-oculaire).

Le **grossissement G** du microscope est le rapport entre l'angle α sous lequel l'œil nu voit l'objet et l'angle α' sous lequel l'objet est vu à travers le microscope.

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

Si α_1 est l'angle sous lequel l'œil nu voit A_1B_1 on peut écrire :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha_1}\frac{\alpha_1}{\alpha} = G_1G_2$$

$G_1 = \frac{\alpha'}{\alpha_1}$ $grossisement\ de\ l'objectif$

$G_2 = \frac{\alpha_1}{\alpha}$ grossissement de l'oculaire