

# OPTIQUE 4 :

## Notions sur les instruments d'optique

École Centrale Pékin

Année 3

### Table des matières

0.1	L'œil réel et l'œil réduit . . . . .	2
0.2	Observer des objets nets . . . . .	3
0.3	Voir des objets en fonction de leur taille angulaire . . . . .	4
0.4	Défauts de l'œil et correction . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Généralités sur les instruments d'optique subjectifs associés à l'œil</b>	<b>7</b>
2.1	Schéma de fonctionnement d'un appareil subjectif . . . . .	7
2.2	Puissance et grossissement d'un instrument d'optique subjectif . . . . .	8
2.3	Conditions nominales, puissance intrinsèque et grossissement commercial de l'instrument . . . . .	8
2.4	Latitude de mise au point et profondeur de champ de l'instrument subjectif . . . . .	8
2.5	Limite de résolution de l'instrument subjectif . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Étude d'une loupe</b>	<b>9</b>
3.1	Définition et construction fondamentale . . . . .	9
3.2	Latitude de mise au point, profondeur de champ, puissance, grossissement . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Étude d'un oculaire</b>	<b>11</b>
4.1	Définition d'un oculaire et avantages par rapport à la loupe . . . . .	11
4.2	Oculaire doublet micrométrique . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Étude d'une lunette astronomique</b>	<b>11</b>
5.1	Constitution d'une lunette astronomique . . . . .	12
5.2	Caractéristique de la lunette astronomique . . . . .	12

Un instrument d'optique est un instrument formant une image d'un objet : c'est l'association de plusieurs systèmes optiques (par exemple objectif et oculaire). Dans ce chapitre, nous étudierons des instruments d'optique constitués de lentilles minces. Tous ce que nous avons étudié aux chapitres précédents nous permettent de comprendre le fonctionnement et réaliser des instruments d'optique tels que l'œil, la loupe, les oculaires, ou encore lunettes astronomiques.

## 0.1 L'œil réel et l'œil réduit

L'œil humain est constitué de nombreux éléments comme illustré sur la figure 1 où les principaux constituants ont été nommé : c'est l'œil réel.

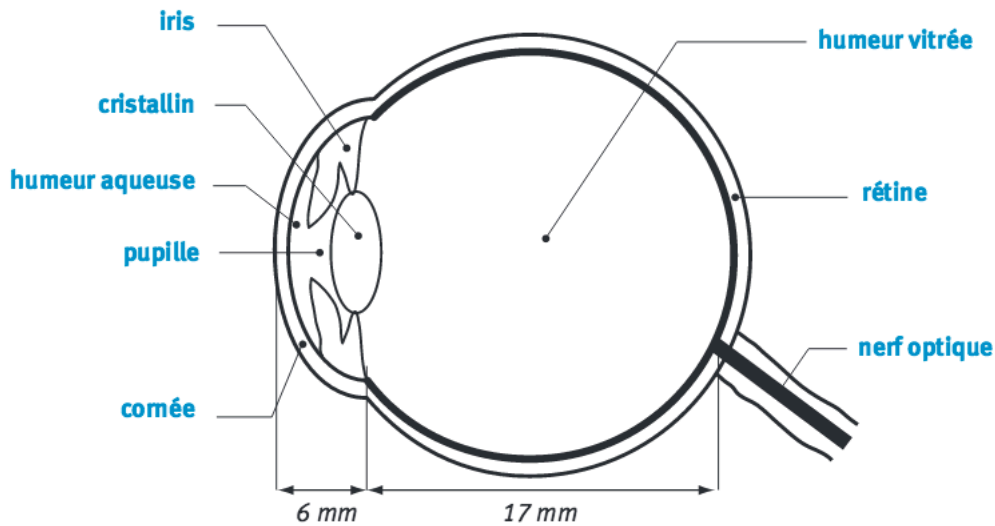


FIGURE 1 – Schéma de l'œil réel

Du point de vue optique, on peut schématiser l'œil par un modèle simple avec seulement trois élément : c'est l'œil réduit

- l'**iris** réglable qui permet de faire varier la taille du faisceau lumineux entrant dans l'œil (et donc la quantité de lumière incidente). L'ouverture correspondante est appelée la **pupille** :
  - en lumière faible l'iris se dilate, la pupille s'ouvre, on fait entrer beaucoup de lumière;
  - en lumière forte l'iris se contracte, la pupille se ferme, on fait entrer peu de lumière.

On dit que l'iris diaphragme la pupille.

- le **cristallin** en forme de lentille biconvexe qui permet de faire converger les rayons lumineux sur le fond de l'œil. La courbure du cristallin est réglable : lorsque les muscles de l'œil appuient sur les bords du cristallin, sa courbure augmente et il devient plus convergent.
- la **rétine** au fond de l'œil où se forme l'image par le cristallin. C'est un capteur constitué de cellules photosensibles, les cônes et les bâtonnets pour percevoir l'image nette et en couleur. La rétine est reliée au cerveau qui interprète les images par le **nerf optique**.

Chacun de ces éléments de l'œil réduit peut être modélisé par des composants optiques simples comme indiqué sur la figure 2 :

- iris  $\equiv$  **diaphragme réglable**
- cristallin  $\equiv$  **lentille convergente**
- rétine  $\equiv$  **écran plan** (on néglige la courbure de la rétine)

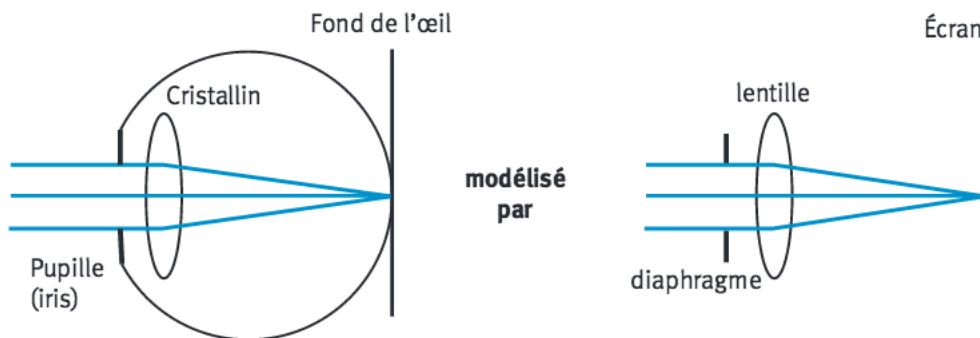


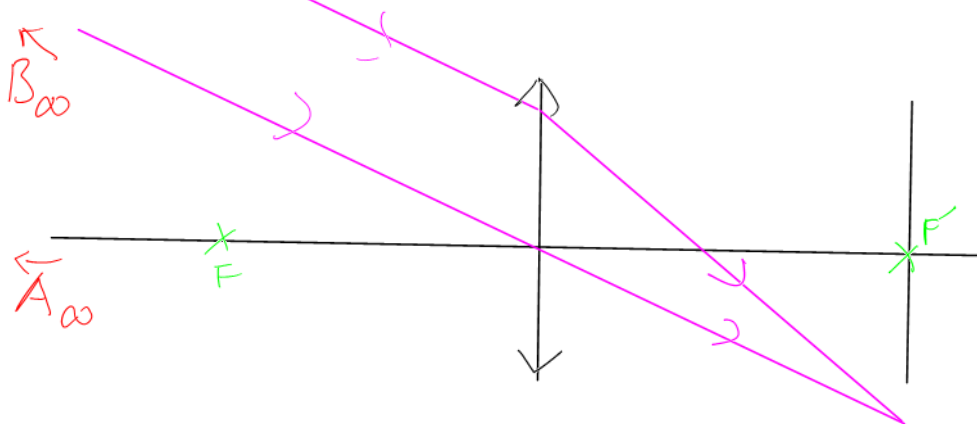
FIGURE 2 – Modèle de l'œil réduit

## 0.2 Observer des objets nets

Lorsque l'on observe un objet, l'image est nette si elle se forme sur la rétine au fond de l'œil de l'observateur (là où les rayons convergent après passage du cristallin). Sinon, elle est floue.

### 0.2.1 Observation à l'infini

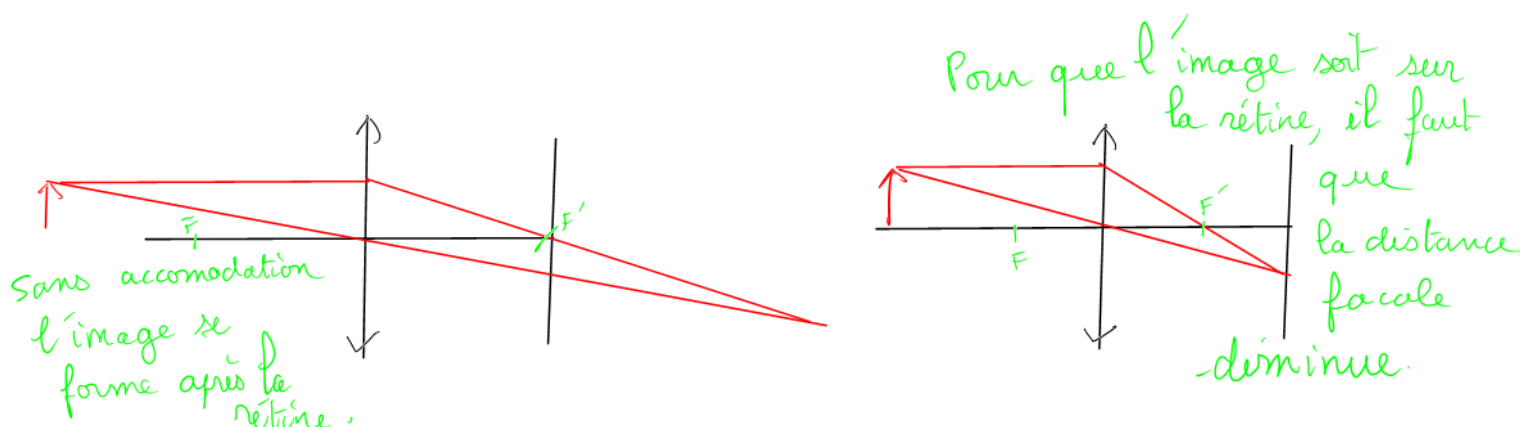
Lors de l'observation d'un objet à l'infini, l'œil normal (sans défaut de vision) forme une image nette sur la rétine. L'œil est alors considéré comme un système optique centré qui conjugue le plan à l'infini avec la rétine : la distance entre le cristallin et la rétine est la distance focale de la lentille (cristallin). Dans ce cas, on dit que l'œil est **au repos** : les muscles de l'œil n'appuient pas sur le cristallin et celui-ci est peu courbé. On dit que l'œil **n'accommode pas** et ne se fatigue pas.



L'image d'un objet à l'infini est dans le plan focal image. Donc  $F'$  est sur la rétine

### 0.2.2 Observation à une distance finie

Lors de l'observation d'un objet à une distance finie, l'image se forme naturellement derrière la rétine et est donc floue. Pour éviter cela, les muscles de l'œil se contractent et augmentent la courbure du cristallin qui devient **plus convergent** : sa **distance focale diminue** permettant à l'image de se former sur la rétine. On parle d'**accommodation**.



Plus l'objet est proche, plus l'œil doit accommoder pour voir une image nette. Cette accommodation présente une limite : pour un objet trop proche, l'œil ne peut plus accommoder et l'image est floue. Cette limite est appelée le **Ponctum Proximum** noté  $PP$  : c'est la distance minimale entre l'œil et l'objet pour voir une image nette. Le  $PP$  se situe typiquement à environ 25 cm de l'œil pour un adulte.

À l'inverse, le point le plus loin que l'on peut voir nettement est appelé de **Ponctum Remotum** noté  $PR$ . Pour un œil normal, le  $PR$  se situe à l'infini.

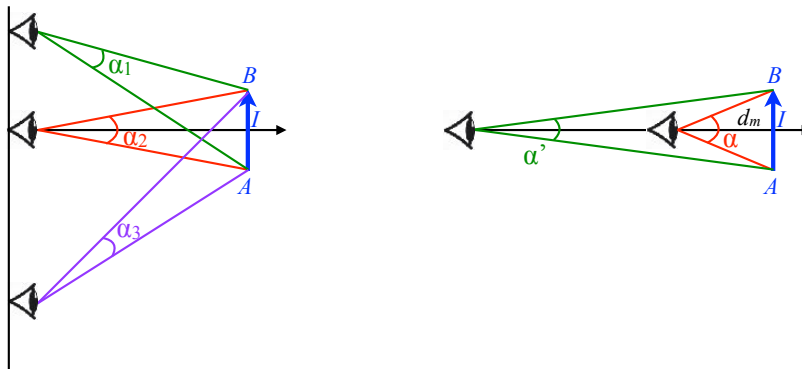
Les points vus nettement par l'œil sont ainsi situés entre le  $PP$  et le  $PR$  : c'est la **plage d'accommodation** ou la **latitude de mise au point** de l'œil. La taille de cette plage définit la **profondeur de champ**. Pour un œil normal, elle est infinie.

### 0.3 Voir des objets en fonction de leur taille angulaire

#### 0.3.1 Caractère angulaire de l'œil et puissance oculaire

En plus de voir nettement une image, il faut pouvoir en distinguer les détails. L'œil est sensible à la taille angulaire des objets : quand on dit populairement "bien voir", on pense à "voir sous un grand angle".

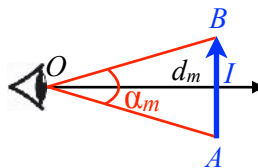
En effet, quand on observe un objet  $AB$ , le plus grand angle sous lequel l'œil voit  $AB$  est obtenu pour un œil sur l'axe de symétrie de  $AB$  à la distance  $d_m$  du milieu  $I$  de  $AB$ . Si on s'écarte de l'axe, l'angle sous lequel on voit  $AB$  diminue, comme le montre le schéma de gauche. Si on reste sur l'axe en s'éloignant du point  $I$ , l'angle sous lequel on voit  $AB$  diminue, comme le montre le schéma de droite.



**Définition :** L'angle maximum sous lequel on peut voir un objet  $AB$  est l'angle  $\alpha_m$  tel que

$$\alpha_m = \frac{AB}{d_m}$$

dans les conditions de Gauss avec  $d_m = OI$  la distance entre l'œil et le  $PP$



**Définition :** La **puissance de l'œil**  $P$  regardant un objet  $AB$  sous l'angle  $\alpha$  est le rapport :

$$P = \left| \frac{\alpha}{AB} \right|$$

Dans les conditions de Gauss, la puissance maximale de l'œil  $P_m$  correspond à la vision de l'œil sur l'axe à la distance  $d_m$  de  $AB$  :

$$P_m = \left| \frac{\alpha_m}{AB} \right| = \frac{1}{d_m}$$

### 0.3.2 Limite de résolution et pouvoir séparateur de l'œil

Soient deux points lumineux  $A$  et  $B$  séparés par la distance  $L$ . On les examine au mieux à l'œil nu : l'œil est donc sur la médiatrice de  $AB$ , à la distance  $d_m$  du milieu  $I$  de  $AB$  :

- si  $L$  est suffisamment grand, l'œil voit en détail les deux points
- si on rapproche symétriquement  $A$  de  $B$ ,  $L$  diminue : il arrivera un moment où l'œil ne fera plus le détail et verra un seul point  $A \equiv B$ .

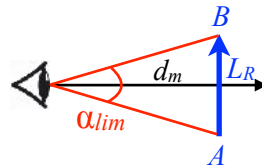
**Définition :** Lorsque l'on ne peut plus distinguer deux points  $A$  et  $B$  séparés d'une distance  $L$ , la distance  $L$  atteint la **limite de résolution**  $L_R$ . On dit qu'on ne plus **résoudre** les deux points.

La limite de résolution dépend beaucoup des individus : son ordre de grandeur est de quelques dixième de millimètre en général.

**Définition :** L'angle limite  $\alpha_{lim}$  correspondant à une distance  $L_R$  entre deux points à une distance  $d_m$  définit le **pouvoir séparateur angulaire** de l'œil  $P_{SA}$  :

$$P_{SA} = \alpha_{lim} = \frac{L_R}{d_m}$$

dans les conditions de Gauss.



En ordre de grandeur, avec  $L_R$  égal à quelques dixièmes de mm et  $d_m$  égal à 10 cm par exemple, le pouvoir séparateur angulaire  $P_{SA}$  est égal à quelques millièmes de radian, c'est-à-dire quelques minutes d'angle, puisque  $1' = 3 \times 10^{-4}$  rad.

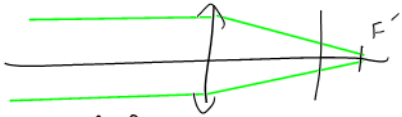
On constate expérimentalement que la limite de résolution de deux points proches correspond au fait que les deux points  $A$  et  $B$  ont sur la rétine des images localisées sur deux cellules voisines. Si les images des deux points impressionnent la même cellule visuelle, l'œil ne fait pas la différence.

## 0.4 Défauts de l'œil et correction

Par opposition à l'œil normal étudié précédemment, l'œil peut avoir des défauts, modifiant ses caractéristiques et perturbant la vision nette d'images. Nous étudierons ici les principaux défauts de l'œil humain et comment les corriger pour assurer une vision nette.

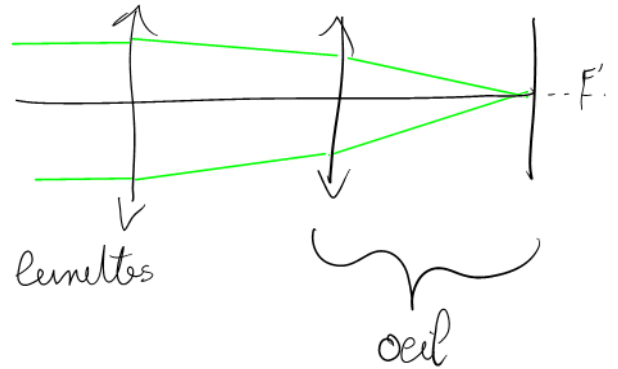
### 0.4.1 Hypermétropie

Un premier défaut courant de la vision est l'**hypermétropie**. Un œil hypermétrope est moins profond qu'un œil normal : au repos le foyer image est alors après la rétine ce qui signifie que le cristallin n'est pas assez convergent pour former une image nette. Ainsi, il faut accommoder pour voir nettement un objet à l'infini et le  $PR$  reste donc à l'infini : l'œil voit nettement à l'infini mais se fatigue. Pour un objet proche, cela implique que l'accommodation maximale donne un objet net plus loin que pour l'œil normal : le  $PP$  est plus éloigné.



œil hypermétrope au repos.  
 La distance focale est trop grande.  
 ↳ Il faut accommoder en permanence

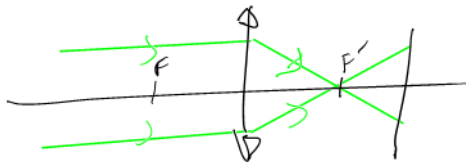
Correction à l'aide de lunettes convergentes.



### 0.4.2 Myopie

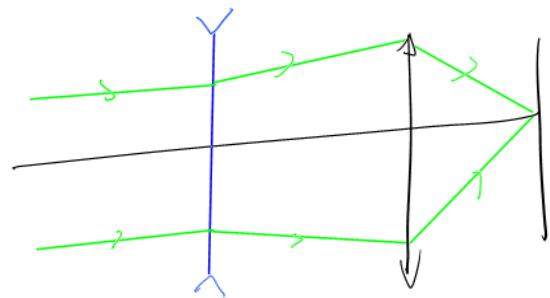
À l'inverse de l'hypermétropie, la **myopie** concerne un œil plus profond que la normale : au repos le foyer image est alors avant la rétine, cela signifie que le cristallin est trop convergent pour former une image nette. Il n'est alors pas possible de voir nettement un objet à l'infini : le  $PR$  n'est plus à l'infini. En revanche, le  $PP$  d'un œil myope est plus près celui de l'œil normal : un objet proche sera vu nettement.

Au repos l'image est trop proche



La vision de loin est impossible. De près il est plus facile d'accommoder

Correction à l'aide de lentilles divergentes.



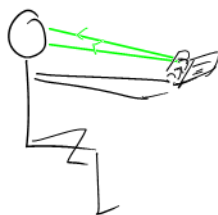
### 0.4.3 Presbytie

La myopie et l'hypermétropie sont des défauts liés à la forme de l'œil. En revanche, la **presbytie** est un défaut lié à l'âge. Les muscles d'un œil presbyte appuient moins sur le cristallin et celui-ci est plus rigide : l'œil perd peu à peu sa capacité à s'accommoder et sa zone d'accommodation est alors réduite. Les objets proches nécessitant le plus d'accommodation sont perçus flous : le  $PP$  recule au fur et à mesure de l'âge.

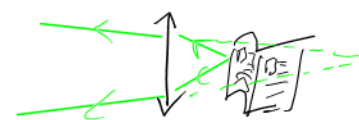
*L'accommodation est impossible. Il faut compenser avec des lentilles convergentes.*



*Personne non presbyte lisant.*



*Personne presbyte lisant. L'objet étant plus loin les rayons sont moins divergents.*



*Des lunettes convergentes permettent de simuler un objet loin.*

## 2 Généralités sur les instruments d'optique subjectifs associés à l'œil

### 2.1 Schéma de fonctionnement d'un appareil subjectif

On considère un objet  $AB$  à examiner. On peut le regarder à l'œil nu, dans les meilleures conditions comme vues précédemment et on définit l'angle maximum  $\alpha_m$  sous lequel on peut voir l'objet. Mais on peut aussi utiliser un instrument d'optique qu'on associe à l'œil : loupe, jumelles, microscope, lunette astronomique etc...

Le **schéma** de fonctionnement est alors le suivant :

$$AB \xrightarrow{\text{instrument}} A'B' \xrightarrow{\text{œil}} A''B''$$

On peut alors énoncer la règle fondamentale :

**Théorème - Observation à travers un instrument d'optique :** Regarder un objet  $AB$  à l'œil équipé d'un instrument d'optique est équivalent à regarder à l'œil nu  $A'B'$ , image de  $AB$  à travers l'instrument d'optique

**Définition :** La **taille angulaire de l'objet  $AB$  observé à travers un instrument d'optique** est la taille angulaire de l'image  $A'B'$  regardé à l'œil nu depuis  $O$  à une distance  $OA'$  :

$$\alpha' = \frac{A'B'}{OA'} \quad \text{dans les conditions de Gauss}$$

## 2.2 Puissance et grossissement d'un instrument d'optique subjectif

L'œil examine  $AB$  avec l'instrument d'optique : il est sensible en fait à la taille angulaire  $\alpha'$ . De la même façon que l'on a défini des grandeurs pour caractériser la vision de l'image par l'œil, on peut définir les mêmes grandeurs pour le système {œil + instrument}

**Définition :** La **puissance de l'instrument d'optique** associé à l'œil placé en  $O$  est :

$$P = \left| \frac{\alpha'}{AB} \right| \quad \text{en dioptrie } \delta$$

Cette puissance dépend de la position  $O$  de l'œil. Toutes choses égales par ailleurs, si on éloigne l'œil de  $A'B'$ , la puissance diminue.

**Définition :** Le **grossissement de l'instrument** associé à l'œil placé en  $O$  est défini comme :

$$G(O) = \left| \frac{\alpha'}{\alpha_m} \right| \quad (\text{sans dimension})$$

Cela correspond bien au rapport de la taille angulaire de l'objet vu avec instrument  $\alpha'$  et de la taille angulaire vue sans à l'œil nu sans instrument  $\alpha_m$ . Ce grossissement dépend de la position  $O$  de l'œil. Si on éloigne l'œil de  $A'B'$ , le grossissement diminue.

## 2.3 Conditions nominales, puissance intrinsèque et grossissement commercial de l'instrument

L'œil normal ne se fatigue pas s'il regarde à l'infini (il est au repos). Il est donc intéressant d'envoyer l'image  $A'B'$  à l'infini.

**Définition :** On appelle **conditions nominales** les conditions d'utilisation de l'instrument d'optique telles que  $A'B'$  soit à l'infini.

C'est une situation très intéressante pour une autre raison : l'objet pour l'œil nu  $A'B'$  étant à l'infini, sa taille angulaire  $\alpha'$  ne dépend pas de la position de l'œil  $O$ . Ainsi, dans les conditions nominales, la **puissance de l'instrument** et le **grossissement de l'instrument** ne dépendent plus de la position de l'œil. On dit qu'ils sont **intrinsèques**. Pour le grossissement, on parle alors de **grossissement commercial**.

## 2.4 Latitude de mise au point et profondeur de champ de l'instrument subjectif

Nous avons vu que l'œil nu regardait  $A'B'$  image de  $AB$  par l'instrument d'optique. Pour voir nettement, il faut que  $A'B'$  soit situé entre le  $PP$  et le  $PR$  de l'œil :  $AB$  doit donc être situé entre  $A_{PP}$  et  $A_{PR}$  les antécédents du  $PP$  et du  $PR$  par l'instrument d'optique.

**Définition :** La plage entre les antécédents  $A_{PP}$  et  $A_{PR}$  définit la **latitude de mise au point de l'instrument d'optique**. La taille de cette plage définit la **profondeur de champ de l'instrument**.



## 2.5 Limite de résolution de l'instrument subjectif

La limite de résolution de l'œil nu correspond au cas limite où  $A'_{lim}$  et  $B'_{lim}$  sont séparés par la distance  $L_R$ , l'œil étant placé à la distance  $d_m$  de  $A'_{lim}B'_{lim}$ .

**Définition :** On définit la **limite de résolution théorique de l'instrument subjectif**  $L_{R th}$  par

$$L_{R th} = \frac{L_R}{|\gamma|}$$

où  $\gamma$  est le grandissement linéaire pour le couple formé par  $A'_{lim}B'_{lim}$  et son antécédent  $A_{lim}B_{lim}$  par l'instrument d'optique.

Si  $|\gamma|$  est supérieur à 1, la limite de résolution est améliorée par l'instrument. On peut voir des détails de l'objet plus petits.

En réalité, l'étude est un peu plus compliquée que cela. En effet le phénomène de diffraction fait que l'image des points  $A$  et  $B$  par l'instrument d'optique n'est pas strictement un point, mais plutôt une tache un peu élargie. Cela entraîne une augmentation de la limite de résolution théorique. La **limite de résolution pratique** est plus grande que la limite théorique. Pour quantifier la limite de résolution pratique, il faudra étudier précisément le phénomène de diffraction.

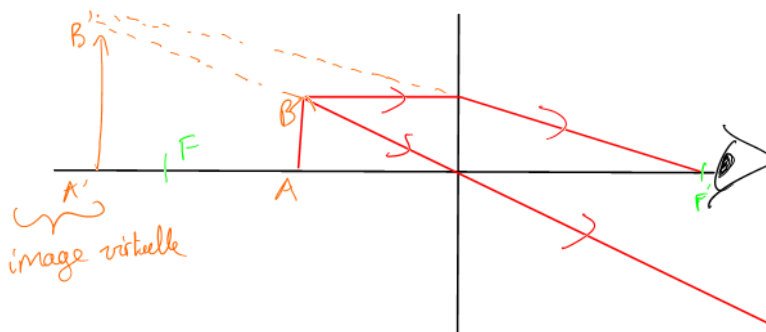
## 3 Étude d'une loupe

### 3.1 Définition et construction fondamentale

**Définition :** Une **loupe** est une lentille mince convergente dont la focale dans l'air est typiquement de quelques centimètres (dont la vergence est par conséquent de quelques dizaines de dioptries). On l'utilise associée à l'œil pour regarder un **objet réel placé entre le centre optique de la loupe et son foyer principal objet**



La construction fondamentale de l'image d'un objet à travers une loupe est illustrée ci-dessous.



On obtient alors une **image virtuelle, droite, agrandie linéairement**. La pupille de l'œil limitée par l'iris définit alors le faisceau lumineux issu de  $B$  entrant dans l'œil.

### 3.2 Latitude de mise au point, profondeur de champ, puissance, grossissement

Considérons une loupe dans l'air de vergence  $V = 20 \delta$  soit une distance focale image  $f' = 5 \text{ cm}$ . On suppose l'œil normal placé au foyer image  $F'$  de la loupe et que les conditions sont nominales.

#### 3.2.1 Latitude de mise au point et profondeur de champ

- **Image du  $PR$  par la loupe :**

Le  $PR$  de l'œil normal est situé à l'infini. L'antécédent du  $PR$  par la loupe est donc le foyer principal objet  $F$ .

- **Image du  $PP$  par la loupe :**

Le  $PP$  de l'œil normal est situé à la distance  $d_m = 25 \text{ cm}$  devant l'œil. Avec la formule de conjugaison de Newton, nous calculons la position de l'antécédent du  $PP$ , soit  $A_{PP}$  :

$$\overline{F'PP} \cdot \overline{FA_{PP}} = ff' \quad \text{soit} \quad \overline{FA_{PP}} = \frac{ff'}{\overline{F'PP}} = \frac{f'^2}{d_m} = 1 \text{ cm}$$

- **Profondeur de champ :**

La profondeur de champ est mesurée par la distance entre  $A_{PR}$  et  $A_{PP}$ , soit la distance  $\overline{FA_{PP}} = 1 \text{ cm}$

#### 3.2.2 Puissance intrinsèque et grossissement commercial

- **Puissance intrinsèque :** Les conditions sont nominales, donc  $A'B'$  est à l'infini, donc  $A$  coïncide avec  $F$ . Quelque soit l'endroit où on place l'œil, on voit  $A'B'$  sous l'angle  $\alpha'$  :

$$\alpha' = \tan \alpha' = \frac{\overline{AB}}{\overline{FC}} = \frac{\overline{AB}}{f'}$$

de sorte que la puissance intrinsèque  $P_i$  vaut

$$P_i = \left| \frac{\alpha'}{\overline{AB}} \right| = |V| = \frac{1}{|f'|} = 20 \delta$$

- **Grossissement commercial :** Le grossissement commercial  $G_c$  vaut alors :

$$G_c = \left| \frac{\alpha'}{\alpha_m} \right| = \left| \frac{\alpha'}{\overline{AB}} \right| d_m = P_i d_m = 5$$

La loupe grossit commercialement 5 fois.

## 4 Étude d'un oculaire

### 4.1 Définition d'un oculaire et avantages par rapport à la loupe

**Définition :** Un **oculaire** est le dernier élément des instruments d'optique subjectifs contre lequel on place l'œil. Il permet de former une image intermédiaire virtuelle agrandie regardable par l'œil (comme une loupe) à partir de l'image formé par l'objectif de l'instrument. Il peut être constitué d'une ou plusieurs lentilles (souvent deux lentilles minces centrées).

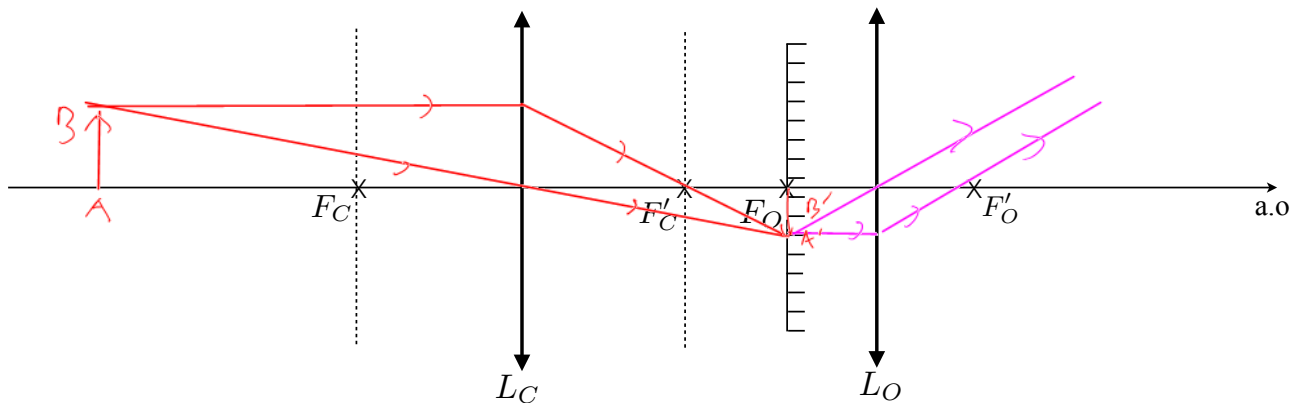


Les avantages de l'oculaire par rapport à la loupe simple sont les suivants :

- il est mieux corrigé de ses écarts aux conditions de Gauss qui déforment les images : on dit qu'il y a moins d'aberrations géométriques (moins de distorsion qui tordent les images).
- il est mieux corrigé des variations d'indice de ses verres avec la longueur d'onde : on dit qu'il y a moins d'aberrations chromatiques qui colorent les images différemment des objets.
- on peut voir à travers l'oculaire une région de l'espace de taille plus grande que celle de la région vue avec une loupe de même puissance : on dit que le champ d'observation est plus grand.

### 4.2 Oculaire doublet micrométrique

L'oculaire doublet est formé de deux lentilles minces, la plus proche de l'œil est la lentille d'œil  $L_O$ , la plus éloignée de l'œil, la lentille de champ  $L_C$ . Par construction, le foyer objet  $F_{OC}$  de l'oculaire a pour image par la lentille de champ  $L_C$  le foyer objet  $F_O$  de la lentille d'œil. Une règle finement graduée, qu'on appelle micromètre, est placée dans le plan focal objet  $\Pi(F_O)$  de la lentille d'œil. L'oculaire ainsi constitué est alors appelé un **oculaire micrométrique**.



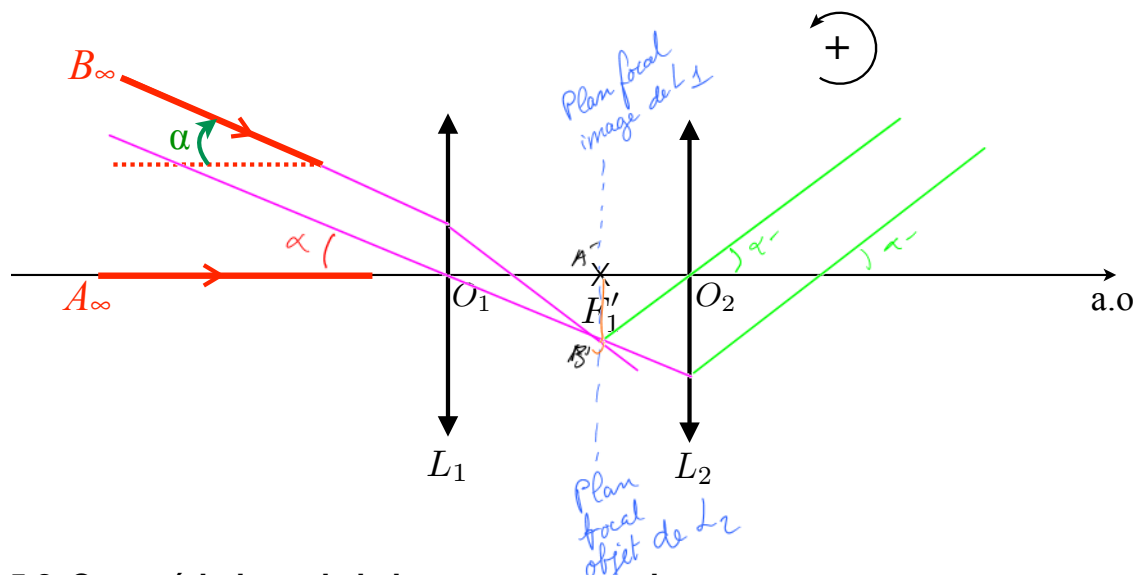
Le micromètre sera vu net sans fatigue d'accommodation par un œil normal en même temps que le plan focal objet de l'oculaire.

## 5 Étude d'une lunette astronomique

On souhaite observer un objet à l'infini, par exemple la Lune, de façon confortable, c'est-à-dire que l'on souhaite former une image à l'infini d'un objet à l'infini. Pour cela, on utilise une **lunette astronomique** qui sera étudiée en détail en TP. On ne donnera ici que les informations principales.

### 5.1 Constitution d'une lunette astronomique

Un système optique qui conjugue un plan objet à l'infini avec un plan image à l'infini est dit **afocal**. On a vu qu'un objet à l'infini a une image au plan focal image d'une lentille mince. On ne peut donc pas réaliser une lunette astronomique avec une seule lentille, **il faut au moins utiliser deux lentilles formant un doublet afocal**. Nous allons étudier le cas simple d'une lunette constituée de deux lentilles convergentes constituant l'**objectif**  $L_1$  et l'**oculaire**  $L_2$ .



### 5.2 Caractéristique de la lunette astronomique

• **Grossissement** : L'objet à l'infini est observé sous l'angle  $\alpha$  sans la lunette et  $\alpha'$  à travers la lunette. On peut alors définir le grossissement  $G$  de la lunette dans les conditions de Gauss :

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

avec  $f'_1$  et  $f'_2$  respectivement les distances focales images des lentilles  $L_1$  et  $L_2$ .

Démonstration. □

En prenant les angles opposés.

$$\alpha = \frac{\overline{A'B'}}{O_1F'_1} = \frac{\overline{A'B'}}{f'_1}$$

$$\alpha' = \frac{\overline{A'B'}}{O_2F'_2} = \frac{\overline{A'B'}}{f'_2}$$

donc

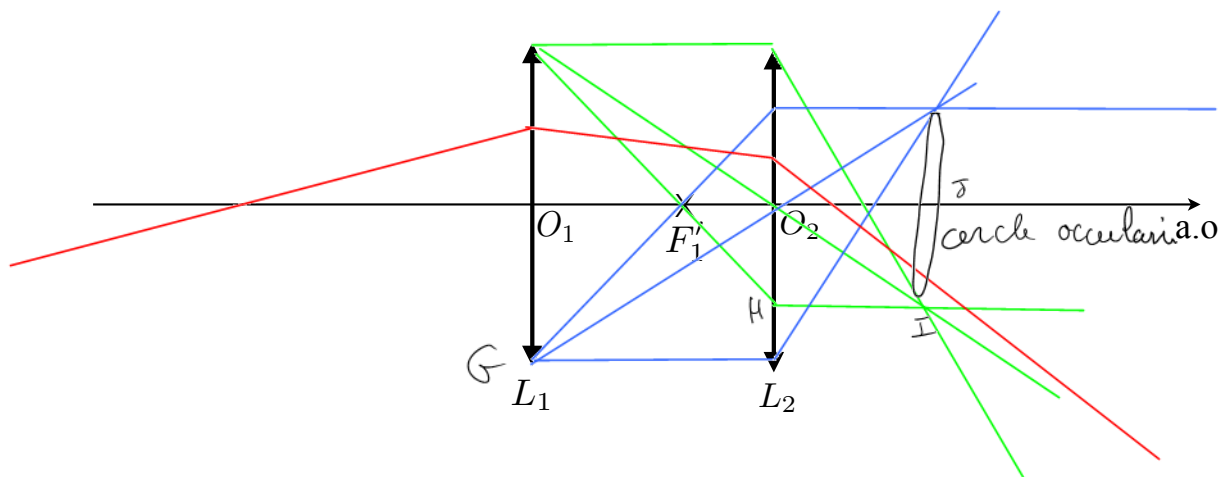
$$G = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

Pour avoir un grossissement le plus grand possible, il faut que la distance focale de l'objectif soit plus grande que celle de l'oculaire. Ce grossissement est négatif (les angles  $\alpha$  et  $\alpha'$  sont orientés dans des sens différents) : l'image est donc renversée.

- **Cercle oculaire** : La quantité de lumière incidente est limitée par la taille de l'objectif.

**Définition** : Le **cercle oculaire** est l'image du contour de l'objectif  $L_1$  par l'ensemble. C'est le lieu de convergence de tous les rayons passant à travers l'objectif. C'est également l'endroit où le faisceau émergent de l'oculaire possède une section minimale.

Ainsi, le cercle oculaire est l'endroit où le champ d'observation de l'image est maximum : c'est la meilleure position pour placer l'œil de l'observateur. Pour la lunette astronomique, le cercle oculaire se situe quasiment dans le plan focal image de l'oculaire.



Le diamètre  $d$  du cercle oculaire dépend du diamètre  $D$  de l'objectif et du grossissement  $G$  :

$$d = \frac{D}{|G|}$$

*Démonstration.*

On prend les notations des points de la figure précédente. □

$JI = O_2H = \frac{d}{2}$   
 On en appliquant le théorème de Thalès aux triangles semblables.  
 $\Delta O_1F_1'G$  et  $\Delta O_2F_1'H$

$$\frac{O_2H}{O_1G} = \frac{F_1'O_2}{F_1'O_1} = \frac{f_2'}{f_1'} = \frac{1}{|G|}$$

$$\text{Or } O_1G = D/2$$

$$\text{Donc } d = \frac{D}{|G|}$$