

I- Matériel disponible.

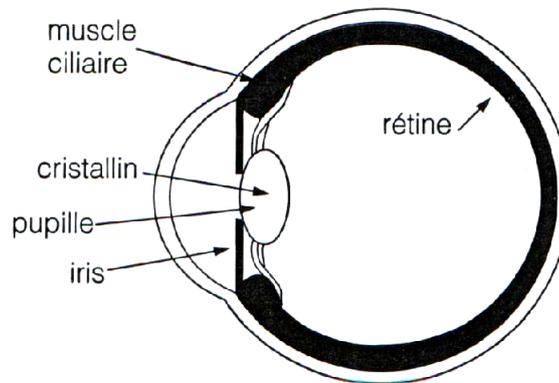
- Un banc d'optique avec accessoires : Une lanterne avec la lettre « F », deux supports pour lentille, un porte écran, un miroir plan, un écran.
- Lentilles minces marquées : $\left\{ \begin{array}{l} +250, +200, +100, -200 \\ \text{ou} \\ +300, +100, +100, -200 \end{array} \right.$
- Transparent, translucide uni, jeu de diaphragme, œil réduit.

II- L'œil..

1)- Description et schéma..

- L'œil peut être assimilé à une sphère, de 2,3 cm de diamètre, limitée par une membrane très résistante et sombre : la sclérotique.

- Schéma :



- Comme dans le cas des instruments d'optique, on retrouve :

- Un ensemble optique assurant la formation des images. Les rayons lumineux traversent une succession de milieux transparents d'indices de réfraction différents : la cornée ($n = 1,376$), l'humeur aqueuse ($n = 1,337$), le cristallin ($n = 1,437$: il a la forme d'une lentille biconvexe), l'humeur vitrée ($n = 1,337$).
- La pupille, ouverture circulaire (dont le diamètre varie de 2mm à 8 mm), joue le rôle de diaphragme. Elle règle le flux lumineux.
- La rétine, membrane tapissée de cellules photosensibles (cônes et bâtonnets), joue le rôle de récepteur de lumière.

2)- Modèle de l'œil.

- En simplifiant, on peut résumer le mécanisme de vision de l'œil ainsi :
- La pupille joue le rôle de diaphragme
- L'ensemble{cristallin + cornée} peut être assimilé à une lentille convergente **L** à laquelle on appliquera les lois des lentilles minces.
- Quand on « accommode », la vergence de cette lentille augmente.
- Pour voir nettement, un objet, il faut que l'image se forme sur la rétine située 17 mm derrière la lentille **L**.
- Faire un schéma du dispositif expérimental permettant de modéliser l'œil. Indiquer les dimensions.
- Au cours de la séance de travaux pratiques, on modélise un œil normal au repos à l'aide d'un tube cylindrique, de longueur I_1 , aux extrémités duquel sont fixés une lentille convergente et un écran (verre dépoli ou papier translucide). Pour fabriquer l'œil modélisé normal, on place l'écran (la rétine) à 17 cm de la lentille.

II- Les fonctions de l'œil.

1)- L'œil normal au repos. Vision d'un objet éloigné.

- Un œil normal, quand il n'accommode pas, voit nettement un objet situé à l'infini. Un œil au repos met au point sur le PR « punctum remotum » : c'est le point le plus éloigné pour lequel la vision est nette ; son image se forme sur la rétine.
- Indiquer où doit se trouver le foyer image de l'œil lorsque ce dernier, au repos, vise à l'infini ? Faire un schéma.
- Déterminer la distance focale f_0 et la vergence C_0 de la lentille L dans ce cas.
- Quelle lentille faut-il choisir pour réaliser l'œil modélisé à l'échelle 10 ? Donner ses caractéristiques.
- Faire un schéma du dispositif.
- Réaliser l'expérience. Donner les caractéristiques de l'image observée.
- Décrire une expérience simple permettant de mettre en évidence la propriété de l'œil normal.

2)- L'accommodation.

- On rappelle que pour une vision nette, l'image doit se former sur la rétine.
- Pour lire son journal, situé à 25 cm du centre optique O , Monsieur X doit faire un effort d'accommodation. Son cristallin devient plus bombé.
- Calculer la vergence de la lentille L' lors de cet effort d'accommodation et la nouvelle distance focale.
- Expérience : on veut que l'œil modélisé donne une bonne image d'un objet vertical AB de 2cm de hauteur placé à 25 cm de la lentille.
- Faire un schéma du dispositif.
- Trouver la valeur de la vergence C' de la lentille à utiliser à la place de la précédente.

3)- Conclusions.

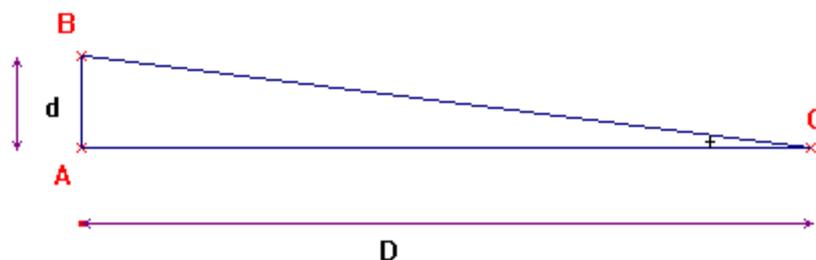
- La distance cristallin - rétine étant invariable, l'œil accommode pour observer des objets rapprochés.
- Un œil normal peut voir nettement des objets situés entre l'infini
- Le punctum remotum P.R.
- Et une distance minimale de vision distincte
- Le punctum proximum P.P.
- En accommodant de plus en plus.

4)- Le rôle de la pupille.

- Expérience :
- Placer un objet lumineux à 2 m de l'œil modélisé.
- Au départ, le diaphragme est largement ouvert, puis on diminue progressivement l'ouverture du diaphragme.
- Décrire dans chaque cas l'image observée.
- Décrire le rôle de la pupille.
- Interprétation : la pupille joue le rôle de diaphragme. Elle permet d'augmenter la netteté de l'image et de contrôler l'intensité lumineuse arrivant sur la rétine. Par forte luminosité, la pupille est presque fermée et dans l'obscurité, elle est largement ouverte.

5)- Pouvoir séparateur de l'œil.

- Observation d'une mire.
- Prendre la mire et l'éloigner. Noter la distance à partir de laquelle l'œil ne sépare plus 2 lignes noires successives.
- Faire un schéma légendé. Indiquer les différentes mesures. En déduire l'écart angulaire, ε en rad, entre les deux lignes.



- Définition : on appelle pouvoir séparateur de l'œil, l'angle limite sous lequel 2 points lumineux peuvent être séparés. Le pouvoir séparateur d'un œil normal est de l'ordre d'une minute d'angle soit $3,0 \times 10^{-4}$ rad.
- Remarque : la rétine a une structure granulaire. Elle est formée de cônes et de bâtonnets. Pour que la rétine puisse séparer les images de deux points lumineux, il faut que la lumière des deux images excite des cellules séparées par au moins une cellule non excitée (diamètre d'une cellule : $\Phi = 2,5 \mu\text{m}$).

III- Les défauts de l'œil.

1)- La myopie.

- Un œil myope voit flou les objets éloignés. Son P.R est seulement situé à quelques dizaines de centimètres de l'œil.
- Son P.P est situé très près de l'œil.
- Un œil myope est trop convergent.
- Faire le schéma d'un œil myope.
- Décrire le protocole permettant de simuler un œil myope à l'aide de l'œil modélisé.
- Préciser la valeur de la vergence et la distance focale de la lentille utilisée.
- Quelle lentille faut-il utiliser pour assurer la correction du défaut de myopie de cet œil modélisé (corriger la myopie revient à rejeter le P.R à l'infini) ? Préciser le type, la vergence et la distance focale.

2)- L'hypermétropie.

- Un œil hypermétrope ne peut voir un objet situé à l'infini sans accommoder. Un œil hypermétrope n'est pas assez convergent.
- Faire le schéma d'un œil hypermétrope.
- Décrire le protocole permettant de simuler un œil hypermétrope.
- Préciser la valeur de la vergence et la distance focale de la lentille utilisée. Comment corriger cet œil ? Préciser le type, la vergence et la distance focale de la lentille utilisée pour corriger cet œil.

3)- La presbytie.

- Elle se manifeste inéluctablement aux environs de 45 ans et continue à progresser jusqu'à 60 ans. C'est le résultat de la diminution progressive de l'élasticité du cristallin. L'œil presbyte n'est pas assez convergent pour voir nettement les objets proches.

4)- L'astigmatisme.

- C'est une anomalie due au fait que la convergence de l'œil n'est pas la même dans toutes les directions. La correction se fait par l'emploi de lentille comportant le plus souvent une surface torique.

IV- La Loupe.

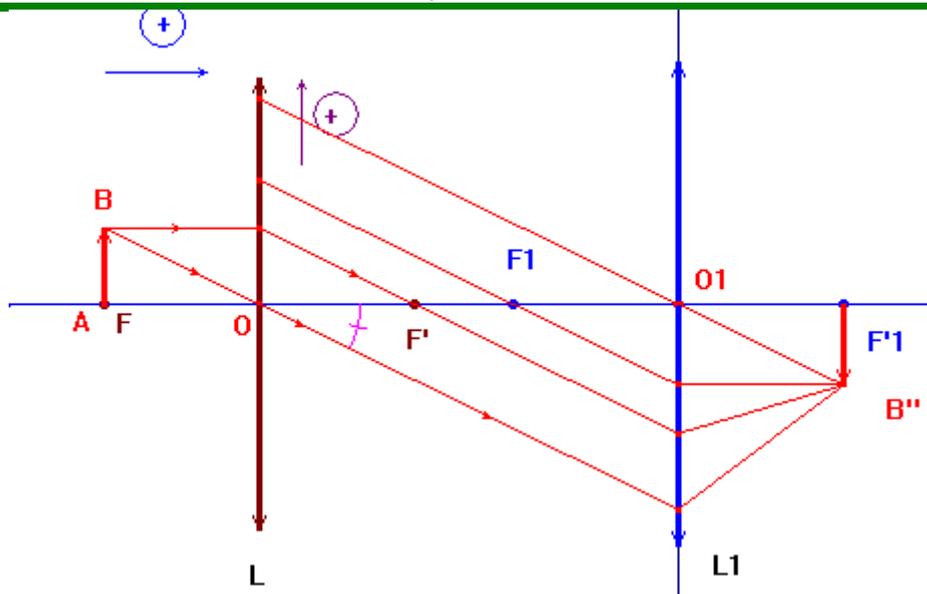
Elle constitue le plus simple des instruments de vision rapprochée. Elle se réduit, en général, à une lentille (épaisse) convergente de faible distance focale (quelques centimètres).

1)- Condition d'utilisation de la loupe.

- Choisir une lentille convergente de distance focale $f' = 5$ cm. En déduire sa vergence C .
- Comment doit-on utiliser la lentille pour que l'œil observe une image virtuelle droite agrandie ?

2)- Formation des images.

- Construire l'image d'un objet donnée par une loupe.
 - Image finale sur la rétine :
- Placer l'œil modélisé derrière la loupe de manière à « lui faire observer » l'image de l'objet.
- Donner les caractéristiques de l'image finale.
- On veut que l'œil observe l'objet vu à travers la loupe sans accommodation.
- Représenter l'ensemble objet - loupe - œil dans ce cas. Construire l'image rétinienne définitive obtenue.



- Remarque : pour que l'œil normal observe, sans accommodation, un objet vu à travers une loupe, il faut placer la loupe de telle sorte que son foyer objet F coïncide avec l'objet observé.

3)- Grandeur des images.

Dans le cas d'un instrument oculaire, le récepteur est l'œil. Celui-ci n'est sensible qu'au diamètre

a)- Observation à l'œil nu et observation à travers un instrument d'optique.

- Observation à l'œil nu, d'un objet **AB**, placé à la distance **d**, sous l'angle θ .
- Observation, à l'aide de la loupe, de l'image **A'B''**, placé à la distance **D** de l'œil, sous l'angle θ' .
- Dans le cas présenté, θ' dépend de la position de l'œil.

b)- La puissance.

- La puissance **P** d'un instrument met en jeu la relation entre le diamètre apparent θ' de l'image et la hauteur **AB** de l'objet observé.

- Par définition :
$$P = \frac{\theta'}{AB}$$
 avec : θ' en rad et **AB** en m et **P** en dioptries δ

- La valeur de la puissance dépend des conditions d'utilisation de l'instrument.

c)- Le grossissement.

- Le grossissement **G** ne fait intervenir que les diamètres apparents de l'objet et de son image.

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

- G dépend : des conditions d'observation et de la distance d à laquelle l'œil est censé observer l'objet sans l'aide de l'instrument.

- Si θ , en rad, est petit, alors :
$$\theta \approx \frac{AB}{d} \Rightarrow G \approx \frac{\theta' \cdot d}{AB} \Rightarrow G \approx P \cdot d$$

4)- Application des définitions à la loupe.

a)- Puissance intrinsèque.

- Si l'image est observée à l'infini, l'œil voit l'image sous le même angle θ' de n'importe quelle position.

- Si l'on se place dans le cas : θ' est petit
$$\tan \theta' \approx \theta' \Rightarrow \theta' \approx \frac{AB}{OF} \Rightarrow P_i \approx \frac{1}{f'} = C$$

- On appelle puissance intrinsèque d'une loupe, la puissance P_i , calculée lorsque l'objet est dans le plan focal objet : $P_i \approx C$.

b)- Grossissement commercial.

- Pour que le grossissement ait une valeur bien définie, le constructeur indique le grossissement commercial.
- θ est supposé être mesuré pour un objet placé à la distance $d_m = 0,25$ m de l'observateur (P.P pour l'œil normal).
- L'image est observée à l'infini.

$$\tan \theta \approx \theta \quad \Rightarrow \quad \theta \approx \frac{AB}{d_m}$$

- Si θ est petit : $G = \frac{\theta'}{\theta}$ et $P_i = \frac{\theta'}{AB}$

$$G \approx P_i \cdot d_m$$

$$G \approx \frac{P_i}{4} \quad \text{avec} \quad d_m = 0,25 \text{ m}$$

V- Applications.

1)- La loupe.

Une loupe a une vergence $C = 20 \delta$

a)- Calculer sa distance focale.

Distance focale image de la loupe :

$$C = \frac{1}{\overline{OF}} = \frac{1}{f'} \quad \Rightarrow \quad f' = \overline{OF} = \frac{1}{C}$$

$$f' = \overline{OF} \approx \frac{1}{20}$$

$$f' = \overline{OF} \approx 0,05 \text{ m}$$

b)- Placer sur un schéma à l'échelle 1/2 les foyers F et F' , la lumière se propageant de gauche à droite.

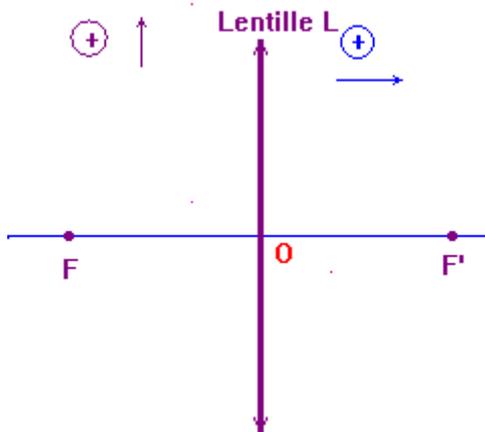
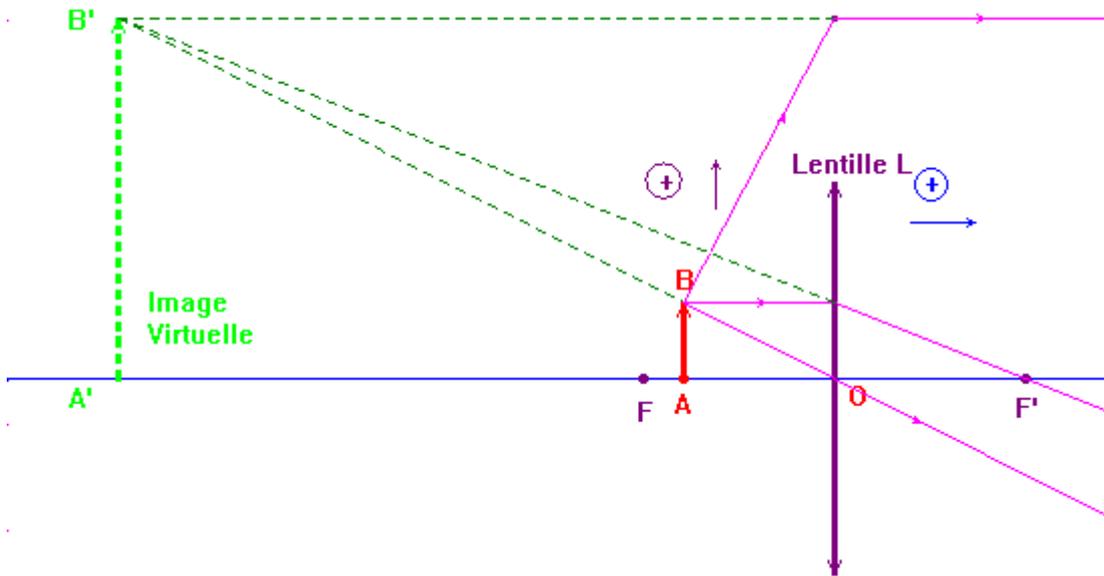


Schéma :

c)- On place un objet AB de 1 cm de haut à 4 cm du centre optique. Le point A est sur l'axe optique et AB est perpendiculaire à l'axe optique.

- Construire l'image $A'B'$ de AB donnée par la loupe.



- Déterminer graphiquement la position et la grandeur de l'image.

La mesure n'est pas très précise : $\begin{cases} \overline{OA'} \approx 20 \text{ cm} \\ \overline{OA'} \approx -20 \text{ cm} \end{cases}$ et $\begin{cases} \overline{A'B'} \approx 5 \text{ cm} \\ \overline{A'B'} \approx +5 \text{ cm} \end{cases}$

- Peut-on recueillir cette image sur un écran ?

L'objet étant situé entre O et F, l'image est virtuelle, elle ne peut pas être obtenue sur un écran, on peut l'observer.

- Retrouver les grandeurs $\overline{OA'}$ et $\overline{A'B'}$ à l'aide des formules de conjugaison.

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

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF}} + \frac{1}{\overline{OA}} = C + \frac{1}{\overline{OA}}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{C \cdot \overline{OA} + 1}{\overline{OA}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA}}{C \cdot \overline{OA} + 1}$$

$$\overline{OA'} \approx \frac{-4 \times 10^{-2}}{20 \times (-4 \times 10^{-2}) + 1}$$

$$\overline{OA'} \approx -0,20 \text{ m}$$

À partir du grandissement, on peut déterminer la valeur de $\overline{A'B'}$

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

$$\overline{A'B'} \approx \frac{-,20}{-0,04} \times 0,01$$

$$\overline{A'B'} \approx 0,050 \text{ m} \approx 5,0 \text{ cm}$$

- d)- Un œil placé en F' observe cette image sous l'angle θ' . Calculer θ' en radians.

Valeur de l'angle θ' en rad.

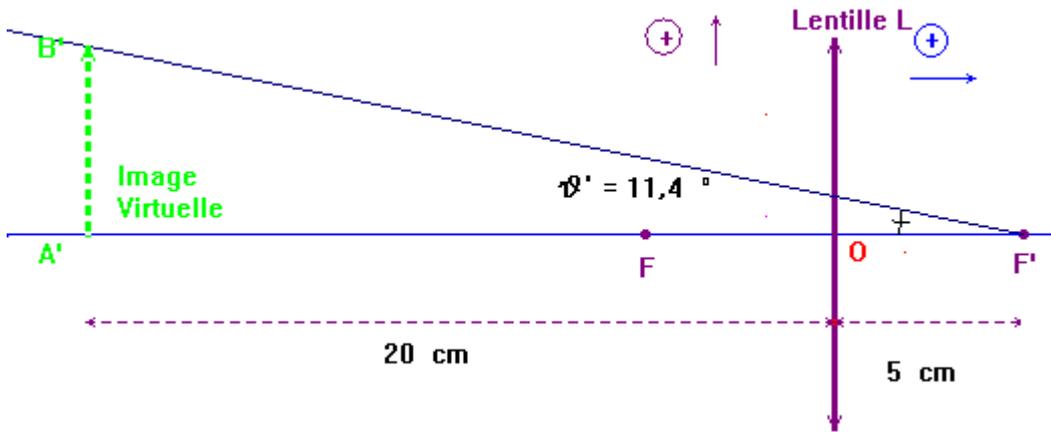
$$\tan \theta' = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{F'A'}}$$

$$\theta' = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{A'B'}}{\overline{F'A'}} \right)$$

$$\theta' \approx \tan^{-1} \left(\frac{0,05}{0,25} \right)$$

$$\theta' \approx 11,3^\circ \approx 0,20 \text{ rad}$$

On utilise la relation :



e)- Sous quel angle θ l'œil, placé à 25 cm de **AB** verrait-il cet objet sans la loupe ?
Observation sans la loupe.



$$\tan\theta = \frac{AB}{OA}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{AB}{OA}\right)$$

$$\theta \approx \tan^{-1}\left(\frac{0,01}{0,25}\right)$$

$$\theta \approx 2,3^\circ \approx 4,0 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

f)- Calculer le grossissement **G** de la loupe.
Grossissement **G** de la loupe. Par définition :

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

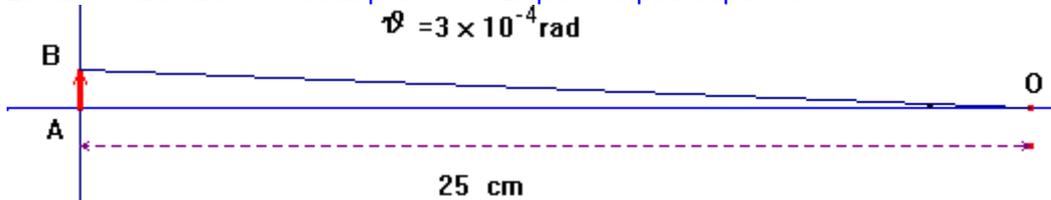
$$G \approx \frac{0,20}{4,0 \times 10^{-2}}$$

$$G \approx 5$$

g)- L'œil ne peut plus séparer deux points si l'angle sous lequel il les voit est inférieur à 3×10^{-4} rad. Calculer la distance minimale entre deux points **A** et **B** que la loupe peut séparer dans les conditions du c)-.

Distance minimale, entre deux points **A** et **B** que la loupe peut séparer.

Distance minimale entre deux points **A** et **B** que l'œil peut séparer :



$$\tan\theta = \frac{AB}{OA}$$

$$AB = OA \cdot \tan\theta$$

$$AB \approx 0,25 \times 3,0 \times 10^{-4}$$

$$AB \approx 7,5 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Distance minimale, entre deux points **A** et **B** que la loupe peut séparer.

L'œil observe l'image virtuelle **A'B'** à travers la loupe. Les caractéristiques de l'œil n'ont pas changées.

En conséquence : $\theta' = 3,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$:

$$A'B' \approx 7,5 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \approx 5$$

$$\overline{AB} = \frac{\overline{A'B'}}{5}$$

$$\overline{AB} \approx 1,5 \times 10^{-5} \text{ m} \approx 0,015 \text{ mm}$$

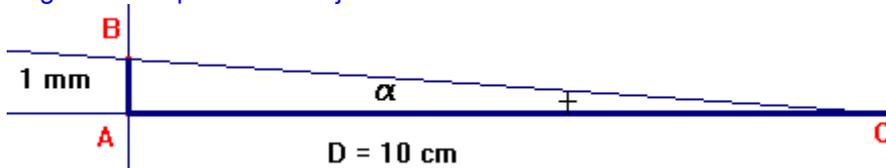
2)- L'œil myope.

Un observateur myope, dont les limites de vision distincte sont 10 cm (P.P.) et 100 cm (P.R.), examine un objet de 1 mm de longueur pour chercher à y voir le plus de détails possibles.

a)- À quelle distance doit-il le placer de son œil et sous quel angle le voit-il alors ?

Pour pouvoir observer le plus de détails possibles, on place l'objet au punctum proximum de l'œil myope, à 10 cm de l'œil.

Angle sous lequel il voit l'objet :



$$\tan \alpha = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF}}$$

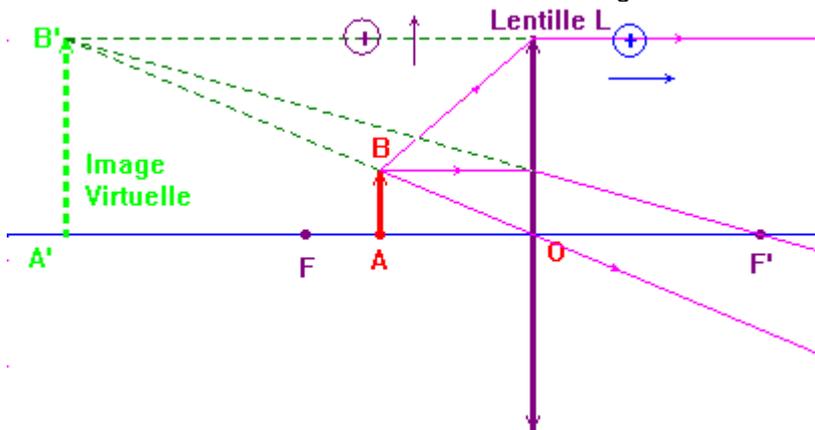
$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{AB}}{\overline{OA}} \right)$$

$$\alpha \approx \tan^{-1} \left(\frac{0,1}{10} \right)$$

$$\alpha \approx 1,0 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

b)- Cet observateur regarde le même objet à l'aide d'une loupe de 20 dioptries. On admettra que la pupille de l'œil coïncide avec le foyer image de la loupe.

- Faire un schéma montrant la formation de l'image virtuelle A'B' donnée par la loupe d'un objet AB.



Pour obtenir une image virtuelle, l'objet doit se trouver entre O et F (foyer objet).

- Quelles sont les positions extrêmes que l'objet peut occuper par rapport à la loupe pour que son image soit vue nettement ?

Positions extrêmes de l'objet :

Pour l'œil, l'image donnée par la lentille joue le rôle d'objet. L'œil myope voit correctement un objet situé entre 10 cm et 100 cm. En conséquence $F'A'$ varie entre

$$10 \text{ cm} \leq \overline{F'A'} \leq 100 \text{ cm} \Rightarrow -100 \text{ cm} \leq \overline{F'A'} \leq -10 \text{ cm}$$

$$\overline{OA'} = \overline{OF} + \overline{F'A'} \text{ avec } \overline{OF} = 5 \text{ cm}$$

$$-95 \text{ cm} \leq \overline{OA'} \leq -5 \text{ cm}$$

À l'aide de la formule de conjugaison, on peut trouver le domaine de variation de \overline{OA}

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

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

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

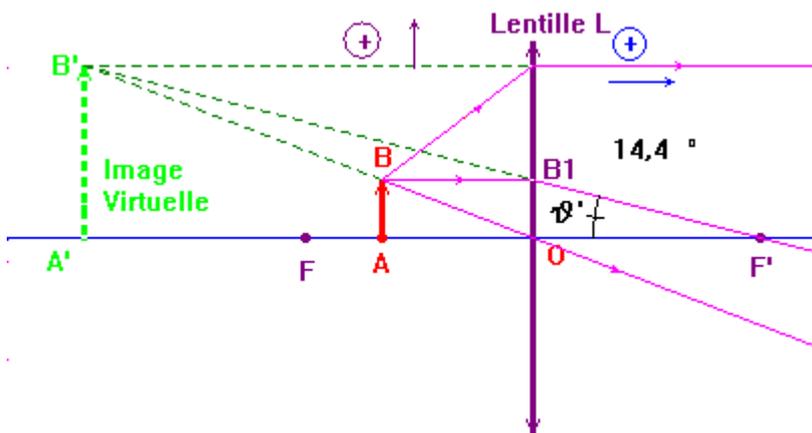
Calcul des valeurs extrêmes :

$$\overline{OA}_1 = \frac{\overline{OA'} \cdot \overline{OF}}{\overline{OF} - \overline{OA'}} \quad \overline{OA}_2 = \frac{\overline{OA'} \cdot \overline{OF}}{\overline{OF} - \overline{OA'}}$$

$$\overline{OA}_1 \approx \frac{(-95) \times 5}{5 - (-95)} \quad \text{et} \quad \overline{OA}_2 \approx \frac{(-5) \times 5}{5 - (-5)} \quad -4,75 \text{ cm} \leq \overline{OA} \leq -2,5 \text{ cm}.$$

$$\overline{OA}_1 \approx -2,5 \text{ cm} \quad \overline{OA}_2 \approx -4,75 \text{ cm}$$

- Montrer que l'angle, sous lequel l'œil voit cette image, ne dépend pas de la position de l'objet ?



L'angle sous lequel l'œil voit l'image A'B' ne dépend pas de la position de l'objet :

$$\tan \theta' = \frac{A'B'}{F'A'} = \frac{OA'}{OA}$$

Les triangles A'B'F' et OB₁F' sont homothétiques : $\tan \theta' = \frac{A'B'}{F'A'} = \frac{OB_1}{OF}$

Ce rapport est indépendant de la valeur de OA, l'angle θ' ne dépend pas de la position de l'objet AB.

$$\tan \theta' = \frac{A'B'}{F'A'} = \frac{OB_1}{OF} \approx \frac{1 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \approx 2,0 \times 10^{-2}$$

$$\theta' \approx 2,0 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

c)- Quel est le grossissement de la loupe ?

Grossissement de la loupe : $\theta' \approx 2,0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ et $\theta \approx 1,0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ voir question a)-

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

$$G \approx \frac{2,0 \times 10^{-2}}{1,0 \times 10^{-2}}$$

$$G \approx 2$$

3)- L'œil hypermétrope.

Dans cet exercice, on assimile les yeux à des lentilles minces dont le centre optique est à 17 mm de la rétine.

a)- Quelle est la vergence C₁ de l'œil normal n'accommodant pas ?

Si l'œil n'accommode pas, l'objet A est situé à l'infini. En conséquence :

$$\frac{1}{\overline{OF}} = \frac{1}{\overline{OA'}} \quad \text{Il découle de ceci que l'image est située dans le plan focal image de la lentille.}$$

Comme l'image doit se former sur la rétine : $f' = \overline{OF} = \overline{OA'} \approx 17 \text{ mm}$

$$C_1 = \frac{1}{f'}$$

$$C_1 \approx \frac{1}{17 \times 10^{-3}}$$

$$C_1 \approx 59 \delta$$

b)- Quel est la vergence C_2 de l'œil normal accommodant pour lire à 25 cm ?

Vergence de l'œil normal accommodant pour lire à 25 cm.

On utilise la formule de conjugaison :

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

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

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

$$\overline{OF} \approx \frac{(-25) \cdot (1,7)}{(-25) - (1,7)}$$

$$\overline{OF} \approx 1,59 \text{ cm}$$

$$C_2 = \frac{1}{\overline{OF}}$$

$$C_2 \approx \frac{1}{1,59 \times 10^{-2}}$$

$$C_2 \approx 62,8 \delta$$

Une personne hypermétrope a son (P.P.) situé à 1 m.

c)- Quelle est la vergence maximale C_{\max} de l'œil de cette personne ?

Vergence maximale de l'œil hypermétrope :

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

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

$$C_{\max} = \frac{\overline{OA} - \overline{OA'}}{\overline{OA} \cdot \overline{OA'}}$$

$$C_{\max} \approx \frac{(-1) - (1,7 \times 10^{-2})}{(-1) \cdot (1,7 \times 10^{-2})}$$

$$C_{\max} \approx 59,8 \delta$$

d)- Quel type de lentille doit-on associer à cet œil pour ramener le (P.P.) à 25 cm ? Préciser sa vergence.

Comme la vergence maximale est $C_{\max} \approx 59,8 \delta$, il faut associer une lentille de vergence telle que l'association ait

$$C_{\max} + C = C_2$$

$$C = C_2 - C_{\max}$$

$$C \approx 62,8 \delta - 59,8 \delta$$

$$C \approx 3 \delta$$

une vergence $C_2 \approx 62,8 \delta$.

Il faut accoler une lentille convergente de 3δ . Le pouvoir d'accommodation est de 4δ .

4)- Représentation schématique d'une mire :

