

TP N° 20 : L'ŒIL ET LA LOUPE

I. L'œil.

1. Description de l'œil normal.

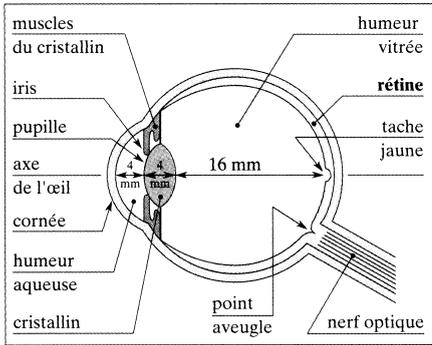


Figure a : vue en coupe de l'œil

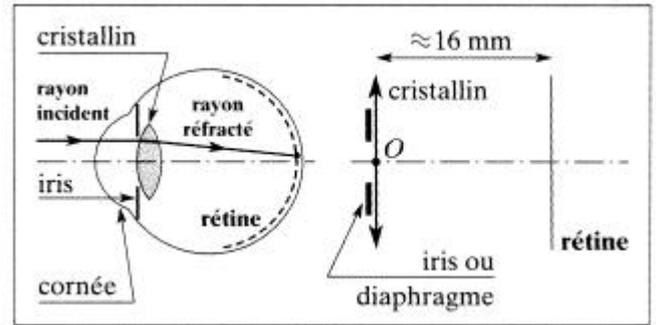


Figure b : œil réduit

L'accommodation.

Pour qu'un objet soit perçu par l'œil, il faut que son image soit reçue sur la rétine.

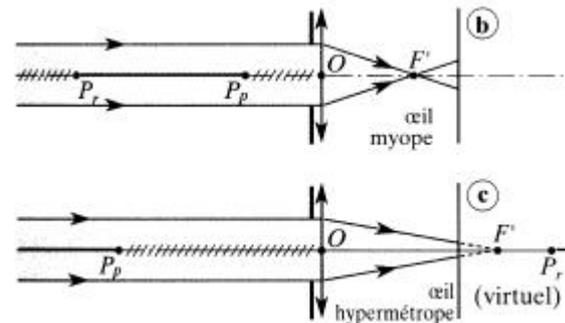
- Cette condition est réalisée pour la vision à l'infini (figure b ci-dessus) : le cristallin est alors au repos. Calculer la vergence du cristallin au repos en fonction de la profondeur a du globe oculaire.
- Pour observer un objet rapproché, l'œil accommode : les muscles du cristallin augmentent sa vergence. Exprimer la vergence du cristallin observant un objet à la distance d de son centre optique en fonction de a et d .

On appelle *punctum remotum* PR le point le plus éloigné pouvant donner une image nette sur la rétine, l'œil étant au repos. Pour l'œil normal (ou **emmétrope**) le PR est à l'infini (figure b ci-dessus) : la *distance maximale de vision distincte* D_m tend vers l'infini pour l'œil normal.

On appelle *punctum proximum* PP le point le plus proche pouvant donner une image nette sur la rétine, l'œil accommodant au maximum. Pour l'œil normal le PP est à 25 cm de l'œil : la *distance minimale de vision distincte* d_m est de 25 cm pour l'œil normal. Calculer la vergence maximale de l'œil normal.

2. Les défauts de l'œil.

- Le cristallin de l'**œil myope** est trop convergent ou la profondeur de son globe oculaire est trop grande (figure b ci-contre).
- Le cristallin de l'**œil hypermétrope** est trop peu convergent ou la profondeur de son globe oculaire est trop faible (figure c ci-contre).
- La **presbytie** est une fatigue des muscles du cristallin qui survient avec l'âge : l'œil complètement presbyte n'accommode plus.



3. Correction des défauts de l'œil : étude expérimentale.

Nous raisonnons pour la vision à l'infini : l'œil simulé étant composé d'une lentille de vergence $+8 \delta$ (simulant le cristallin) et d'un écran (simulant la rétine).

Sur le banc d'optique, réaliser un objet à l'infini à l'aide de la lettre F et de la lentille convergente $+2 \delta$ (collimateur) ; placer l'œil simulé et le régler sur la vision à l'infini.

a) Modélisation d'un œil myope.

Augmenter la profondeur du globe oculaire en plaçant l'écran à 20 cm de la lentille. Montrer que le port d'une lentille de contact de vergence -3δ permet de rétablir la vision à l'infini. Vérifier le résultat par le calcul.

b) Modélisation d'un œil hypermétrope.

Diminuer la profondeur du globe oculaire en plaçant l'écran à 10 cm de la lentille. Montrer que le port d'une lentille de contact de vergence $+2 \delta$ permet de rétablir la vision à l'infini. Vérifier le résultat par le calcul.

II. La loupe.

1. Une loupe est une lentille convergente de courte distance focale qui donne d'un objet réel de petites dimensions une image virtuelle et droite, plus grande que l'objet. C'est l'instrument d'optique le plus simple qui permet d'augmenter le pouvoir séparateur de l'œil

2. Performances d'un instrument d'optique.

a) Grossissement.

• Le grossissement d'un instrument d'optique est défini par $G = \left| \frac{\theta'}{\theta} \right|$ où θ' est le diamètre angulaire sous lequel est vue l'image de l'objet à travers l'instrument et θ le diamètre angulaire sous lequel il est vu à l'œil nu.

• Le grossissement commercial est défini pour une image vue au PR à travers l'instrument et un objet vu au PP à l'œil nu pour l'œil normal ($d_{m,0} = 25 \text{ cm}$).

b) Puissance.

• La puissance d'un instrument d'optique est définie par $P = \left| \frac{\theta'}{AB} \right|$ où θ' est le diamètre angulaire sous lequel est vue l'image de l'objet à travers l'instrument et AB la taille de l'objet. Elle se mesure en dioptries.

• Si l'image est à l'infini, on parle de puissance intrinsèque P_i .

3. Etude expérimentale d'une loupe.

a) Conditions d'observation.

Une lentille de vergence $+3 \delta$ constitue la loupe ; la lettre F constitue l'objet.

Regarder l'objet à travers la loupe : entre quelles limites faut-il placer l'objet AB par rapport à la loupe pour observer une image A'B' nette. Vérifier que cette image est droite et plus grande que l'objet. Faire la construction correspondante.

b) Observation grâce à l'œil simulé réglé à l'infini.

Dans la réalité, la distance focale de l'œil normal au repos est de 16 mm et la distance focale typique d'une loupe est de 30 mm .

On peut envisager, pour une simulation sur le banc d'optique, de multiplier ces distances par un facteur 10 : la distance focale de l'œil simulé serait de 16 cm et sa vergence $V = 1 / f = 6,25 \delta$; la distance focale de la loupe simulée serait de 30 cm et sa vergence de $V = 1 / f = 3,33 \delta$. Nous nous approcherons au mieux de ces valeurs en choisissant pour la loupe une lentille de vergence $V_1 = +3 \delta$ (comme ci-dessus) et pour l'œil simulé une lentille de vergence $V_2 = +8 \delta$ (comme au I).

Placer sur le banc la loupe simulée et l'œil simulé réglé sur la vision à l'infini, en choisissant une distance entre les centres optiques de la loupe (O_1) et de l'œil (O_2) quelconque. Régler la position de l'objet (lettre F) par rapport à la loupe pour observer une image nette sur la rétine.

Représenter cette situation sur un schéma : nommer A'B' l'image de l'objet AB donné par la loupe et A''B'' l'image définitive formée sur la rétine. Sur ce schéma, définir l'angle θ' sous lequel est observé l'objet à travers la loupe, l'exprimer en fonction de A''B'' et de O_2A'' et l'évaluer expérimentalement.

• Grossissement.

Evaluer l'angle θ sous lequel l'œil voit l'objet sans la loupe (l'exprimer en fonction de AB et de AO_2 et le mesurer expérimentalement). En déduire le grossissement G de la loupe dans les conditions ci-dessus.

L'angle θ' mesuré ci-dessus grâce à l'œil simulé étant celui sous lequel un œil réel verrait l'objet à travers la loupe de vergence V_1 , calculer le grossissement commercial G_c de cette dernière.

• Puissance.

Nous sommes dans les conditions de mesure de la puissance intrinsèque de la loupe P_i : l'exprimer en fonction de A''B'', AB et O_2A'' et la calculer.

Reprendre le schéma précédent. Montrer que $P_1 = \frac{1}{f'}$ où f' est la distance focale de la loupe, et le vérifier expérimentalement.

c) Relation entre grossissement et puissance pour tout instrument d'optique.

Montrer que d'une façon générale $G = d P$

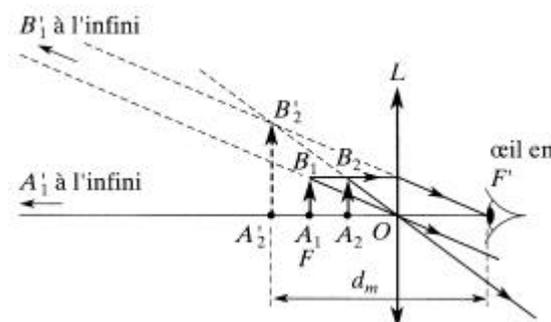
(si d est la distance à laquelle l'objet est observé à l'œil nu) et que par conséquent $G_c = d_{m,0} P_1$ et le vérifier expérimentalement pour la loupe.

d) Cas de l'œil au foyer objet de la loupe, profondeur de champ du système œil - loupe.

Vérifier expérimentalement que si O_2 est en F'_1 alors θ' est indépendant de la position de l'objet par rapport à la loupe mais que cette dernière diminuant, il faut écarter l'écran pour observer une image nette : l'œil accomode. Faire la construction correspondante.

Dans les limites d'accommodation, pour l'œil réel, l'image donnée par la loupe doit être entre le PP et le PR :

- la **latitude de mise au point** est l'intervalle des positions de l'objet telle que l'image soit visible par l'œil ;
- la **profondeur de champ** (profondeur d'accommodation) est la différence entre ces deux distances.



Montrer que pour l'œil normal la profondeur de champ du système œil - loupe vaut $\frac{f'^2}{d_{m,0}}$ où f' est la distance focale de la loupe : elle est d'autant plus petite que la vergence de la loupe est grande. On appliquera pour cela la formule de conjugaison de la loupe avec origine aux foyers (formule de Newton) pour déterminer les positions A_1 et A_2 (voir la figure).

Placer votre œil au foyer image de la loupe et mesurer la profondeur de champ, que constatez-vous ? Recommencer l'expérience en prenant pour loupe une lentille de vergence $+ 8 \delta$. Conclure.

e) Pouvoir séparateur du système œil - loupe.

Appelons θ_m le pouvoir de résolution de l'œil ($\theta_m = 10^{-3}$ rad). Un objet est résolu pour l'œil si $|\theta'| > \theta_m$. Exprimer la taille minimale de l'objet AB_{\min} que l'œil peut voir à travers la loupe en fonction de la puissance intrinsèque de celle-ci et de θ_m .