

Formation d'images

Exemples de l'œil et de l'appareil photographique

Connaissances	- Accommodation du cristallin - Fonctionnement comparé de l'œil et du cristallin.
Compétences	- Réaliser : Pratiquer une démarche expérimentale pour comparer les fonctionnements optiques de l'œil et de l'appareil photographique. - Analyser : Mettre en lien les phénomènes observés et les concepts utilisés (propriétés des lentilles convergentes) - Communiquer : rendre compte des résultats sous forme écrite (de manière structurée)

Problématique : Comment obtenir sur la rétine de l'œil ou le capteur CCD (équivalent de la pellicule photo) une image nette quelles que soient les circonstances ?

Présentation :

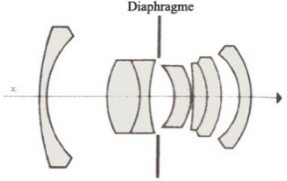
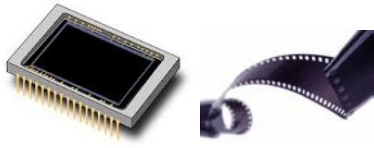
L'œil et l'appareil photographique possèdent des similitudes de structure.

Dans les deux cas, on a présence :

- d'un dispositif optique dont le rôle est de dévier par réfraction les rayons lumineux issus d'un objet
- d'une surface destinée à recueillir l'image ainsi obtenue.

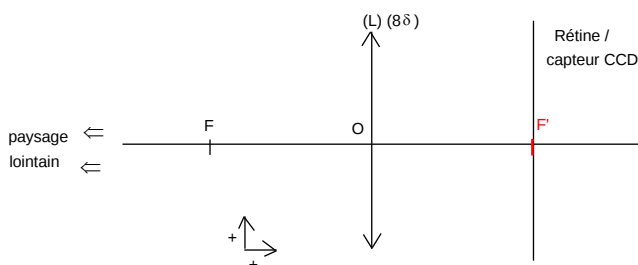
Toutefois, ils diffèrent par leur fonctionnement. L'objectif de cette activité est d'étudier ces différences.

L'œil et l'appareil photo seront ici modélisés de façon simplifiée comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

	Dispositif réfractant	Surface de formation de l'image
Appareil photographique	L'objectif = assemblage complexe de plusieurs lentilles 	Le capteur CCD (appareil numérique) ou la pellicule photo (appareil argentique) 
Œil	Le cristallin	La rétine
Modèle simplifié commun	Une lentille mince convergente	Ecran plan

1°/ Mise en place du dispositif

Dans ce premier temps, on considère un œil normal (emmétrope) « au repos » et un appareil photographique dans son réglage de base.



- A une extrémité du banc d'optique, positionner l'écran.
- Placer la lentille de vergence $C = 8 \delta$ (marquée $+8$) à 12,5 cm devant l'écran.
- Viser le bâtiment de l'autre côté de la cour ou le ciel au-dessus de lui.

Qu'observe-t-on sur l'écran ? Pourquoi cette observation était-elle prévisible ? (vous pouvez compléter le schéma ci-dessus avec les foyers de la lentille)

On voit sur l'écran une image nette et renversée du bâtiment.

C'était prévisible puisque l'image d'un objet très éloigné se forme au niveau du foyer image de la lentille et que l'écran se trouve justement à 12,5 cm de la lentille, c'est-à-dire au niveau de F' ($f' = 1/C = 1/8 = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$)

- Sans toucher à la lentille et à l'écran, on remplace le paysage lointain par la lettre lumineuse positionnée à 50 cm devant la lentille.

Qu'observe-t-on sur l'écran ?

L'image de la lettre lumineuse sur l'écran est floue.

Retrouver par le calcul la position $\overline{OA'}$ de l'image de la lettre. Où est-elle par rapport à l'écran ?

On applique la formule de conjugaison avec $\overline{OA} = -50$ cm et $\overline{OF'} = 12,5$ cm

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} + \frac{1}{\overline{OA}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{OA} + \overline{OF'}}{\overline{OF'} \times \overline{OA}} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OF'} + \overline{OA}} = \frac{-50 \times 12,5}{12,5 + (-50)} = 16,7 \text{ cm}$$

L'image se trouve à 16,7 cm après la lentille, c'est-à-dire derrière l'écran qui lui se trouve à 12,5 cm.

Conclure : que peuvent voir nettement un œil au repos et un appareil photographique dans son réglage de base ?

L'œil au repos et l'appareil photographique dans son réglage de base ne peuvent voir nettement que des objets « éloignés ». (Dans le cas de l'œil normal au repos, on dit qu'il « voit à l'infini »)

2°/ Comment obtenir une image nette dans le cas de l'appareil photographique ?

Pour récupérer sur l'écran une image nette d'un objet proche, il est nécessaire de **faire la mise au point**.

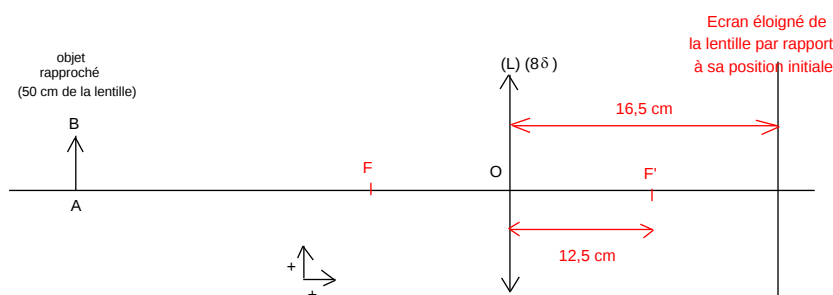
2.1 : Mise au point

Comment réalise-t-on cette mise au point avec un appareil « manuel » (qui n'est pas autofocus) ?

On effectue un réglage sur l'objectif de l'appareil de façon à réaliser la netteté.

Lors de ce réglage, on déplace l'objectif le long de l'axe optique par rapport au capteur CCD de façon à ce que le capteur CCD se trouve à l'endroit où se forme l'image de l'objet photographié (initialement, elle est « derrière le capteur CCD » comme montré au 1°)

- Réaliser la mise au point avec le montage sur le banc d'optique. Rendre compte ci-dessous (sans souci d'échelle) de l'action nécessaire pour obtenir une image nette sur l'écran.



Relever sur le banc la valeur de $\overline{OA'}$. Est-elle conforme à la valeur calculée au 1° ?

Sur le banc, on peut relever que l'image nette est obtenue sur l'écran placé à environ 16,5 cm de la lentille, ce qui est conforme à la valeur prévue avec la formule de conjugaison.

2.2 : Limites de la mise au point et conséquence

Dans un appareil photo, le déplacement de l'objectif par rapport au capteur CCD est limité par construction à une certaine valeur. Pour rendre compte de cette limite sur le banc d'optique, on suppose que la lentille ne peut se déplacer de plus de 7,5 cm par rapport à sa position de base (voir 1°)

- Montrer expérimentalement que cette limite a une conséquence sur l'obtention d'images nettes sur l'écran.

Décrire les conséquences de la limitation du déplacement de l'objectif.

On place l'écran à $12,5 + 7,5 = 20$ cm de la lentille, c'est-à-dire au maximum de son déplacement possible.

On y forme une image nette pour l'objet placé à environ 30 cm avant la lentille mais si l'objet se rapproche davantage, il ne sera pas possible d'en obtenir une image nette car l'écran se trouve « bloqué » à 20 cm de la lentille.

La conséquence est qu'avec un appareil photographique, il n'est pas possible de photographier des objets trop proches, en deçà d'une certaine distance de l'objectif.

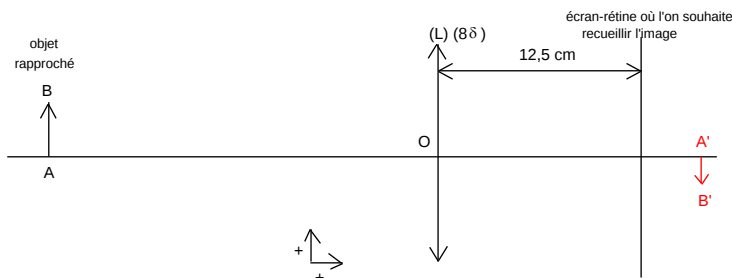
3°/ Comment obtenir une image nette dans le cas de l'œil ? Comparaison avec l'appareil photographique

On replace la lentille et l'écran dans leur positions initiales (voir 1°/) et l'objet à 50 cm devant la lentille.

3.1 : Différences avec l'appareil photographique

Il a été vu au 1°/ que si l'on rapproche l'objet de l'œil, son image va se déplacer dans le même sens et donc se former **derrière** « l'écran-rétine ».

Schématiser cette situation ci-dessous (positionner l'image)



Pourquoi ne peut-on pas, dans le cas de l'œil, réaliser le même type de mise au point qu'avec l'appareil photo ?

Dans l'œil, la rétine ne peut pas se déplacer par rapport au cristallin ! Le globe oculaire ne se déforme pas dans son ensemble donc dans le cas de notre modèle, pas de déplacement possible de l'écran par rapport à la lentille.

Sachant qu'il est impossible de déplacer la lentille par rapport à l'écran, quel est le seul facteur sur lequel on pourra agir pour « ramener » l'image sur l'écran ?

Les distances objet-lentille $\overline{OA}$ et lentille-écran/image $\overline{OA'}$ étant fixes, on ne peut modifier que le paramètre « distance focale $\overline{OF'}$ » de la lentille.

Il s'agit là de l'**accommodation** réalisée par l'œil. Concrètement, les muscles ciliaires qui entourent le cristallin se contractent pour modifier la courbure de celui-ci.

3.2 : Principe et modélisation de l'accommodation

Déterminer par le calcul, dans la situation étudiée ($\overline{OA} = -50 \text{ cm}$; $\overline{OA'} = 12,5 \text{ cm}$), la vergence de la lentille qui permettrait d'obtenir une image nette sur l'écran.

On applique la formule de conjugaison avec $\overline{OA} = -50 \text{ cm}$ et $\overline{OA'} = 12,5 \text{ cm}$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{OA} - \overline{OA'}}{\overline{OA'} \times \overline{OA}} \Rightarrow \overline{OF'} = \frac{\overline{OA} \times \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}} = \frac{-50 \times 12,5}{-50 - 12,5} = 10 \text{ cm}$$

La distance focale de la lentille doit donc être égale à 10 cm = 0,10 m soit $C = 1 / 0,10 = 10 \delta$ pour que sur l'écran « immobile » se forme une image nette de l'objet.

Comment la vergence de l'œil doit-elle évoluer lors de cette l'accommodation ? Les muscles ciliaires doivent-ils alors augmenter ou diminuer la courbure du cristallin ?

La vergence de l'œil doit passer de 8 δ (au repos) à 10 δ (lorsqu'il accomode pour voir net l'objet) Elle doit donc augmenter, ce qui s'obtient par une augmentation de la courbure du cristallin (« plus une lentille est bombée, plus sa vergence est grande » - voir premier TP)

- Réaliser cette situation sur le banc et contrôler la bonne obtention de l'image.

Indication technique : on peut associer des lentilles en les accolant. Leurs vergences s'additionnent alors (par exemple, deux lentilles de 3 δ chacune accolées équivalent à une lentille de 6 δ)

On accole à la lentille de 8 δ une lentille de 2 δ ($8 + 2 = 10 \delta$ pour ces lentilles accolées) On observe alors une image nette de l'objet sans avoir à déplacer l'écran.

3.3 : Limites de l'accommodation et conséquence

Tout comme l'appareil photo possède une limite technique de mise au point (limite de déplacement de la lentille), l'œil présente une limite d'accommodation (limite maximale physiologique de courbure du cristallin)

- Pour simuler ici cette limite, on suppose que la vergence de l'œil sur le banc d'optique ne peut dépasser 11 δ .
Montrer que cette limite a une conséquence tout comme pour l'appareil photo.

On accole à la lentille de 8 δ une lentille de 3 δ pour atteindre 11 δ .

On forme une image nette sur l'écran pour l'objet placé à environ 30 cm avant la lentille mais si l'objet se rapproche davantage, il ne sera pas possible d'en obtenir une image nette car la vergence de la lentille est alors maximale et on ne peut faire converger davantage la lumière vers l'écran.

La conséquence est qu'avec l'œil, il n'est pas possible d'accommoder sur des objets trop proches, en deçà d'une certaine distance du cristallin.

Le point le plus proche visible par un œil est appelé le Punctum Proximum (PP) Pour un œil normal, on admet, de façon normalisée, qu'il a pour valeur 25 cm.

4°/ Récapitulatif

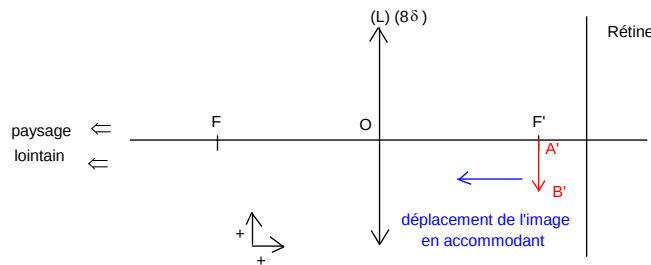
Compléter le tableau ci-dessous pour récapituler les différences entre l'œil et l'appareil photographique.

	Appareil photographique	Œil
Distance focale de la « lentille » (objectif ou cristallin)	Fixe / Variable	Fixe / Variable
Distance lentille / « écran » (rétine ou capteur CCD)	Fixe / Variable	Fixe / Variable
Mode d'obtention d'une image nette	Mise au point par déplacement du capteur CCD par rapport à la lentille-objectif.	Accommodation par modification de la vergence du cristallin (rendu plus convergent par les muscles ciliaires)
Limite de fonctionnement et conséquence	Déplacement limité du capteur par rapport à l'objectif d'où impossibilité de photographier des objets trop proches.	Contraction limitée du cristallin d'où limitation de sa vergence à une valeur maximale et impossibilité de voir nets les objets trop proches.

5°/ Un exemple de défaut de l'œil et sa correction : la myopie

La myopie est un défaut de structure de l'œil : la rétine se trouve trop éloignée du cristallin par rapport au cas d'un œil « normal » (l'œil myope est « trop profond »)

Pour un œil myope, où va se former, par rapport à la rétine, l'image d'un objet lointain ? Schématiser ci-dessous. L'image d'un objet lointain se forme alors devant la rétine (entre le cristallin et la rétine) L'œil myope au repos voit donc « flou » un objet lointain.



Pourquoi un œil myope ne peut-il distinguer d'objets lointains ni en étant « au repos », ni en accommodant ?

En accommodant, l'œil devient plus convergent et rapproche l'image du cristallin. La rétine restant fixe, l'image ne se formera jamais sur celle-ci même si l'œil « travaille » L'objet lointain sera vu flou en toutes circonstances par un œil myope non corrigé.

- Pour illustrer ce défaut de l'œil, on reprend le montage précédent et on place cette fois-ci l'écran à 16,5 cm derrière la lentille (au lieu de 12,5 cm)
- Viser le paysage et constater sur l'écran.

L'image sur l'écran est bien floue car l'écran est trop loin.

Déterminer la vergence que devrait avoir l'œil modélisé dans ce cas pour que l'image du paysage se forme sur son écran-rétine. En déduire la correction qu'il faut apporter à l'œil pour qu'il distingue le paysage lointain.

La distance lentille-écran est fixe : $\overline{OA'} = 16,5 \text{ cm}$ L'objet est lointain soit $\overline{OA} \rightarrow \infty$ et $\frac{1}{\overline{OA}} \rightarrow 0$

On applique la formule de conjugaison avec $\overline{OA'} = 16,5 \text{ cm}$ et $\frac{1}{\overline{OA}} = 0$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} - 0 = \frac{1}{\overline{OF'}} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} \Rightarrow \overline{OF'} = \overline{OA'} = 16,5 \text{ cm}$$

La distance focale de la lentille devrait être égale à 16,5 cm pour voir nette l'image de l'objet lointain.

D'où une vergence $C = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{0,165} \approx 6 \delta$

La vergence du cristallin modélisé doit passer de 8 δ à 6 δ pour que « l'œil » soit corrigé. Il faut donc lui accoler une lentille de vergence - 2 δ c'est-à-dire une lentille divergente.

- Réaliser cette correction sur le montage du banc d'optique et observer.

On accole une lentille divergente de - 2 δ à la lentille de 6 δ : sans bouger l'écran (toujours à 16,5 cm de la lentille) on peut y voir l'image nette du paysage lointain.

La myopie est donc corrigée à l'aide de lentilles divergentes.

Remarque : une opération au laser existe maintenant. Elle consiste à « raboter » la cornée de façon à rendre l'œil moins convergent pour faire « reculer » les images formées dans l'œil vers la rétine.