

Activité 2.1 – Propagation de la lumière et illusion d’optique

Objectifs :

- ▶ Décrire la propagation de la lumière.

Contexte

Pour voir un objet, il faut avoir une ligne de vue directe sur celui-ci, car la lumière semble toujours se propager en ligne droite.

Une exception est le cas des mirages froids : près d'une surface très froide, on peut voir apparaître des objets sans avoir de ligne de vue directe dessus, les objets semblent alors léviter dans les airs !

→ **Dans quelles conditions la lumière se propage-t-elle en ligne droite et comment expliquer le phénomène des mirages froids ?**



Document 1 – La lumière : une onde électromagnétique

La lumière est une **onde électromagnétique**, dont les propriétés dépendent de sa **vitesse de propagation** et de sa **longueur d'onde**, notée λ .

Une onde est dite **monochromatique** (« une couleur »), si elle a une longueur d'onde bien définie. Une onde est dite **polychromatique** (« plusieurs couleurs »), si elle est la superposition de plusieurs ondes monochromatiques.

Dans le vide, une onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière notée c

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Document 2 – Un peu de vocabulaire

Milieu transparent : milieu que la lumière visible traverse sans être **absorbée**, c'est-à-dire sans que son intensité ne diminue.

Milieu homogène : milieu dont les propriétés sont identiques en tout point (pression, température, concentration, etc.).

1 – L’air est-il un milieu transparent ? Justifier.

2 – L’air est-il toujours un milieu homogène ? Donner un contre-exemple.

3 – Un laser émet une lumière qui est

- une onde monochromatique.
- une onde polychromatique.

☒ A Observer et schématiser la propagation du laser dans l’eau sucrée homogène et hétérogène.

4 – Une torche émet une lumière qui est

- une onde monochromatique.
- une onde polychromatique.

5 — La lumière se propage-t-elle toujours en ligne droite ?

6 — Donner le type de milieu transparent pour lequel la lumière se propage en ligne droite.

Document 3 – Indice de réfraction

La capacité d'un milieu à réduire la vitesse de la lumière est mesurée par un nombre que l'on appelle **l'indice de réfraction** et que l'on note n_{milieu} . C'est un nombre sans unité. Dans le milieu, la vitesse de la lumière est

$$c_{\text{milieu}} = \frac{c}{n_{\text{milieu}}}$$

► *Exemples :*

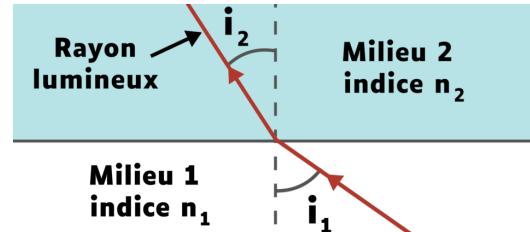
- L'air a un indice de réfraction $n_{\text{air}} = 1,00$ et donc $c_{\text{air}} = c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- L'eau a un indice de réfraction $n_{\text{eau}} = 1,33$ et donc $c_{\text{eau}} = 2,26 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Document 4 – Loi de Snell-Descartes

On peut quantifier la déviation de la lumière quand elle passe d'un milieu à un autre, c'est la loi de **Snell-Descartes**.

Lorsque la lumière passe d'un milieu homogène d'indice n_1 à un milieu homogène d'indice n_2 , alors

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$$



💡 Pour expliquer le phénomène de mirage, on va modéliser l'air comme une superposition de plusieurs couche d'air : chaque couche est homogène avec une même température. L'indice de réfraction de l'air **diminue** quand la température **augmente**.

En vous aidant de la loi de Snell-Descartes, schématiser la trajectoire de la lumière partant d'un objet et qui traverserait plusieurs couches d'air près d'une surface froide. Comme la surface est froide, la température augmente avec l'altitude et donc **l'indice de réfraction diminue pour chaque couche d'air traversée vers le haut**.

📝 Utiliser cette trajectoire de la lumière pour expliquer le phénomène de mirage froid.

Activité 2.2 – Vision humaine et modèle optique

Objectifs :

- ▶ Comprendre le mécanisme de la vision chez les humains.
- ▶ Comprendre la formation des images sur la rétine.

Contexte : La vue est un des sens les plus importants chez nous, elle permet d'observer notre environnement grâce à nos yeux. Les yeux forment des images réelles, interprétées par notre cerveau pour former des images mentales.

→ **Comment est formée une image sur la rétine et comment le cerveau interprète cette information pour donner notre vision ?**

Document 1 – Modélisation de l'œil

Dans l'œil, la lumière se propage à travers plusieurs milieux **transparents** et **homogènes** pour former une image sur la **rétine** :

- la **cornée** est une membrane transparente qui concentre la lumière sur le cristallin ;
- le **cristallin** est une lentille élastique ;
- **l'humeur aqueuse** est liquide ;
- **l'humeur vitrée** est gélatineuse.

En optique, on modélise l'œil par un système simple :

- **L'iris** est modélisé par un **diaphragme** ;
- **Le cristallin** et les milieux transparents sont modélisés par une lentille convergente ;
- **La rétine** est modélisée par un écran.

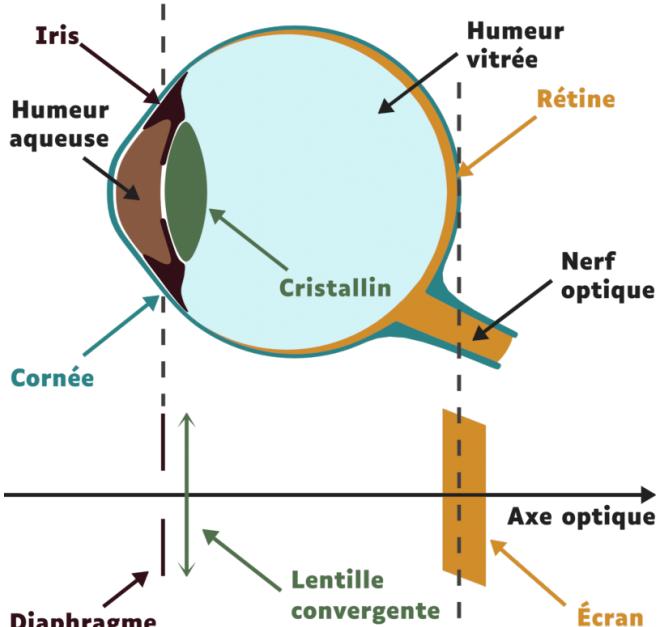


Schéma simplifié de l'œil et de sa modélisation optique.

1 — Compter le nombre de milieux traversés et le nombre de réfractions subies par la lumière avant d'arriver sur la rétine.

2 — Rappeler comment la lumière se propage dans un milieu transparent homogène.

Document 2 – L'iris et le cristallin

L'iris est une membrane circulaire qui permet à l'œil de régler le diamètre de la **pupille**.

Quand le diamètre de la pupille augmente, la lumière entre davantage dans l'œil. Cette dilatation permet d'avoir une image plus lumineuse, mais diminue la netteté de l'image.

L'iris se contracte principalement quand la luminosité ambiante augmente, grâce à deux muscles opposés : un système radial dilatateur (fibres orientées vers l'extérieur comme les rayons d'une roue) et un système concentrique constricteur (fibres disposées de façon concentrique, en

sphincter).

Le **cristallin** est une lentille déformable dans l'œil, placée juste derrière l'iris. Le cristallin concentre les rayons lumineux pour former une image des objets observés sur la rétine. Pour pouvoir ajuster la netteté des objets observés, le cristallin peut se déformer grâce à des muscles, c'est ce qui permet notamment de voir net de près.

3 – Expliquer pourquoi on visualise mieux les détails d'un objet quand il est bien éclairé.

Document 3 – La rétine

La lumière qui traverse l'œil forme une image nette de l'objet observé sur la **rétine**.

La rétine est constitué de deux types de terminaisons nerveuses photosensibles :

- les **bâtonnets**, qui sont sensibles pour 1 longueur d'onde et permettent de voir quand il y a une faible luminosité ;
- les **cônes**, qui sont sensible dans 3 longueurs d'onde différentes et permettent d'avoir une vision en couleur.

S'ils reçoivent de la lumière dans leur gamme de sensibilité, les cônes et les bâtonnets émettent un signal dans le **nerf optique**, permettant à notre cerveau de reconstituer une image en couleur.

4 – Expliquer pourquoi on distingue moins bien les couleurs dans un endroit sombre.

Document 4 – Défaut de l'œil et de la vision

Les troubles de la vision sont dû à des défauts de l'œil. Si c'est la forme de l'œil ou le cristallin qui a des défauts, la personne aura des problèmes de netteté (images floues). Si ce sont la rétine qui a des défauts, la personne aura des problèmes avec la vision des couleurs ou sera partiellement aveugle.

Quelques exemples de troubles communs :

- **la myopie**, qui empêche de voir net de loin. À cause d'un défaut dans la forme de l'œil ou le cristallin, la formation des images se fait avant la rétine.
- **l'hypermétropie**, qui empêche de voir net de près, pour des raisons inverses de la myopie, l'image est formée après la rétine.
- **la presbytie**, qui est lié à un durcissement du cristallin en vieillissant, ce qui empêche d'effectuer une mise au point pour voir net de près.
- **le daltonisme**, qui empêche de distinguer certaines couleurs. Les différentes formes de daltonisme sont liées à des défauts dans les cônes.

TP 2.1 – Formation d'une image

Objectifs :

- ▶ Comprendre la formation des images par une lentille.

Contexte : Les lentilles permettent de former des images réelles (sur un écran) ou virtuelle (en regardant au travers de la lentille).

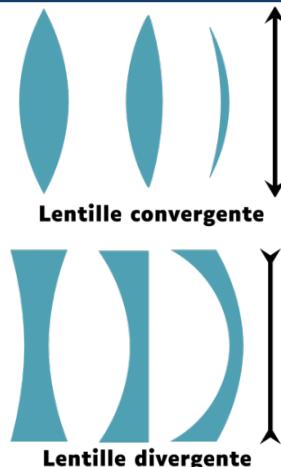
→ **Comment se forment des images à travers une lentille ?**

Document 1 – Les lentilles convergentes et divergentes

Il existe deux types de lentilles en optique :

- les lentilles **convergentes**, qui concentrent les rayons lumineux. Elles sont plus épaisses au centre qu'aux extrémités et sont schématisées par une double flèche fermée.
- Les lentilles **divergentes**, qui étalent les rayons lumineux. Elles sont plus fines au centre qu'aux extrémités et sont schématisée par une double flèche ouverte.

On peut déterminer le trajet de la lumière qui passe dans ces lentilles en utilisant les lois de Snell-Descartes, mais on va voir que la lumière suit trois règles simples en les traversant.



Document 2 – Modélisation de la propagation de la lumière par des lentilles

En optique une lentille est modélisée avec

- son **axe optique**, perpendiculaire à la lentille et passant en son centre O, appelé **centre optique**. L'axe optique est orienté dans le sens de propagation de la lumière ;
- son **foyer objet F** et son **foyer image F'**, qui sont équidistants au centre O et placés sur l'axe optique.

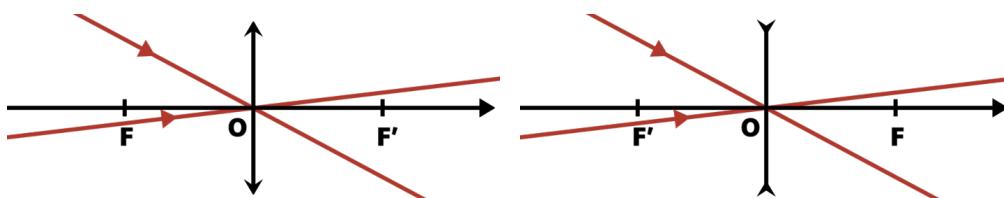
Vocabulaire :

- Un **rayon incident** va vers la lentille.
- Un **rayon émergent** s'éloigne de la lentille.
- La **distance focale f'** est la distance entre O et F', OF' .

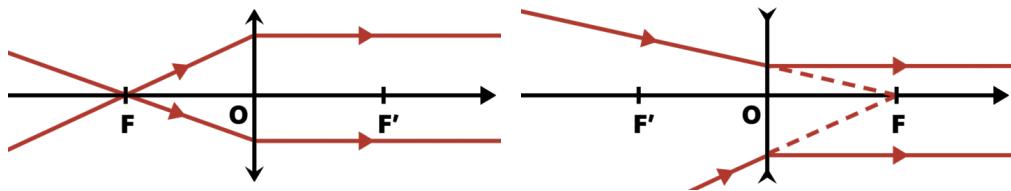
f' est négative pour une lentille divergente et positive pour une lentille convergente.

Trois rayons ont des propriétés particulières, communes au lentilles convergentes et divergentes :

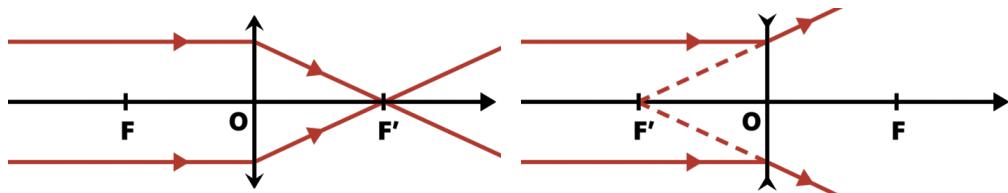
- Tout rayon incident qui passe par le centre optique n'est pas dévié.



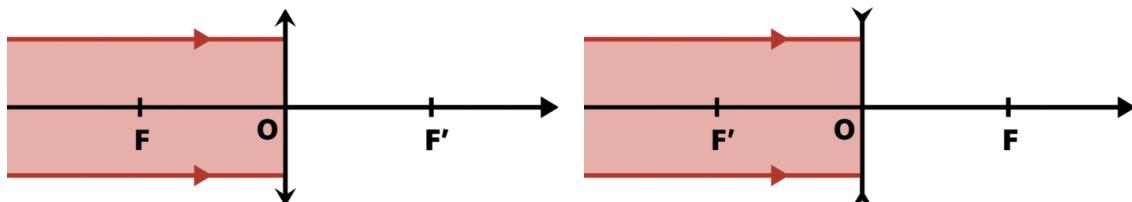
- Tout rayon (ou son prolongement) qui passe par le foyer objet F émerge parallèle à l'axe optique.



- Pour tout rayon incident qui arrive parallèle à l'axe optique, le rayon émergent (ou son prolongement) passe par le foyer image F' .

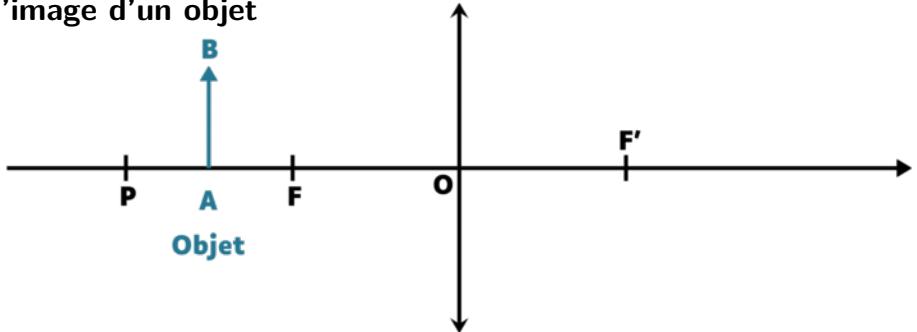


 Tracer le faisceau émergent dans les deux cas suivants.



Document 3 – Construire l'image d'un objet

Pour construire l'image $A'B'$ d'un objet AB à travers une lentille convergente, on cherche l'image du point B en traçant deux des trois rayons particuliers, avec leur rayons émergents.



L'intersection des rayons émergents donne l'image réelle B' . Si on doit utiliser les prolongements des rayons émergents, l'image est virtuelle.

Le rapport de la taille de l'image sur la taille de l'objet est appelée le **grandissement**, noté γ (« gamma ») :

$$\gamma = \frac{\text{Taille de l'image}}{\text{Taille de l'objet}}$$

Si l'image est renversée, on met un signe $-$ devant la valeur du grandissement.

 Placer la lampe (« l'objet ») sur une graduation ronde du banc optique et ne plus y toucher.

 Placer la lentille sur le banc optique, à une distance d de la lampe inférieure à sa distance focale f' . Puis, placer l'écran et le faire coulisser pour trouver une position où une image nette de la lettre se forme (« l'image ») et mesurer sa hauteur. Si aucune position ne permet d'avoir une image

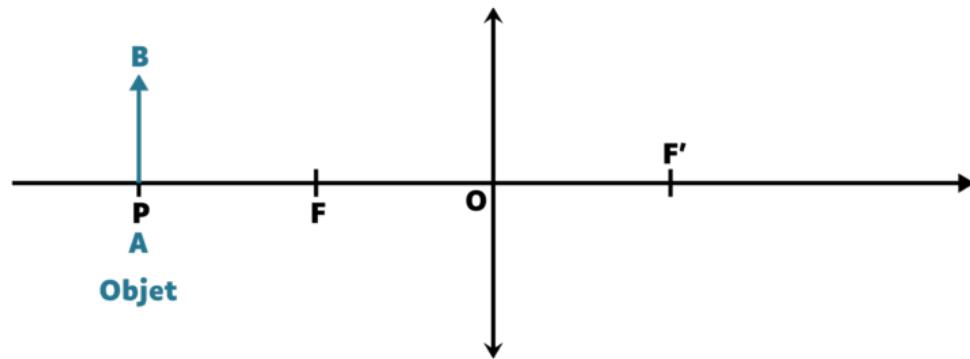
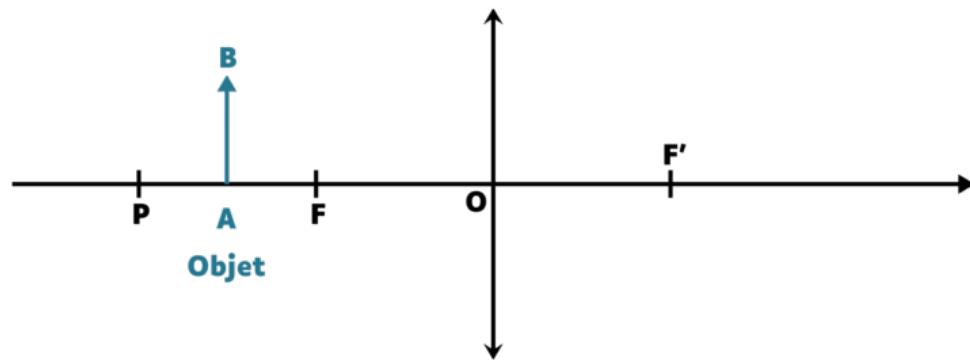
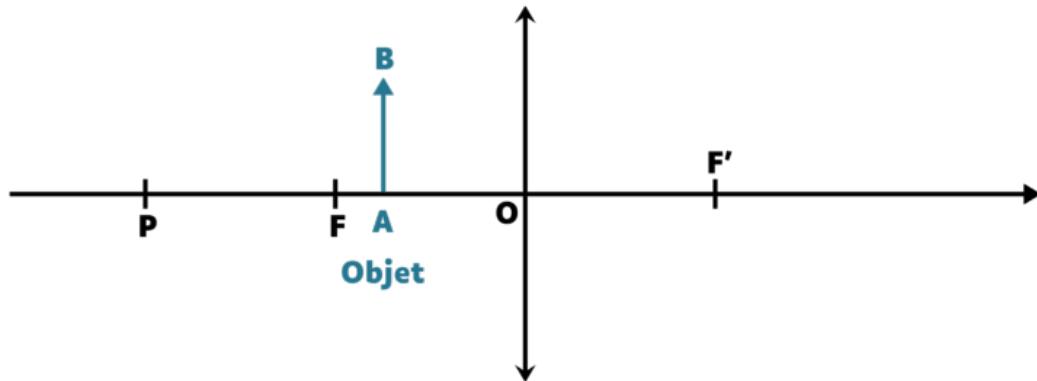
réelle nette, regarder la lampe à travers la lentille pour voir si l'image virtuelle est nette.

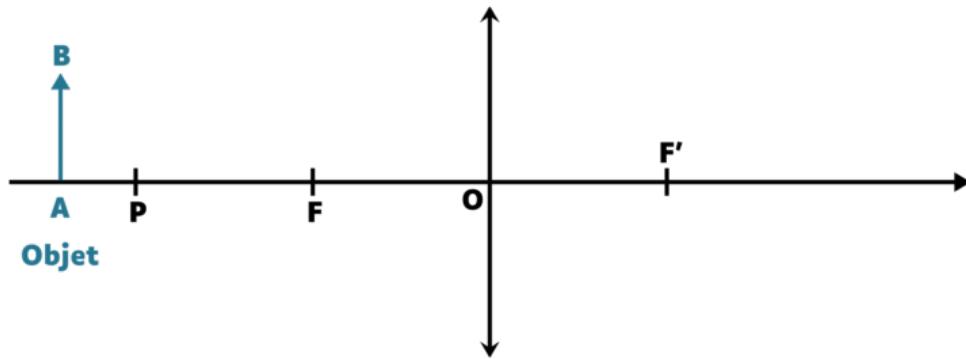
 Répéter l'opération pour trois configurations : $f' < d < 2f'$; $d = 2f'$ et $d > 2f'$.

1 — Consigner vos observations et mesures dans le tableau ci-dessous, sachant que la diapositive « F » a une taille $AB = 1,5 \text{ cm}$.

Position de l'objet	Image réelle ou virtuelle	Image droite ou renversée	Taille de l'image réelle $A'B'$ en cm	Grandissement (si image réelle)
$d < f'$	virtuelle	renversée		
$f' < d < 2f'$	réelle	droite	3	2
$d = 2f'$	réelle	droite	1,5	1
$d > f'$	réelle	droite	0,9	0,6

 Tracer l'image $A'B'$ pour chacun des 4 cas suivants.





2 — Est-ce que l'image $A'B'$ obtenue graphiquement est cohérente avec celles observées dans les 4 configurations étudiées expérimentalement ?

Oui, pour la première situation on n'a pas d'image réelle, mais une image virtuelle. C'est bien ce qu'on observe, avec une image nette en regardant à travers la lentille, mais l'impossibilité de former une image nette sur un écran. Les 3 autres situations correspondent aussi à ce que l'on peut observer dans la réalité.

Activité 2.3 – Les principaux défauts de l’œil

Objectifs :

- Comprendre les trois grands défauts de l’œil et le principe de leur correction.

Contexte : La myopie, l’hypermétropie et la presbytie sont les trois défauts de l’œil les plus courants. Ils sont liés à un problème de **stigmatisme** de l’œil, c’est-à-dire que l’image d’un point ressemble à une tâche, ce qui donne une vision floue.

→ **Comment corriger les problèmes de vue à l’aide de lentilles minces ?**

Document 1 – Vergence d’une lentille

La **vergence** V d’une lentille est l’inverse de sa distance focale, elle s’exprime en **dioptrie**, noté δ

$$V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{OF'}$$

La vergence est positive + pour les lentilles convergentes et négative - pour les lentilles divergentes.

Document 2 – Principe de l’accommodation

Pour qu’un objet soit vu net, il faut qu’il y ait **stigmatisme**, c’est-à-dire que l’image d’un point observé soit un point sur la rétine. Pour assurer ce stigmatisme à toute distance, les muscles ciliaires qui entourent le cristallin peuvent en modifier la forme pour le rendre plus ou moins convergent. Ce phénomène s’appelle **l’accommodation**.

● Pour un objet proche.

Sans accommodation l’image d’un point sur la rétine serait une tâche et on verrait flou. Pour compenser, le cerveau va contracter les muscles ciliaires pour « gonfler » le cristallin et augmenter sa vergence, ce qui permet de former une image nette.

Plus l’objet observé est proche, plus la distance focale f' de l’œil est courte : le foyer image se rapproche du cristallin pour former une image sur la rétine.

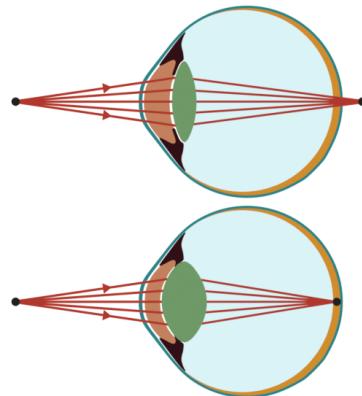
● Pour un objet lointain.

Au delà de 6 m on considère que l’objet observé est à « l’infini ». Les rayons lumineux arrivent alors parallèles sur l’œil, qui est conçu pour former une image exactement sur la rétine. Les muscles ciliaires sont au repos et le cristallin à sa forme normale.

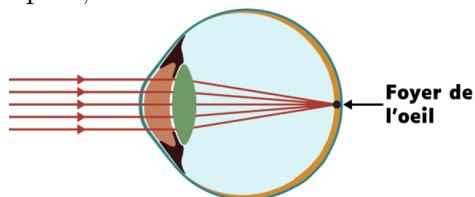
● Limites de l’accommodation.

L’accommodation est bornée par deux distances, le **punctum remotum PR** et le **punctum proximum PP**.

- Le **punctum proximum** est le point le plus proche pouvant être vu net. Pour un œil normal accommodé au maximum, le punctum proximum se trouve à 20 cm. Le punctum proximum diminue avec l’âge : c’est la presbytie.
- Le **punctum remotum** est le point le plus loin pouvant être vu net. Pour un œil normal au repos, le punctum remotum se trouve à l’infini.



↑ Schéma d’un œil normal en vision de près, sans et avec accommodation.



↑ Schéma d’un œil sain au repos.

Document 3 – Les défauts de l’œil et leur correction

L’hyperméropie, la **presbytie**, la **myopie** et **l’astigmatisme** sont des défauts de l’œil où l’image n’est pas formée correctement sur la rétine, ce qui entraîne une vision floue.

Pour corriger ses défauts, on ajoute une lentille mince pour corriger la **vergence** de l’œil, afin que l’image se forme sur la rétine avec un stigmatisme parfait.

On peut considérer que deux lentilles minces accolées sont équivalentes à une seule lentille mince. La vergence de cette lentille est simplement la somme de la vergence des deux lentilles séparées.

● La myopie.

Un œil myope a une vergence $V_{\text{œil}}$ trop élevée, ce qui entraîne une formation de l’image devant la rétine. Pour corriger ce défaut, on ajoute donc une lentille divergente de vergence $V_{\text{lentille}} < 0$ devant l’œil afin de diminuer la vergence totale de l’œil $V = V_{\text{œil}} + V_{\text{lentille}}$.

● L’hyperméropie.

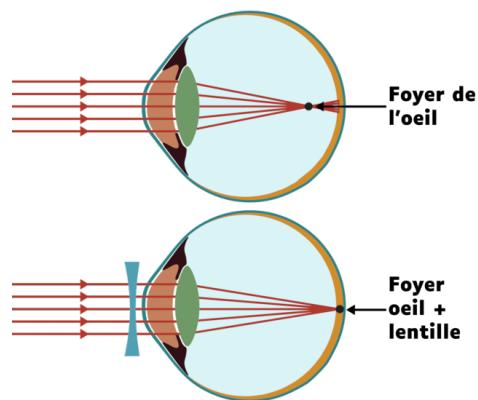
Un œil hypermétrope a une vergence $V_{\text{œil}}$ trop faible, ce qui entraîne une formation de l’image derrière la rétine. Pour corriger ce défaut, on ajoute donc une lentille convergente de vergence $V_{\text{lentille}} > 0$ devant l’œil afin d’augmenter la vergence totale de l’œil $V = V_{\text{œil}} + V_{\text{lentille}}$.

● La presbytie.

Un œil presbyte est comme un œil hypermétrope, sauf que c’est lié à l’âge. En vieillissant le cristallin perd en élasticité et les muscles ciliaires fatiguent, ce qui empêche l’œil d’accommoder de près. On corrige ce défaut comme l’hyperméropie.

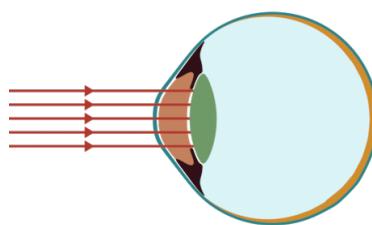
● L’astigmatisme.

L’astigmatisme est lié à un défaut de courbure du cristallin ou de la cornée, qui ne ressemble plus à une sphère aplatie, mais à un ballon de rugby aplati. Pour corriger ce défaut, on crée des verres avec une épaisseur variable pour compenser la surface irrégulière de la cornée ou du cristallin.



↑ Schéma d’un œil myope regardant au loin avec ou sans correction.

✖️ L’œil ci-contre est hypermétrope. Placer son foyer et prolonger les rayons lumineux qui arrivent dans l’œil.



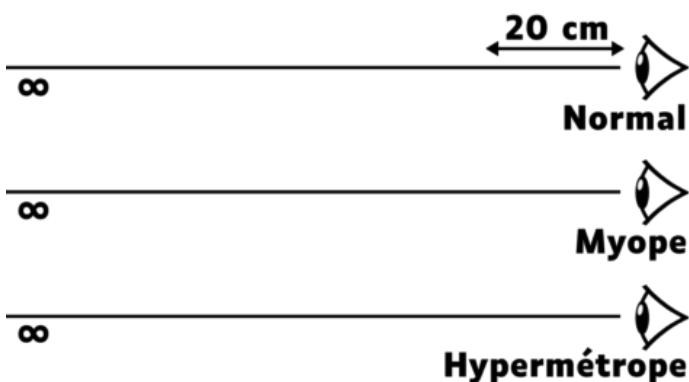
↑ œil hypermétrope

Document 4 – Accommodation d’un œil myope et hypermétrope

Pour un œil myope, le punctum proximum est plus proche de l’œil que pour un œil normal, mais le punctum remotum n’est plus à l’infini.

Pour un œil hypermétrope, le punctum proximum est plus loin de l’œil que pour un œil normal, mais le punctum remotum est toujours à l’infini.

✖️ Placer sur les axes ci-contre le punctum proximum PP, le punctum remotum PR et hachurer la zone de visibilité nette de chaque œil.



↑ Zones de vision nette comparées