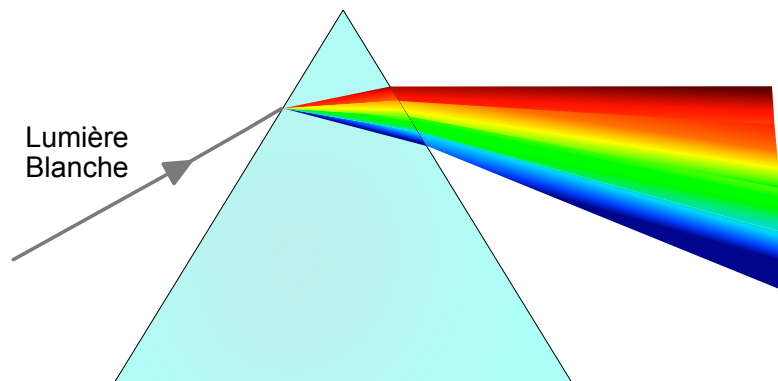


16. Propagation des ondes lumineuses

Lumière blanche

Comme vous l'avez vu au collège, la lumière blanche de notre soleil (et de la plupart de nos ampoules électriques) peut être décomposée par un prisme et contient toutes les « couleurs » qui sont en fait des radiations de longueur d'ondes différentes perçues par nos yeux comme des couleurs :

Décomposition de la lumière blanche par un prisme



Si le prisme sépare ainsi les différentes longueurs d'ondes de la lumière blanche, c'est parce que l'angle de réfraction de la lumière lorsqu'elle change de milieu dépend de cette longueur d'onde.

La réfraction

La lumière se propage en ligne droite, mais lorsqu'elle change de milieu transparent, elle peut changer de direction : c'est la **réfraction**.

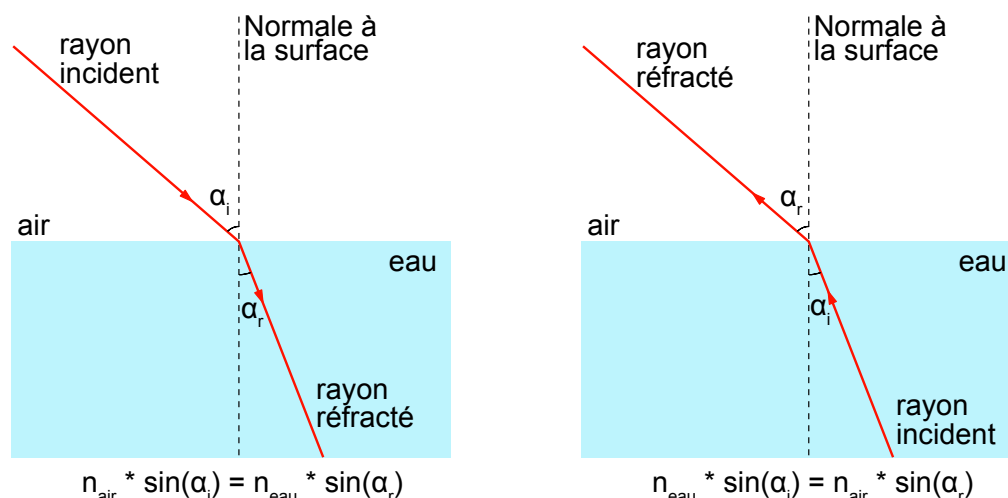
Ce phénomène est visible en mettant par exemple une cuillère dans l'eau : alors que celle-ci est droite, une fois dans l'eau elle semble changer d'angle à la surface de l'eau.

On peut mesurer ce changement d'angle qui va dépendre des deux milieux transparents.

La lumière qui arrive sur une surface est nommée **rayon incident** et celle qui en repart est nommée **rayon réfracté**.

Les angles sont définis par rapport à la perpendiculaire au plan de séparation des deux milieux, cette perpendiculaire est nommée « normale à la surface ».

Réfraction



Lois de Snell-Descartes

Au XVII^e siècle, le physicien néerlandais Willebrord Snell et le physicien français René Descartes ont compilé les travaux effectués précédemment sur l'optique et ont établi des lois sur la réfraction :

Le rayon réfracté est dans un plan défini par le rayon incident et la normale à la surface de séparation entre deux milieux.

Il y a une relation entre les angles des rayons incidents et réfractés qui dépend d'une caractéristique des milieux transparents nommée indice de réfraction :

$$n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$$

Dans cette relation :

- n_1 : indice de réfraction du milieu du rayon incident (sans unité)
- i : angle du rayon incident (en degré ou en radian)
- n_2 : indice de réfraction du milieu du rayon réfracté
- r : angle du rayon réfracté (en degré ou en radian)

Quelques indices de réfractions :

| Matériau | Indice pour une lumière rouge (laser) |
|------------------------|---------------------------------------|
| Air | 1,0003 |
| Eau | 1,330 |
| Verre (type « flint ») | 1,596 |

Cet indice de réfraction traduit la capacité d'un milieu à « ralentir » la lumière : plus l'indice est fort, plus la vitesse de la lumière est ralentie.

Comme la vitesse de la lumière ne peut jamais être supérieure à ce qu'elle est dans le vide, celui-ci a comme indice de réfraction la valeur de 1.

Remarque : L'indice de réfraction d'un matériau dépend aussi de la longueur d'onde de la lumière, ce qui explique que dans un prisme, la lumière blanche puisse se disperser entre ses différentes radiations colorées de base.

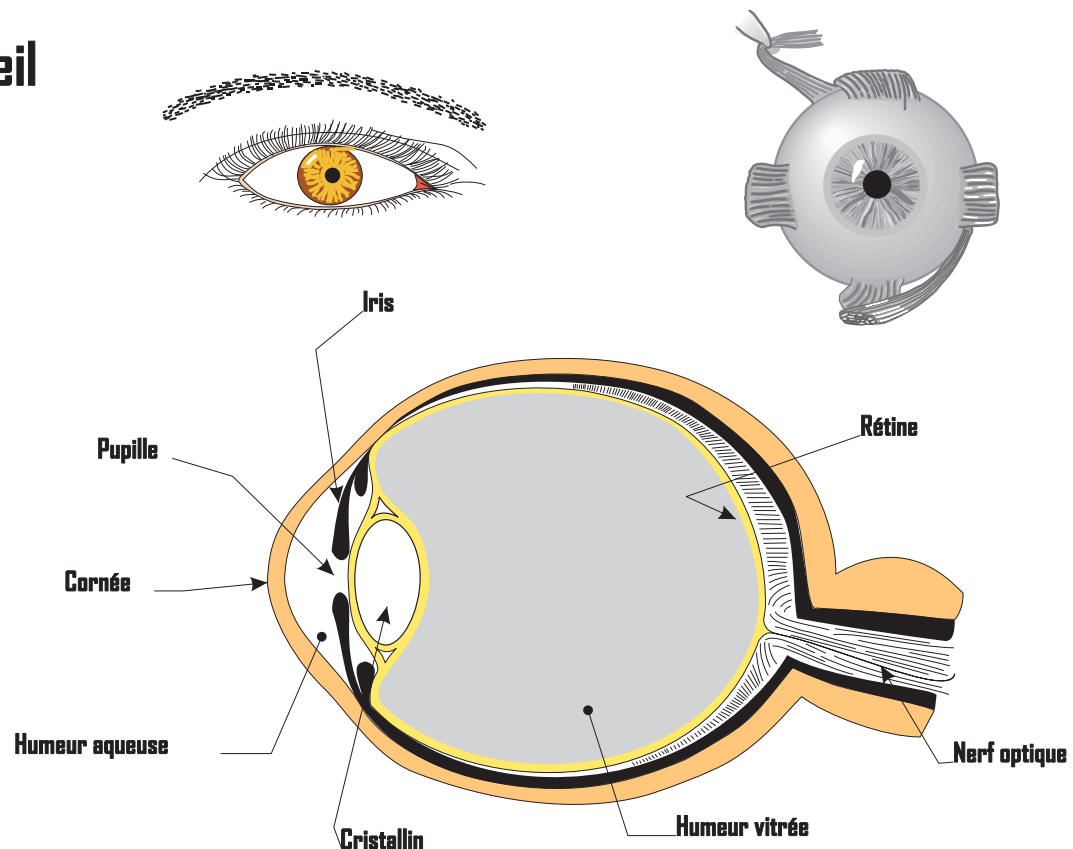
L'œil

Dès l'ère gréco-romaine, des scientifiques se sont intéressés au fonctionnement de l'œil. Les premières représentations de sa physiologie datent du médecin grec Galien (129 à 216 de notre ère), mais c'est le physicien d'origine perse Alhazen (Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham, 965 à 1039) qui a compris le premier les mécanismes de la vision et le fait que la lumière entre dans notre œil, alors que le philosophe grec Ptolémée proclamait l'inverse.

Voyons donc comment fonctionne notre œil et de quelle façon on peut imiter son fonctionnement avec les appareils photos.

Le modèle de l'œil

Oeil



La cornée, transparente, protège le système optique interne de l'œil contre les agressions. Derrière celle-ci on trouve l'iris qui est une peau limitant la quantité de lumière qui peut entrer dans l'œil. Le cristallin a pour rôle de concentrer l'image sur la rétine. L'humeur vitrée sert à remplir l'œil et à maintenir sa forme afin que le cristallin reste à bonne distance de la rétine, où se forme l'image.

Une fois l'image formée sur la rétine, des capteurs (les cônes et les bâtonnets) vont transformer l'image en signal électrique véhiculé par le nerf optique jusqu'au cerveau qui va interpréter celle-ci.

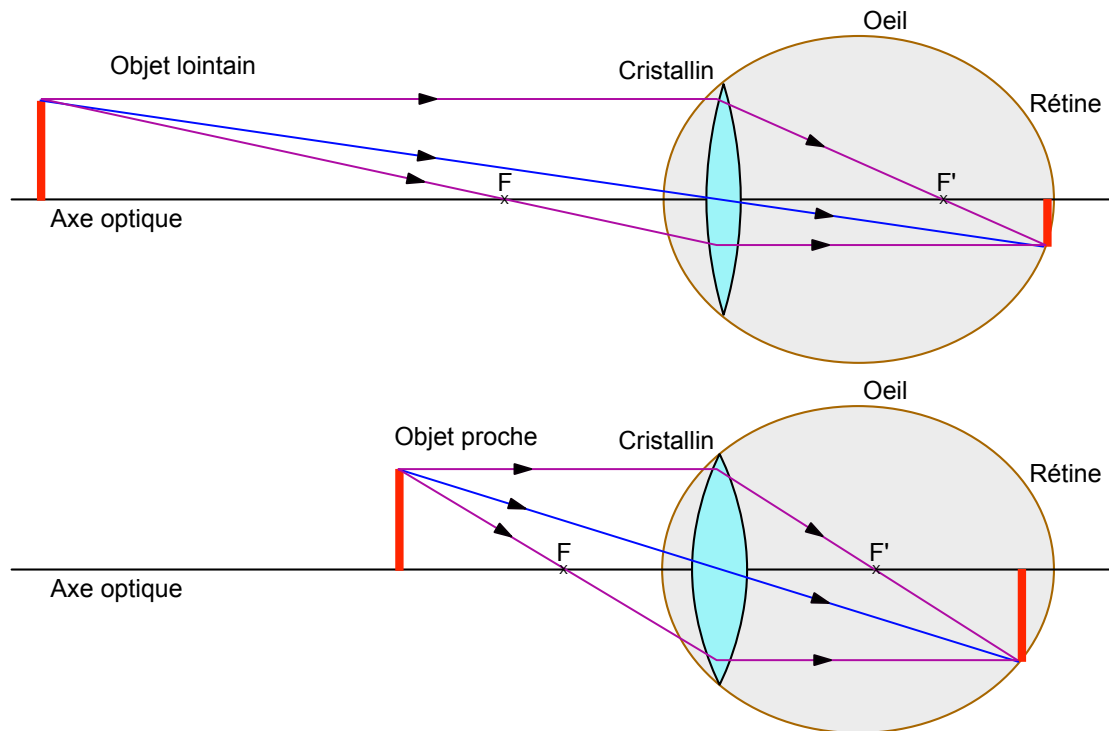
Nous pouvons comparer le fonctionnement de l'œil avec celui d'un modèle réduit de l'œil ou d'un appareil photographique :

| | Limiter la quantité de lumière | Former l'image | Capteur de l'image |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Œil | Iris | Cristallin | Rétine |
| Modèle de l'œil | Diaphragme | Lentille convergente | Ecran |
| Appareil photographique | Diaphragme | Ensemble de lentilles (objectif) | Capteur |

L'œil humain est un système optique composé d'une lentille convergente, le cristallin. Celui-ci est relié à quatre muscles qui peuvent le déformer afin d'effectuer la mise au point : c'est **l'accommodation**.

Lors de cette accommodation, les muscles de l'œil vont compresser le cristallin afin de l'épaissir et de réduire ainsi la distance focale si les objets sont proches ou le relâcher afin de d'augmenter la distance focale pour la vision des objets lointains :

Accommodation de l'œil

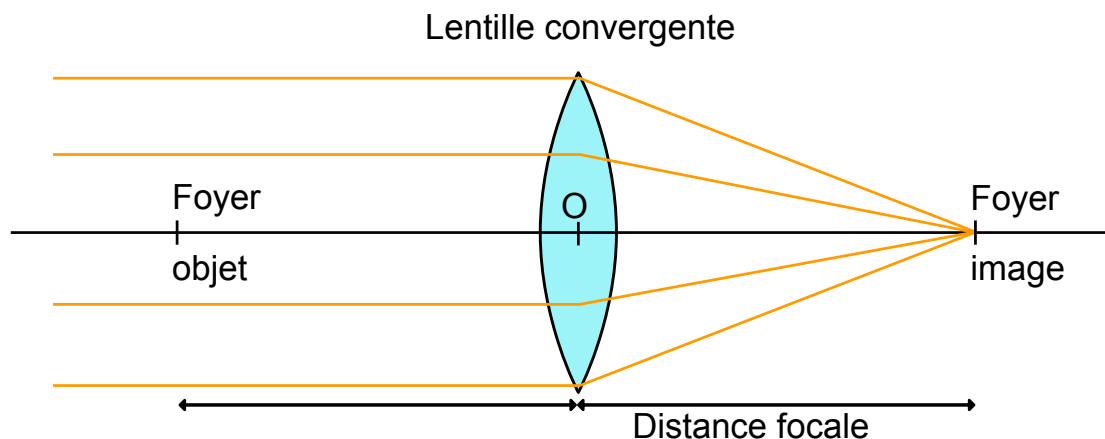


Dans un appareil photographique les lentilles ne peuvent pas se déformer (même si c'est le cas dans les téléphones portables en utilisant des lentilles liquides) et la mise au point, pour obtenir une image nette sur le capteur, est effectuée en déplaçant les lentilles.

Dans la représentation ci-dessus nous avons utilisé trois rayons lumineux pour déterminer la position de l'image sur la rétine. Cette méthode peut être généralisée pour trouver la position et les caractéristiques d'une image en effectuant des **constructions graphiques**.

Dans la suite de ce chapitre nous nous limiterons à l'étude des lentilles minces, aussi appelées lentilles convergentes ou lentilles à bord mince.

Lentilles convergentes



Une lentille convergente **concentre la lumière venant du soleil** (ou d'une autre source de lumière lointaine) **en un point appelé foyer image et noté F'** . Il possède un symétrique à gauche de la lentille qui est nommé **foyer objet noté F** . **Attention** : « foyer objet » ne veut pas dire que l'objet se trouve à ce point, c'est le symétrique du foyer image par rapport à la lentille et donc un point virtuel. Cette différence de dénomination provient du fait qu'on place généralement l'objet à gauche de la lentille et qu'il peut se former une image à sa droite (cela va dépendre de la lentille et de la position de l'objet mais nous allons le voir plus tard)

Le centre de la lentille est nommé centre optique et est noté O .

La distance entre le centre optique O et le foyer image F' est appelé distance focale image et est noté f' (minuscule). Comme c'est une distance, elle s'exprime en mètres (m).

Notons que la distance focale objet f est la distance entre le foyer objet F et le centre optique O .

La distance focale image est la même que la distance focale objet car les deux foyers sont symétriques par rapport au centre optique de la lentille :

$$OF = OF' = f = f'$$

En optique on utilise également une grandeur appelée vergence, notée V qui s'exprime en dioptrie (δ). **La vergence est l'inverse de la distance focale :**

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

Unités :

- V : vergence en dioptries (δ)
- f' : distance focale image en mètre (m)

Constructions géométriques

En connaissant les informations sur une lentille, en particulier la vergence (ou la distance focale) ainsi que la distance d'un objet, il est possible de prévoir où va se former l'image, si elle se forme, et si celle-ci va être nette. Pour cela on effectue une

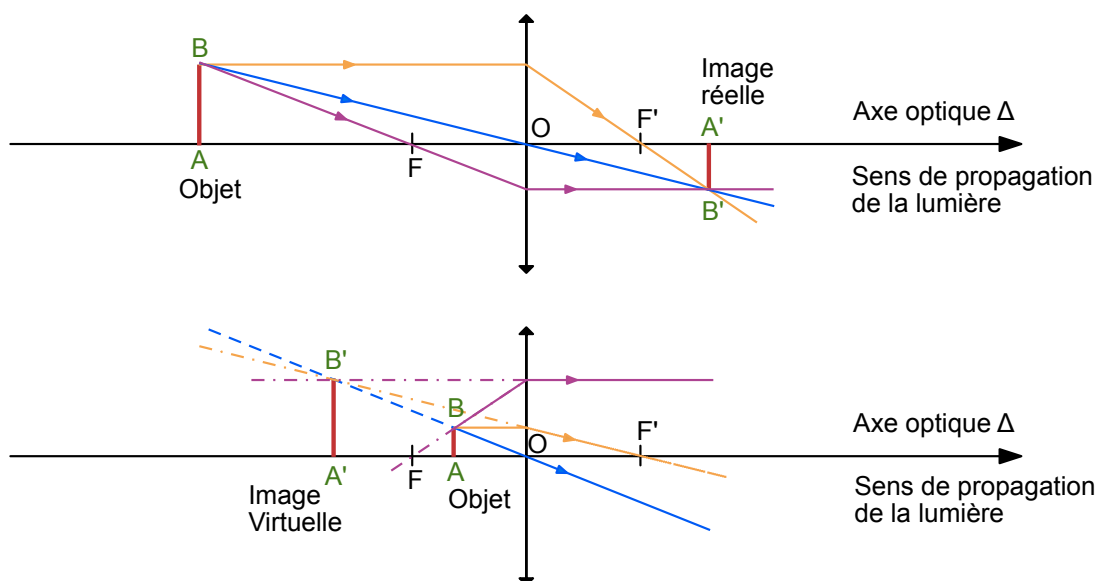
construction géométrique en centrant la lentille sur une ligne droite qui est nommée « **axe optique** » (parfois identifié par la lettre delta : Δ).

Trois rayons lumineux vont alors permettre de situer l'image par rapport à la lentille. Les trois rayons partent du sommet de l'objet. L'un est parallèle à l'axe optique jusqu'à la lentille puis passe par le foyer image F' . L'autre passe par le centre optique de la lentille O . Le dernier passe par le foyer objet avant de devenir parallèle à l'axe optique quand il traverse la lentille.

Pour simplifier le schéma, **la lentille est simplement symbolisée par une double flèche** et les objets et images par des barres verticales qui sont proportionnelles à leurs tailles. Si on respecte les distances à l'aide d'une échelle adaptée, il est possible de déterminer précisément la position et la taille de l'image.

Si l'image est située **à droite de la lentille** (à l'opposé de l'objet), on parle d'**image réelle** et cette image peut être captée ou visible sur un écran. **Si l'image est du côté de l'objet**, on parle d'**image virtuelle** et elle ne pourra pas être enregistrée mais pourra être vue à travers la lentille par l'oeil de l'observateur. La lentille convergente agit alors comme une loupe.

Construction géométrique



Déterminer le grandissement d'une lentille

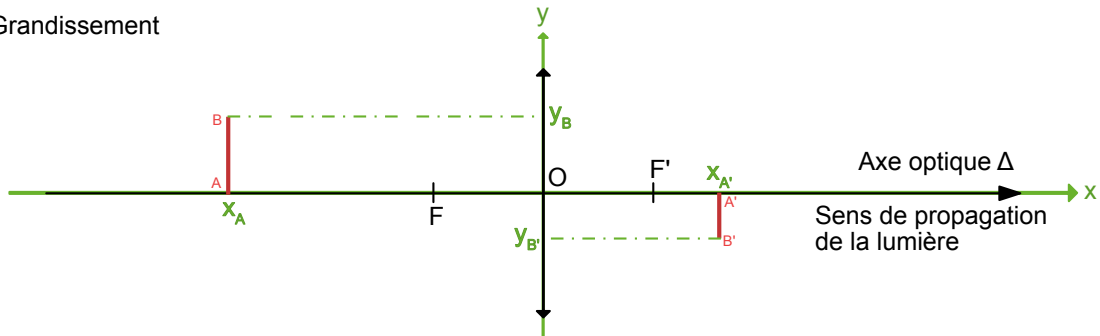
Selon la position de l'objet par rapport à la lentille, nous voyons dans l'exemple ci-dessus que l'image de l'objet peut-être plus petit ou plus grand que l'objet. Il est utile de pouvoir calculer quel est le facteur de grandissement d'une lentille.

Pour cela il faut faire un peu de géométrie : Si nous représentons l'axe optique comme une abscisse (axe des x) et la lentille comme une ordonnée (axe des y), alors les points A , B , A' et B' représentant les deux extrémités de l'objet et de l'image, ont leurs coordonnées dans ce système.

Le grandissement γ (gamma), sans unité, sera simplement déterminé par la relation :

$$\gamma = \frac{y_{B'}}{y_B} = \frac{x_{A'}}{x_A} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Grandissement



La valeur de γ va nous donner des indications sur l'image par rapport à l'objet :

- si $\gamma > 0$: l'image est droite (dans le même sens que l'objet)
- si $\gamma < 0$: l'image est inversée par rapport à l'objet
- si $-1 < \gamma < 1$: l'image est plus petite que l'objet
- si $\gamma = 1$ ou -1 : l'image à la même taille que l'objet
- si $\gamma > 1$ ou $\gamma < -1$: l'image est plus grande que l'objet