

17. Images et couleurs

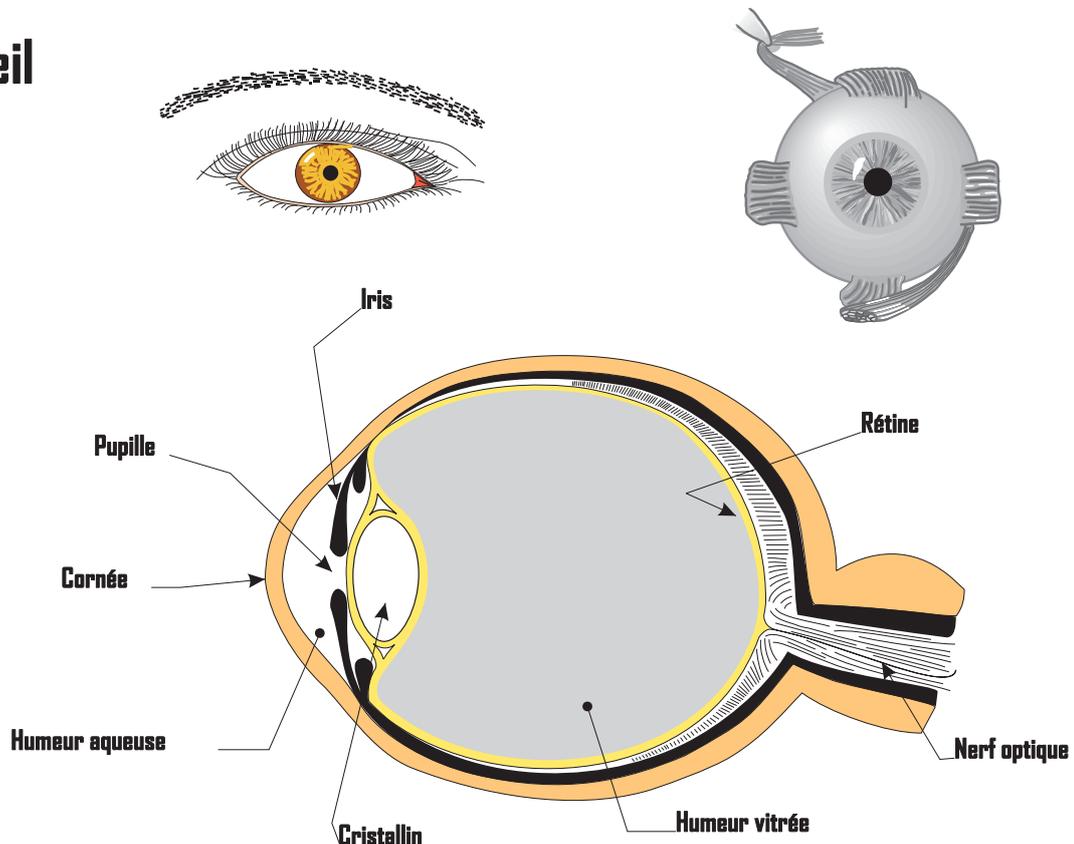
Mise en situation

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.

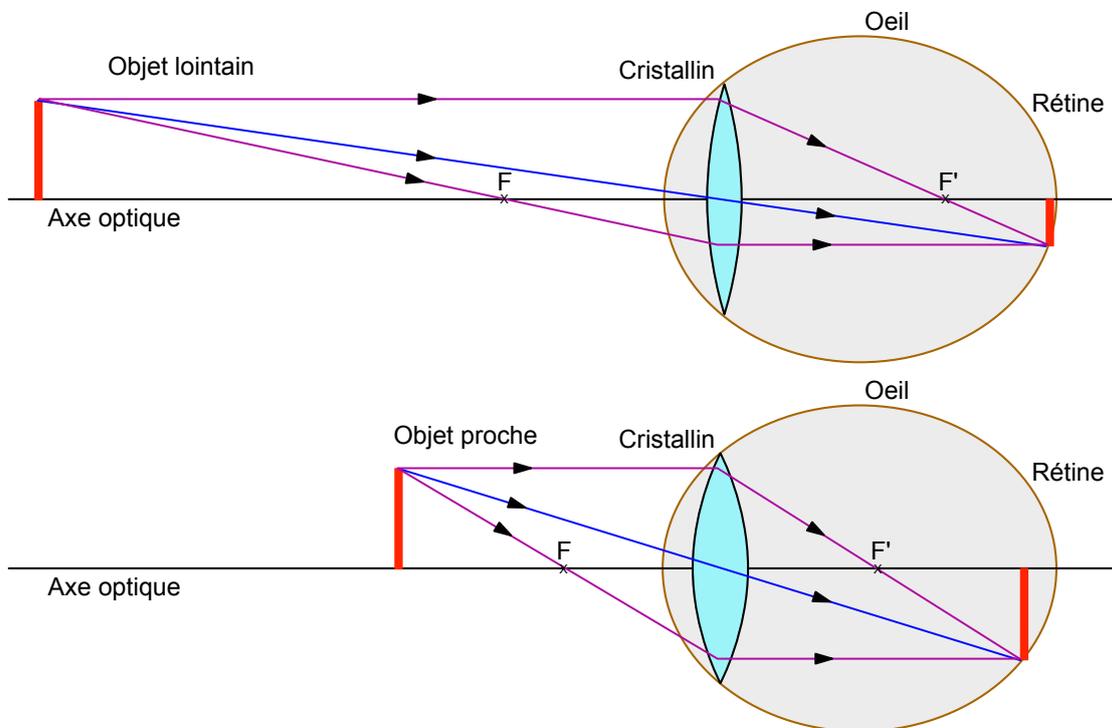
Nous pouvons comparer le fonctionnement de l'œil avec celui d'un modèle réduit de l'œil ou d'un appareil photographique :

	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'oeil 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'oeil

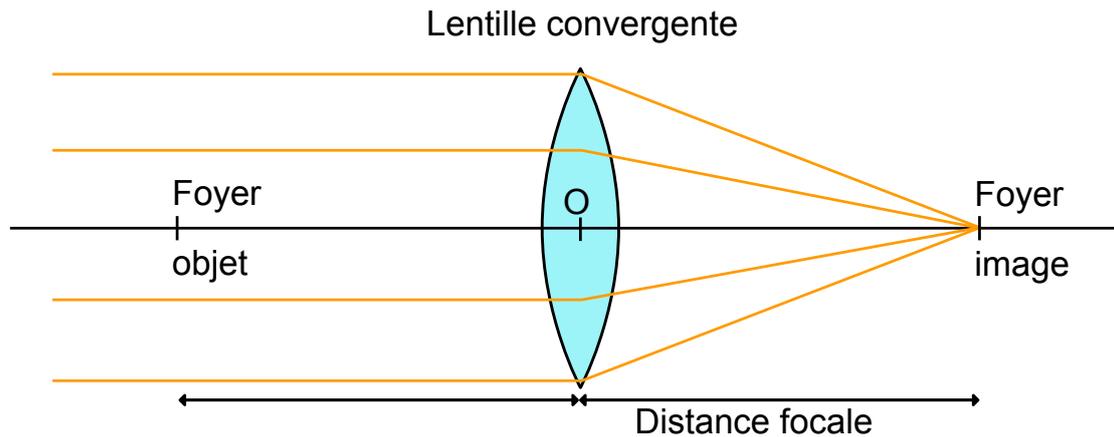


Dans un appareil photographique les lentilles ne peuvent pas se déformer (même si c'est le cas dans les téléphones portables en utilisant des lentilles liquides) et la mise au point, pour obtenir une image nette sur le capteur, est effectuée en déplaçant les lentilles.

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

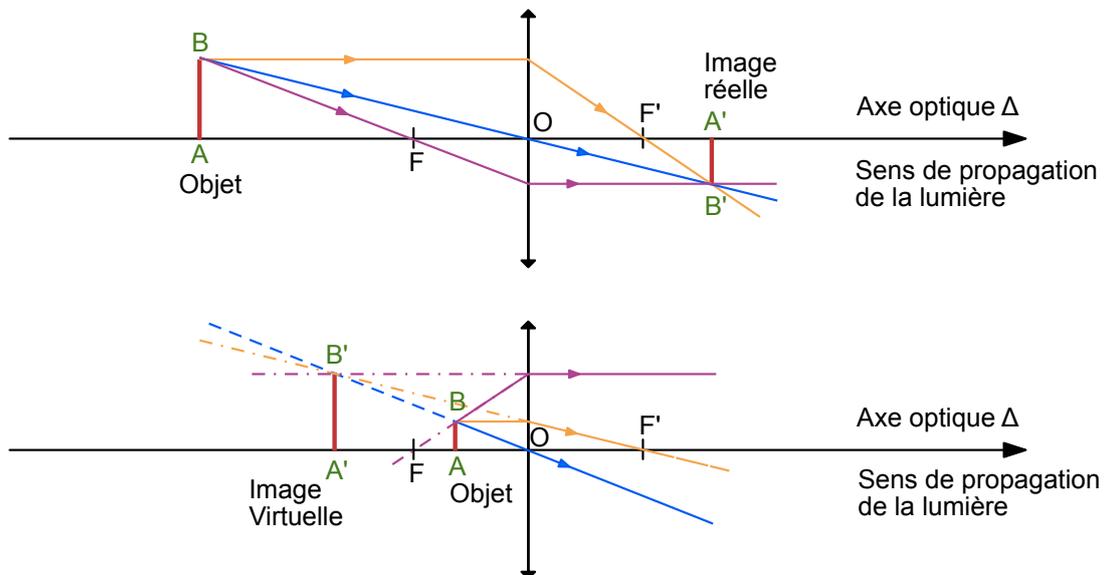
En connaissant les informations sur une lentille, en particulier la vergence (ou la distance focale) ainsi que la distance d'un objet, il est possible de prévoir où va se former l'image, si elle se forme, et si celle-ci va être nette. Pour cela on effectue une construction géométrique en centrant la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



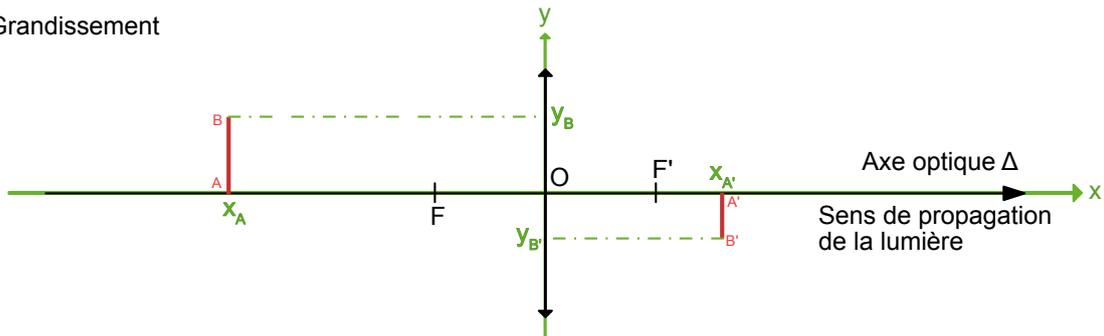
Déterminer le grandissement d'une lentille

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 :

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

Relation de conjugaison

Au XVII^e siècle, le philosophe et scientifique français René Descartes a découvert les lois qui régissent les systèmes optiques. Il en déduit la **relation de conjugaison** pour les lentilles convergentes dans l'air qui relie la **position de l'objet et de l'image avec la distance focale** de la lentille :

$$\frac{1}{x_A'} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'}$$

Dans cette relation x_A' , x_A et f' doivent être exprimés dans la même unité.

Exemple : Une lentille convergente a une distance focale de 50 mm. Elle crée une image nette d'un objet à 85 mm de la lentille. A quelle distance de la lentille se trouve l'objet qui a créé cette image ?

On utilise la relation de conjugaison : $\frac{1}{x_A'} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'}$
 Avec $x_A' = 85$ mm et $f' = 50$ mm donc
 $\frac{1}{85} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{50} \Leftrightarrow -\frac{1}{x_A} = \frac{1}{50} - \frac{1}{85} \Leftrightarrow \frac{1}{x_A} = \frac{1}{85} - \frac{1}{50}$
 le calcul donne $x_A = -121,4$ mm

x_A est négatif, donc l'objet se trouve à 121,4 mm à gauche de la lentille

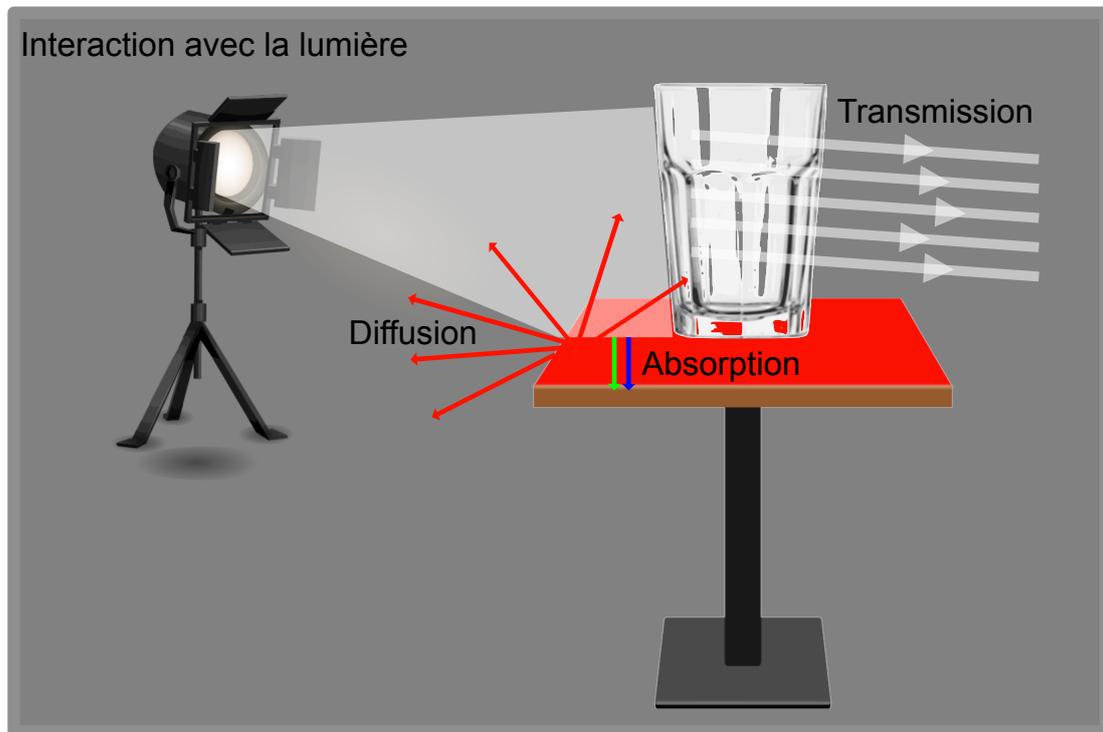
Couleur des objets

Pourquoi tous les objets n'ont-ils pas la même couleur ? Pourquoi des lampes « blanches » différentes vendues dans le commerce ne semblent pas de la même couleur ? Comment notre œil perçoit-il la couleur et comment peut-on créer des couleurs ? Autant de questions qui ont évoluées au fil du temps.

D'un point de vue physique, la notion de « couleurs » contenues dans la lumière blanche a été abordée par Isaac Newton au XVII^e siècle lorsqu'il a décomposé la

lumière du soleil à l'aide d'un prisme et s'est rendu compte que celle-ci contenait de nombreuses couleurs spectrales.

Différentes façons d'interagir avec la lumière



Les objets ont différentes manières de réagir quand ils sont éclairés par une source de lumière :

- **Diffusion** : c'est le cas le plus commun, l'objet renvoie toute la lumière ou seulement une partie d'entre elle. Cette diffusion peut se faire dans toutes les directions ou dans une direction bien précise, comme avec un miroir, on parle alors de **réflexion**.
- **Absorption** : tout ou une partie de la lumière est absorbée par l'objet. Les objets noirs absorbent toute la lumière alors que les objets blancs vont diffuser toute la lumière.
- **Transmission** : Certains objets vont laisser passer la lumière. Si toute la lumière passe à travers l'objet on dit que l'objet est **transparent**. Si seulement une partie de la lumière passe à travers l'objet on dit que l'objet est **translucide**. Un objet **opaque** ne laissera passer aucune lumière mais va la diffuser ou l'absorber.

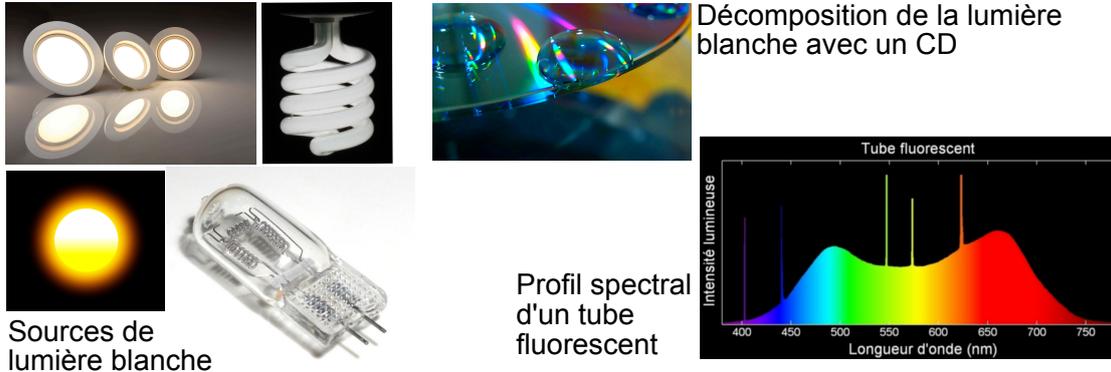
Dans l'illustration ci-dessus, la lampe éclaire la table qui diffuse une partie de la lumière et en absorbe une autre partie. Le verre transmet l'essentiel de la lumière et est donc transparent.

Couleur d'un objet

En collège nous avons vu que les **sources de lumière blanche**, comme les lampes à incandescence, fluocompactes, halogènes, le soleil... émettaient une lumière qui pouvait être **décomposée par un CD, un prisme, un réseau ou des gouttes d'eau**

pour dévoiler un arc-en-ciel de couleurs appelé **spectre continu de la lumière blanche**.

Lumière blanche et couleurs spectrales



Un appareil nommé **spectromètre** permet d'analyser plus finement ces lumières et de déterminer les couleurs, appelées **couleurs spectrales** qu'elles contiennent ainsi que l'intensité de chaque couleur spectrale, comme sur le profil de tube fluorescent ci-dessus.

On constate que même si une source de lumière blanche contient bien toutes les couleurs, elle émet certaines couleurs spectrales plus intensément que d'autres.

Lorsque cette lumière blanche arrive sur un objet, on parle alors de **lumière incidente**, la couleur de cet objet va dépendre de la façon dont celui-ci interagit avec la lumière incidente.

La couleur d'un objet est la couleur de la lumière diffusée, ou transmise dans le cas d'un objet transparent coloré (comme un filtre) , par l'objet. Les autres couleurs spectrales sont absorbées par l'objet.

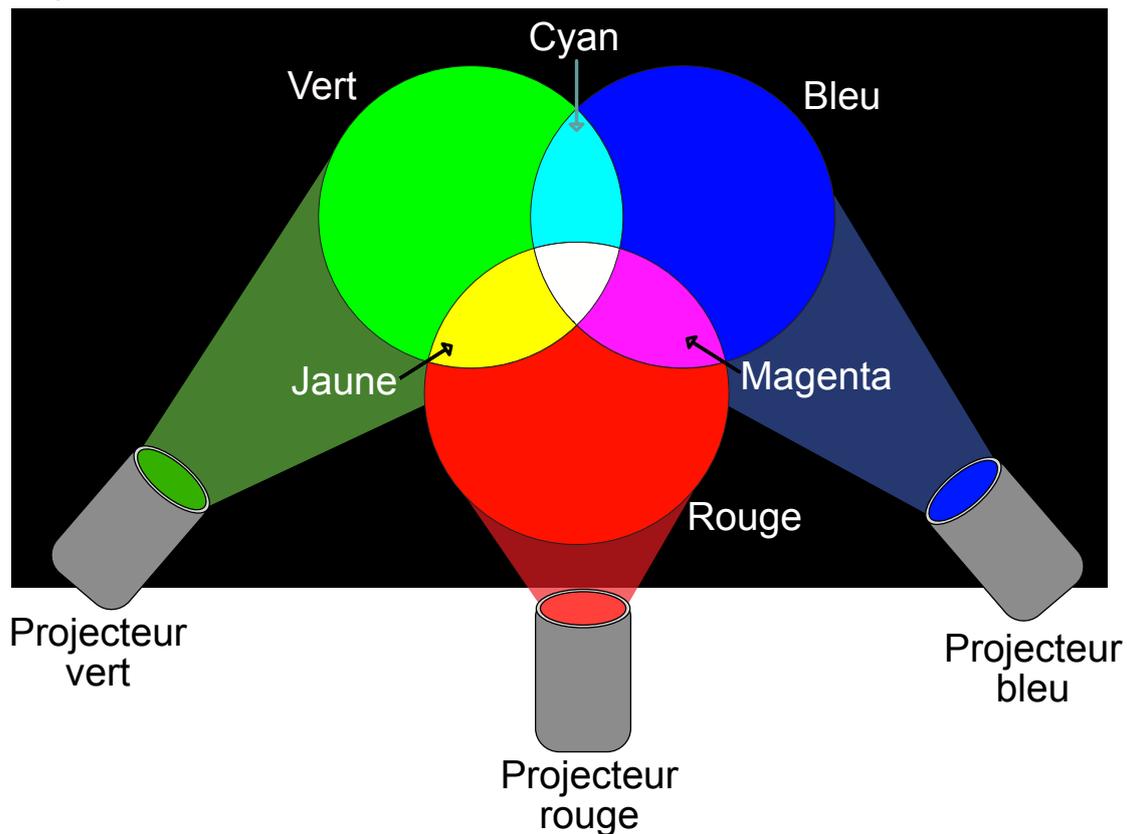
Exemple : Un objet rouge diffuse la lumière rouge et va donc absorber les autres couleurs spectrales, que l'on appelle **couleurs complémentaires**.

Additionner des couleurs : synthèse additive

Pour créer des couleurs sur un écran d'ordinateur, un téléviseur, un téléphone portable ou une salle de spectacle, on va utiliser le principe de l'addition des couleurs : la synthèse additive des couleurs.

Trois couleurs, appelées **couleurs primaires**, servent de base à cette synthèse additive des couleurs : **le rouge, le vert et le bleu**. En observant le spectre de la lumière blanche on remarque que ces trois couleurs sont réparties régulièrement dans le spectre et elles correspondent également aux couleurs perçues par les cônes de nos yeux qui sont les cellules photo-réceptrices de la rétine.

Synthèse additive



En faisant varier l'intensité lumineuse de ces trois couleurs et en les superposant il est possible de créer toutes les couleurs que l'œil humain est capable de percevoir (et même davantage).

En additionnant les couleurs primaires deux à deux on obtient des couleurs nommées **couleurs secondaires : le cyan, le magenta et le jaune :**

- **Bleu + Vert = Cyan**
- **Bleu + Rouge = Magenta**
- **Vert + Rouge = Jaune**

La superposition des trois couleurs primaires donnant à nouveau la lumière blanche. On parle alors de synthèse RVB ou RGB (en anglais : red, green, blue)

En fait, seule l'addition de deux couleurs est nécessaire pour créer la lumière blanche à condition que ces couleurs soient **complémentaires :**

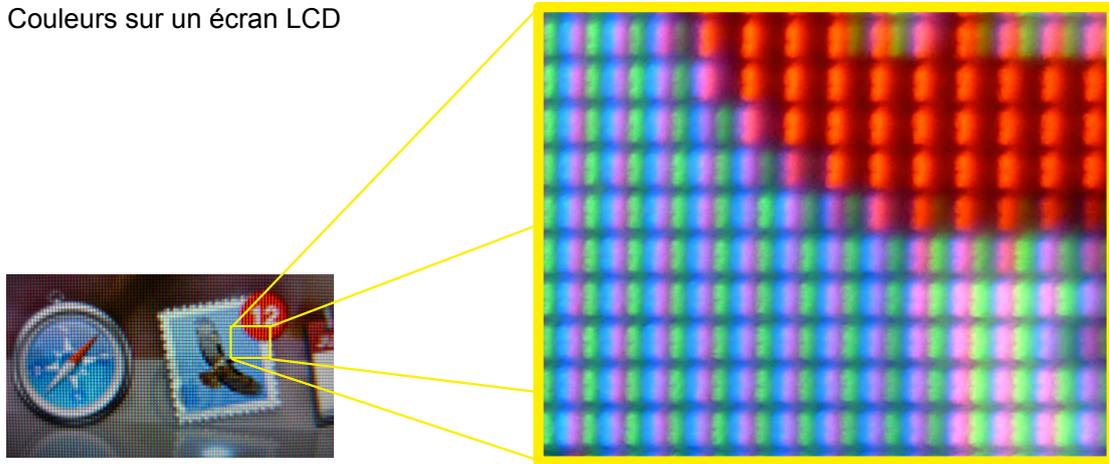
- **Bleu + Jaune = Blanc**
- **Rouge + Cyan = Blanc**
- **Vert + Magenta = Blanc**

Vu que le jaune est déjà l'addition du rouge et du vert, il est normal que si on rajoute encore du bleu on obtienne du blanc.

Si nous revenons à l'objet rouge cité précédemment, nous voyons qu'il diffuse une couleur primaire, le rouge, et absorbe les couleurs complémentaires : le cyan qui est composé de bleu et de vert (vous pouvez vérifier sur l'illustration ci-dessus).

Sur un écran, on effectue l'addition de couleurs en utilisant des sous-pixels rouge, vert et bleu. Trois de ces sous-pixels forment un point (un pixel) de l'écran par addition de leurs couleurs. Il existe plusieurs technologies pour créer ces sous-pixels : cristaux liquides (LCD), diodes électroluminescentes ou organoluminescentes (OLED).

Couleurs sur un écran LCD



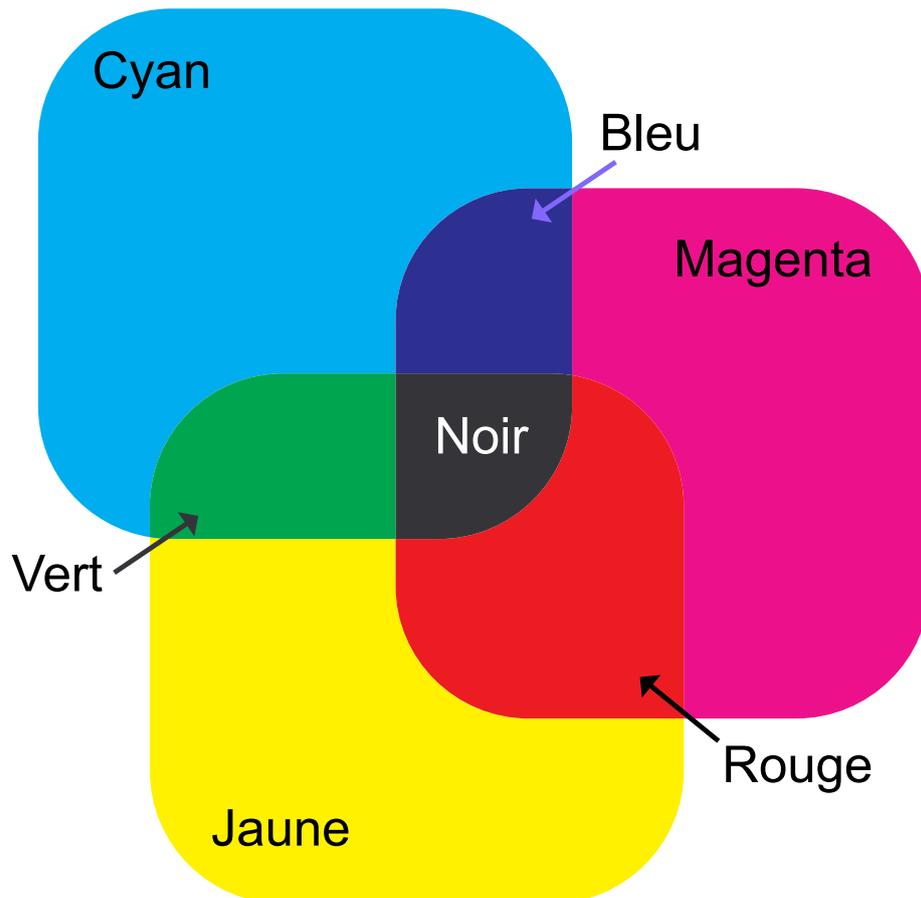
Filtrer les couleurs et dessiner : synthèse soustractive

Lorsque l'on dessine, la feuille de papier est généralement blanche et les couleurs que l'on va appliquer vont donc venir absorber certaines couleurs spectrales, ce qui va donc modifier la feuille.

Le même principe va être utilisé si on superpose plusieurs filtres colorés sur la lumière.

Les trois couleurs de bases sont alors les couleurs primaires de synthèse soustractive : le cyan, le magenta et le jaune. Lorsque ces trois couleurs sont superposées, elles absorbent toutes les couleurs spectrales de la lumière et ne vont donc plus rien diffuser, ce qui donne du noir :

Dessiner avec la synthèse soustractive



Cette méthode de synthèse de couleurs est utilisée dans l'imprimerie où l'on ajoute souvent une encre noire aux trois encres cyan, magenta et jaune afin d'obtenir un noir plus profond et moins coûteux que la superposition de trois encres. Le procédé est alors identifié en impression CMJN ou CMYB (en anglais : cyan, magenta, yellow and black).

L'œil et les couleurs

Notre œil possède deux types de cellules sur la rétine pour capter la lumière :

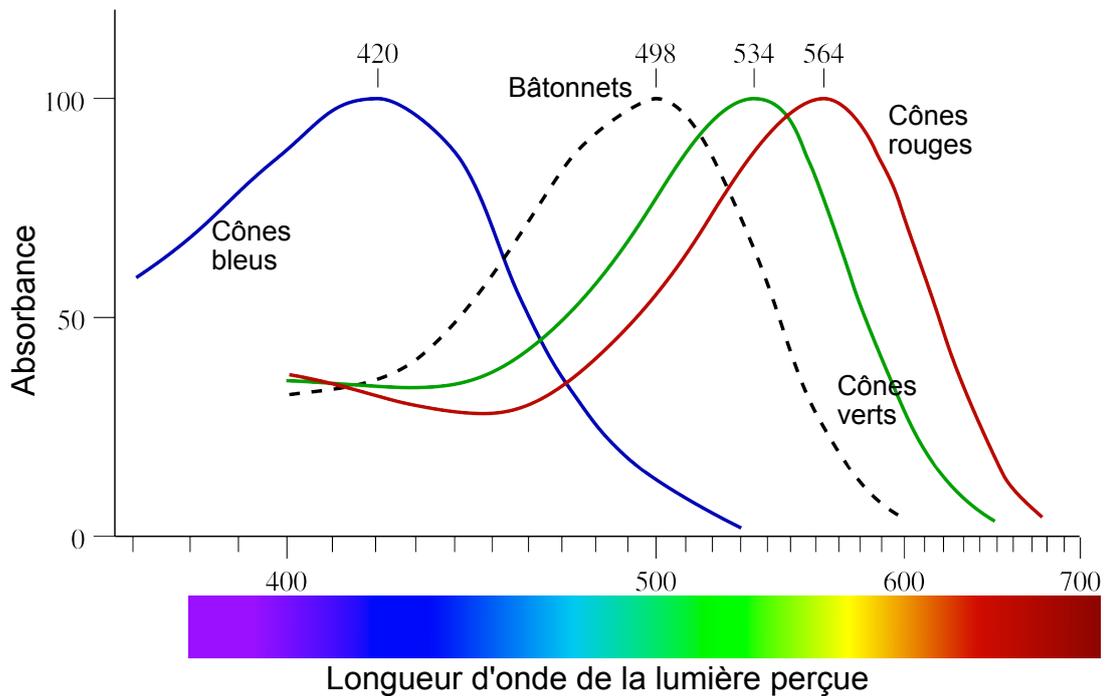
- Des bâtonnets sensibles à la luminosité et qui nous permettent de voir quand nous sommes dans l'obscurité (mais uniquement en noir et blanc).
- Des cônes qui sont sensibles aux couleurs. Nous en avons trois sortes : des cônes sensibles au vert, au bleu et au rouge

Chaque **couleur spectrale** perçue par notre œil correspond à une longueur d'onde différente :

Couleur perçue	Longueur d'onde dans le vide (nm)
Rouge	800-605
Orange	605-584
Jaune	584-573
Vert	573-490
Bleu	490-466
Violet	466-380

Nos yeux sont sensibles de façon différente selon la longueur d'onde de la couleur spectrale perçue :

sensibilité de l'oeil aux couleurs



Ainsi nous voyons que certaines couleurs seront perçues avec davantage de nuances, en particulier dans le vert-jaune car cela correspond à un maximum d'absorbance par les cônes verts et rouges.

Défauts de vision

Certaines personnes ont des défauts de visions dus au mauvais fonctionnement de la perception par un ou plusieurs types de cônes, c'est le Daltonisme. Ce défaut est généralement d'origine génétique et a été décrit par le physicien britannique John Dalton au XVIIIe siècle, qui souffrait de ce défaut. John Dalton est également à l'origine de nombreuses avancées dans le domaine de la découverte des propriétés des atomes.

Le **daltonisme** est utilisé de façon général pour désigner un trouble de perception des couleurs mais correspond en fait à la **deutéranopie**, qui est l'**absence de perception du vert**, qui est seulement l'un des nombreux troubles de ce type nommé **dyschromatopsie**.

Ces troubles vont de l'**achromatopsie**, qui est l'absence totale de perception des couleurs (les personnes ayant ces symptômes ne perçoivent que la luminosité avec les bâtonnets et voient donc tout en noir, blanc et nuances de gris), à la **tritanomalie** qui est une baisse de sensibilité dans la perception du bleu, en passant par des déficiences de réceptions de l'une des trois couleurs primaires.

Dans tous les cas, la couleur perçue par notre oeil correspond aux différentes couleurs spectrales perçues par notre oeil.