



Le synchrotron SOLEIL est une source de lumière exceptionnelle qui permet d'explorer la matière à une échelle allant de la cellule vivante à l'atome. La lumière qui y est exploitée ne comprend pas que la lumière visible à nos yeux, mais également les infrarouges qu'utilisent notamment bon nombre de nos télécommandes, les ultraviolets bien connus de tous et si redoutés surtout l'été, et les rayons X déjà utilisés en médecine pour faire des radios et des scanners.

Depuis janvier 2008, SOLEIL accueille des chercheurs issus de la communauté scientifique française et internationale et travaillant dans des domaines aussi variés que la physique, la chimie, la biologie, la médecine, la géophysique, l'étude des objets d'Art et du Patrimoine... En effet, chaque année, plus de 2500 utilisateurs « académiques » ou industriels viennent réaliser des expériences sur les 29 « lignes de lumière » de SOLEIL, véritables laboratoires de recherche. Ils y utilisent la lumière synchrotron avec des techniques d'analyse de pointe. Ils se tournent vers SOLEIL pour trouver des réponses que ne peuvent pas leur apporter les instruments d'étude plus classiques dont ils disposent dans leurs laboratoires.



Leurs questions sont aussi variées que, par exemple :

- Pourquoi le pigment bleu utilisé par Murillo pour peindre ses ciels a-t-il perdu de sa couleur au cours des siècles ?
- Ce nouveau matériau élaboré a-t-il les propriétés requises pour améliorer le rendement des cellules photovoltaïques ?
- Quelle est la composition des calculs rénaux prélevés sur un malade, afin de choisir le traitement adéquat qui permettra d'éviter la dialyse ou même la greffe de rein ?
- Avant transplantation, le foie de ce donneur est-il sain ?
- Comment se comportent certains matériaux situés dans la partie la plus profonde du manteau terrestre sous l'effet des fortes pressions et des fortes températures qu'il subit ?
- Comment se font les réactions chimiques sur les matériaux utilisés dans les pots catalytiques de nos voitures ? Peut-on les améliorer ?
- Comment déterminer l'âge d'un arbre exotique lorsque son tronc, faute de saisons marquées, ne contient pas de cernes ?

Sans oublier bien évidemment des questions beaucoup plus théoriques et fondamentales sur la structure et les propriétés de la matière.



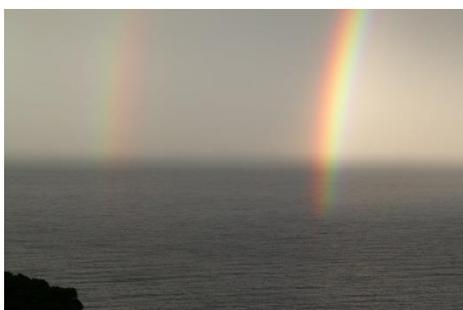
COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

L'homme a toujours voulu poursuivre ses activités au-delà du coucher du soleil, même en l'absence du clair de lune. Le feu fut sa première source de lumière « artificielle ». Jusqu'à la fin du XIXème siècle et l'arrivée de l'électricité, la combustion de différentes substances – graisse, huile de chandelle, pétrole, gaz – constitua la seule source de lumière des foyers et des villes.

Les premiers ouvrages consacrés à l'étude de la lumière datent approximativement de 280 ans avant Jésus-Christ. Y apparaissent déjà les notions actuelles de propagation rectiligne et de réflexion. Malgré tout, à cette époque, il existait une controverse sur le sens de propagation de la lumière : de l'objet observé à l'œil ou de l'œil à l'objet. Elle ne fut levée qu'au début du XIème siècle, grâce au mathématicien, physicien et astronome arabe al-Hasan Ibn al-Haytham plus connu sous le nom d'Alhazen. L'œil est bien un récepteur de lumière qui reçoit la lumière émise – ou réémise – par les objets observés ; et pourtant, on continue à dire aujourd'hui encore « jeter un coup d'œil »

1 Lumières visibles et invisibles ?

L'arc en ciel, phénomène naturel que l'on peut observer lorsque la lumière du soleil passe à travers des gouttes d'eau, est un exemple de spectre : le spectre de la lumière émise par le soleil. De façon plus générale, un spectre est la figure obtenue lors de la décomposition d'une lumière dans les différentes radiations (lumières) qui la constituent.



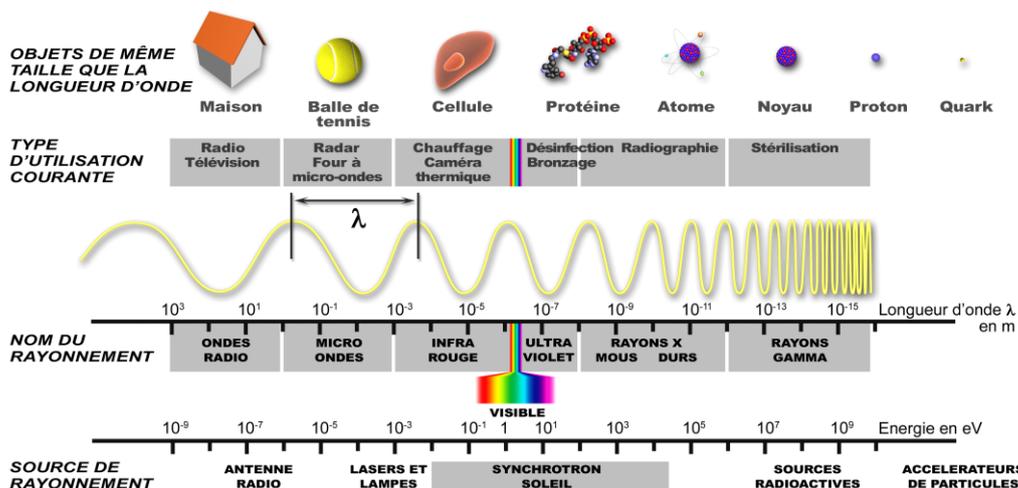
lumière blanche est faite d'un mélange de lumières de couleurs différentes. Il en dénombre tout d'abord 5 (rouge, jaune, vert, bleu et violet) puis s'arrête sur le chiffre 7 par analogie avec les 7 notes de musique de la gamme (rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet), mais en réalité le spectre de la lumière blanche contient un dégradé de couleurs allant du rouge au violet soit une infinité de couleurs !

En 1666, Newton réalise le spectre de la lumière blanche en faisant passer un fin pinceau de lumière venant du soleil à travers un prisme. Ce n'est pas le premier à réaliser un tel spectre, mais il est le premier à comprendre que la

Le soleil n'émet pas seulement de la lumière visible avec nos yeux. En 1800 William Herschel, en déplaçant un thermomètre sur le spectre solaire, constata que la chaleur reçue était plus forte du côté rouge du spectre, y compris au-delà de la zone de lumière visible. Il venait de découvrir les infrarouges.

L'année suivante, Johann W. Ritter met en évidence les ultraviolets, au-delà du violet, grâce à une propriété du chlorure d'argent qui noircit à cette lumière.

La découverte des ondes radio, microondes puis rayons X, vient compléter cette « famille » à la fin du XIXème siècle.



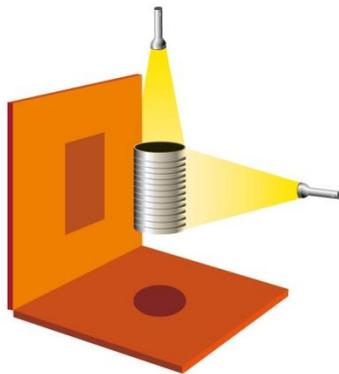
2 La lumière, onde ou corpuscule ?

Depuis les travaux de Maxwell dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, la lumière visible ainsi que toutes les autres radiations présentées ci-dessus sont décrites comme étant des ondes électromagnétiques. Chacune d'elles est alors caractérisée par sa longueur d'onde.

Pour mieux comprendre cette grandeur, prenons l'image d'une onde à la surface de l'eau générée par le jet d'un caillou dans une mare. La longueur d'onde est la distance entre les crêtes de deux vagues consécutives.



Dans certaines de ses interactions avec la matière, la lumière se comporte comme une petite particule appelée photon. Le photon est un corpuscule (petit corps) sans masse qui possède une énergie directement liée à la longueur d'onde précédemment définie. Son énergie est d'autant plus grande que sa longueur d'onde est petite. Ainsi un photon ultraviolet possède une énergie plus importante qu'un photon infrarouge.



Mais alors, la lumière est-elle une onde ou un corpuscule ? La réponse est : ni l'un, ni l'autre, mais les deux à la fois !

Pour tenter de mieux comprendre, regardons une boîte de conserve : en l'observant du dessus, elle nous apparaît comme un disque alors que, de côté, elle a une forme de rectangle. Pourtant, ce n'est ni l'un, ni l'autre, mais la combinaison des deux, soit un cylindre.

Il en est de même pour la lumière, en fonction du type d'interaction qu'elle a avec la matière, elle apparaît soit comme une onde soit comme un corpuscule.

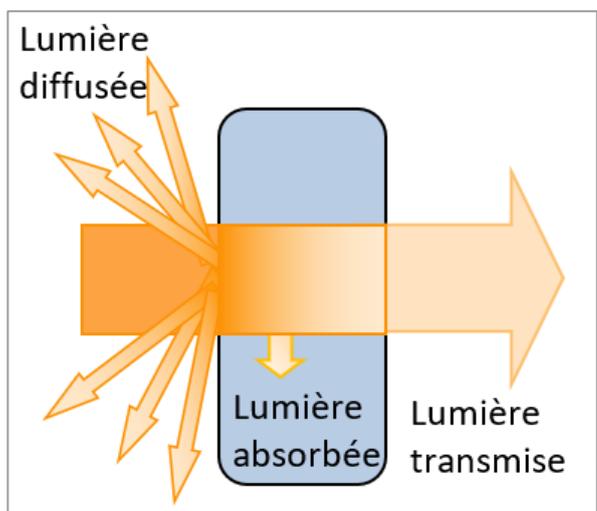
3 L'optique géométrique

Nul besoin de connaître la nature de la lumière pour décrire quelques-unes des propriétés que nous allons maintenant aborder.

Absorption dans un milieu translucide

Un objet translucide éclairé peut :

- À sa surface renvoyer une partie de la lumière incidente dans toutes les directions ; c'est le phénomène de **diffusion**
- Laisser passer à travers lui une partie de la lumière incidente (sans changement de direction de propagation si la lumière arrive perpendiculairement à la surface de séparation, avec changement de direction de propagation dans le cas contraire) ; c'est le phénomène de **transmission**
- Ne pas renvoyer ni transmettre une partie de la lumière incidente : c'est le phénomène d'**absorption**

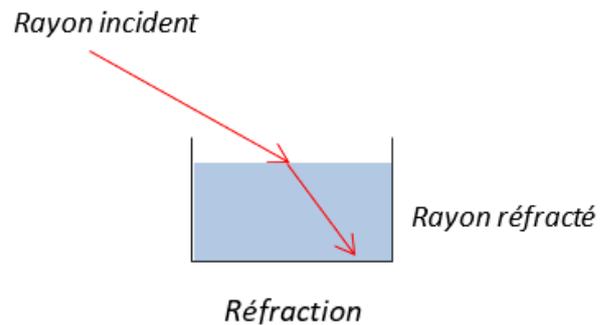


La lumière arrivant sur un objet peut tout à la fois être réfléchi, diffusée, réfractée et absorbée. Cependant, l'un des phénomènes peut être nettement prépondérant comme la réflexion sur la surface polie d'un métal, la diffusion et l'absorption dans le cas d'objets opaques et rugueux, la réflexion et la transmission pour un objet transparent en verre par exemple ...

Lorsque la lumière arrive sur la surface de séparation entre deux milieux transparents

Si le deuxième milieu est transparent, en plus de la réflexion et de la diffusion, une partie de la lumière pénètre dans ce dernier en changeant de direction, c'est le phénomène de réfraction. Si le rayon arrive perpendiculairement à la surface de séparation, il n'est pas dévié.

La réfraction est due à la différence de vitesse de propagation de la lumière dans les deux milieux considérés.

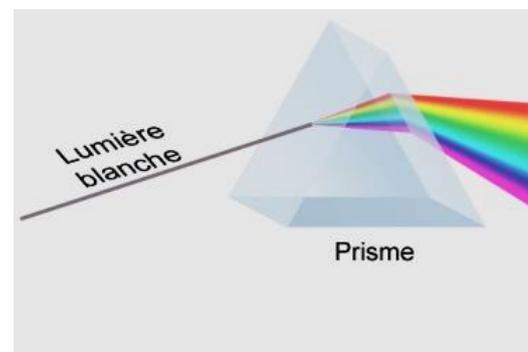


Pourquoi un prisme décompose-t-il la lumière blanche ?

Comme le montre le schéma ci-contre, la direction des rayons de la lumière réfractés dépend de leur couleur, c'est-à-dire de leur longueur d'onde.

Les radiations des différentes couleurs sont ainsi séparées et peuvent être recueillies en des points différents d'un écran placé après le prisme.

Le même phénomène se produit avec la lumière du soleil dans les gouttelettes d'eau lors d'un arc-en-ciel



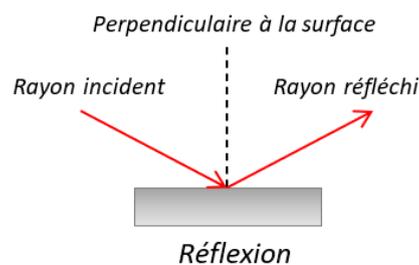
Lorsque la lumière arrive sur la surface d'un objet opaque

Comme chacun sait, la lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène comme l'air (attention, l'air est un milieu homogène sur de faibles distances seulement).

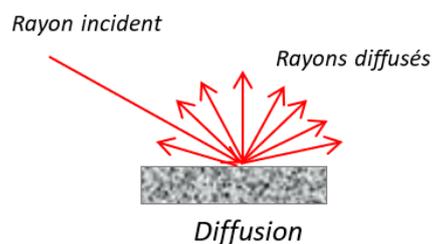
Le rayon lumineux représente le trajet de la lumière d'un point à un autre.

Qu'en est-il lorsqu'elle arrive sur la surface de séparation entre deux milieux, par exemple de l'air – métal, air – plexiglas, air – eau...

Un rayon lumineux qui arrive sur une surface métallique bien polie est renvoyé dans une direction privilégiée, il est réfléchi, c'est le phénomène de réflexion. La direction du rayon réfléchi est symétrique à la direction du rayon incident par rapport à la perpendiculaire à la surface de séparation.



Si le rayon lumineux arrive sur une surface non polie, ou un milieu rempli de fines particules comme les gouttelettes d'eau du brouillard, le rayon incident repart dans toutes les directions, on dit qu'il est diffusé, c'est le phénomène de diffusion



Porte rouge : la lumière qui arrive à l'observateur vient à la fois d'une réflexion (on voit nettement le reflet du flash sur la porte, lumière blanche) et de la diffusion de la lumière des sources lumineuses sur la porte (cette diffusion est responsable de la couleur rouge de la porte en-dehors de la zone où on voit le reflet du flash).

La porte est opaque, aucune lumière ne la traverse.

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Couleur.xml>

4 Lumière et couleur

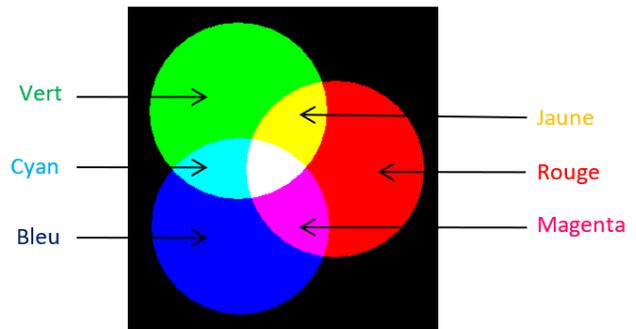
1. Synthèse de différentes couleurs avec la lumière

Les pixels des écrans d'ordinateur ou de télévision sont rouges, verts et bleus. Ils permettent de synthétiser toutes les couleurs souhaitées. Il suffit pour cela de les mélanger dans les bonnes proportions.

Pour déterminer la couleur perçue lors d'un mélange de lumières colorées, on utilise la synthèse additive des couleurs. Elle est appelée ainsi car on ajoute par exemple de la lumière bleue à de la lumière rouge pour faire du magenta. Cette synthèse est aussi utilisée pour l'éclairage des spectacles et pour obtenir des ombres colorées.

Pour résumer :

- Le **jaune** est obtenu par un mélange de lumières rouge et verte
- Le **cyan** est obtenu par un mélange de lumières bleue et verte
- Le **magenta** est obtenu par un mélange de lumières rouge et bleue



Le mélange des trois lumières verte, bleue et rouge dans les bonnes proportions donne une lumière blanche. Ces trois couleurs sont **les couleurs primaires pour la lumière**.

Deux **couleurs sont complémentaires** l'une de l'autre si, par synthèse additive, elles donnent une lumière blanche.

- Le **jaune** obtenu par un mélange de lumières rouge et verte est la **couleur complémentaire** du **bleu**
- Le **cyan** obtenu par un mélange de lumières bleue et verte est la **couleur complémentaire** du **rouge**
- Le **magenta** obtenu par un mélange de lumières rouge et bleue est la **couleur complémentaire** du **vert**

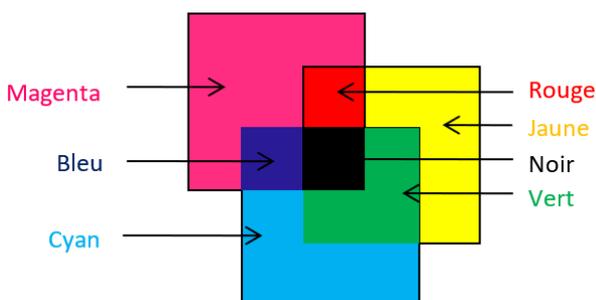
Application : pixels des écrans d'ordinateurs, éclairages de spectacles

2. Synthèse de différentes couleurs avec la matière

Beaucoup plus connue, la **synthèse soustractive** permet de synthétiser les différentes couleurs à partir de pigments de couleur **magenta, cyan et jaune**, comme le font les peintres ou les imprimantes.

Le mélange des trois pigments magenta, cyan et jaune dans les bonnes proportions permettent d'obtenir du noir.

Le mélange du jaune et du cyan donne du vert.



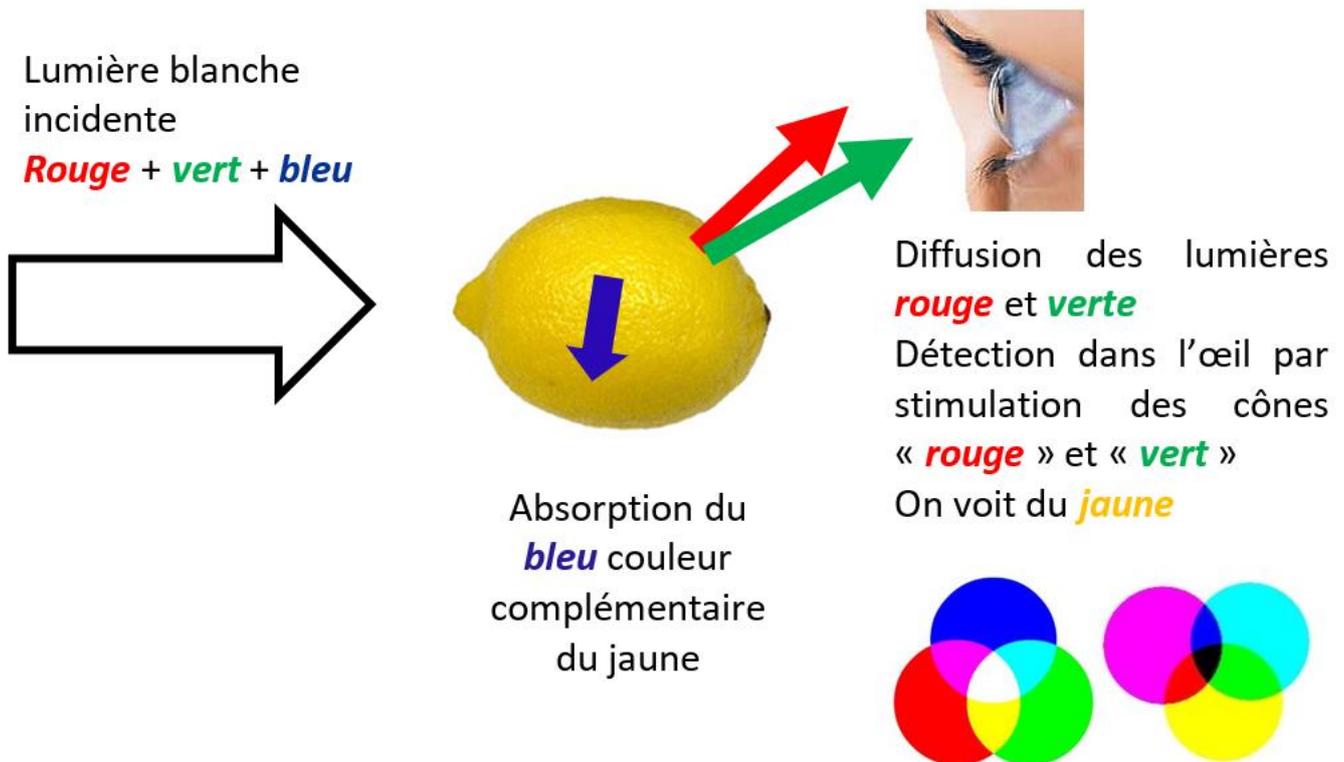
Synthèse soustractive et absorption

- Un pigment perçu magenta absorbe le vert, sa couleur complémentaire.
- Un pigment cyan absorbe le rouge
- Un pigment jaune absorbe le bleu

En absorbant une couleur, les pigments retirent donc cette couleur à la lumière diffusée, d'où le nom de synthèse soustractive

Ainsi, si on mélange un pigment jaune et un pigment cyan, il y a respectivement absorption de bleu et de rouge, on soustrait donc le bleu et le rouge d'où la perception du vert.

3. Vision de la couleur d'un objet



4. Un objet a-t-il une couleur qui lui est propre ?

Interprétation sur deux exemples

Un objet cyan éclairé en rouge est vu noir, pourquoi ?

Le cyan absorbe sa couleur complémentaire, le rouge.

Toute la lumière incidente rouge est donc absorbée, **l'objet ne renvoie aucune lumière**, il est **noir**.

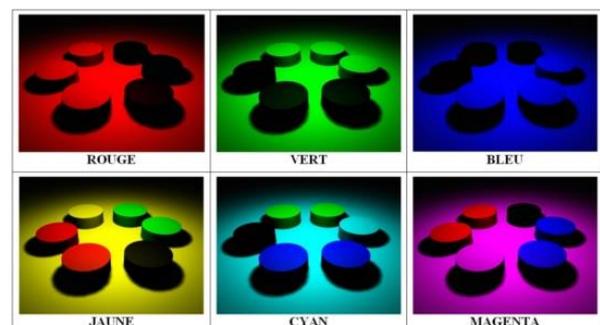
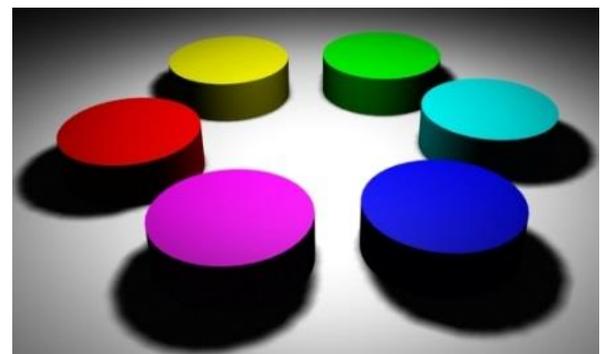
Un objet jaune éclairé en rouge est vu rouge, pourquoi ?

Éclairé en lumière blanche, un objet jaune absorbe sa couleur complémentaire le bleu et renvoie par diffusion du rouge et du vert.

Éclairé en rouge, cet objet renvoie uniquement du rouge (la lumière incidente ne contenait pas de vert)

La couleur d'un objet dépend :

- de la lumière incidente
- des propriétés de la matière dont est fait l'objet : la matière diffuse, absorbe ou transmet les lumières colorées
- de l'observateur



5. L'œil et la synthèse additive des couleurs

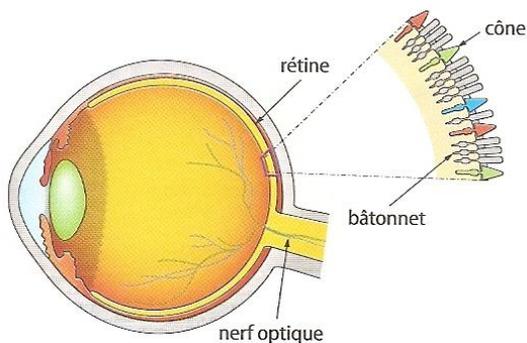
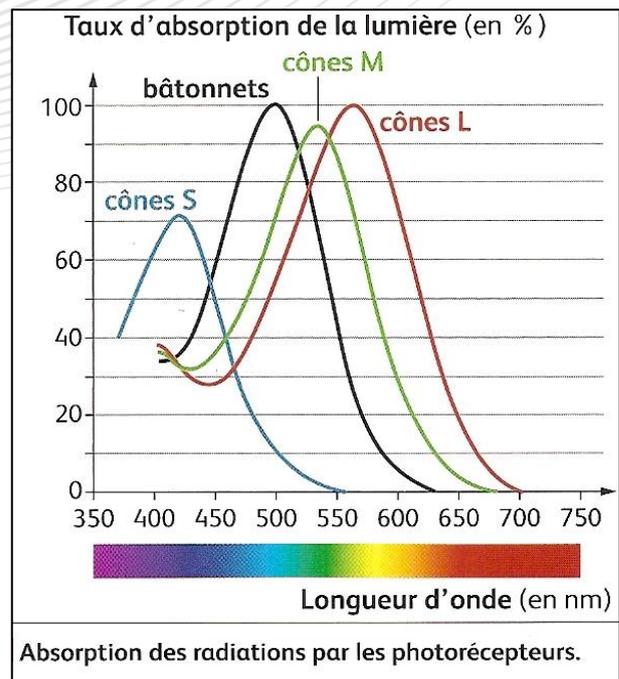
L'œil perçoit des objets grâce aux images qui se forment sur la **rétine**.

Celle-ci est recouverte d'une multitude de **récepteurs photosensibles** : plus de six millions de **cônes** et cent millions de **bâtonnets**.

Les **bâtonnets** permettent de voir par faible v , mais ne permettent pas d'apprécier les couleurs.

Les couleurs sont perçues par l'activation plus ou moins prononcée de trois types de **cônes**, chacun principalement sensible à une lumière colorée : **rouge** (cônes L), **vert** (cônes M) ou **bleu** (cônes S).

Ceci permet d'expliquer le fait que les trois couleurs primaires pour la lumière sont le rouge, le vert et le bleu et qu'elles permettent de reconstituer toutes les couleurs perçues par l'œil.



6. Pour en savoir plus sur la lumière en général et sur la lumière synchrotron

DocSciences numéro 4 juin 2008 : Pleins feux sur la lumière synchrotron.

<http://www.larecherche.fr/idees/histoire-science/quand-vue-change-sens-01-07-2010-75706>

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Couleur.xml>

5 Quelques mots-clés

Lumière : voir le dossier sur les compléments scientifiques

Source lumineuse primaire : objet produisant sa propre lumière (soleil, lampe, écran TV)

Source lumineuse secondaire : objet ne produisant pas de lumière mais pouvant diffuser ou réfléchir tout ou partie de celle qu'il reçoit (planètes, objets visibles...)

Spectre de la lumière : ensemble des longueurs d'onde correspondant à des couleurs dont est composée la lumière. Pour la lumière visible on observe diverses nuances du violet au rouge

Rectiligne : en ligne droite, la lumière se propage de façon rectiligne

Perception des couleurs par addition : synthèse de différentes couleurs avec la lumière On utilise les couleurs rouge, vert et bleu (RVB). La superposition dans les bonnes proportions de ces trois lumières donne de la lumière blanche

Perception des couleurs par soustraction : synthèse de différentes couleurs avec la matière (pigments). On utilise les couleurs cyan, magenta, jaune (CMJ). La superposition des trois pigments dans les bonnes proportions donne du noir

Ombre : zone sombre créée par une forme opaque empêchant le passage de rayons lumineux

Ombre propre : ombre sur l'objet lui-même, partie non éclairée de l'objet

Ombre portée : ombre de l'objet portée sur un écran

Cône d'ombre : espace sans lumière derrière l'objet

Opaque : se dit d'un objet arrêtant la lumière

Translucide : se dit d'un objet diffusant la lumière qu'il reçoit tout en la laissant passer Exemples : verre dépoli incolore ou coloré

Transparent : se dit d'un objet laissant passer tout ou partie de la lumière incidente sans la diffuser Exemples : un verre incolore laisse passer toute la lumière reçue ; un verre coloré laisse passer certaines couleurs et en absorbe d'autres car il est transparent pour certaines couleurs

Réflexion : renvoi de la lumière reçue par certaines surfaces dans une direction privilégiée

Diffusion : renvoi de la lumière reçue par certaines surfaces dans toutes les directions

Réfraction : déviation des rayons lumineux lors du passage d'un milieu à un autre (air-eau par exemple)