

# LES COULEURS

## 1 - Sources de lumière

Les sources lumineuses chaudes produisent à la fois de la lumière et de la chaleur. On peut citer par exemple:

- Les lampes à incandescence (mauvais rendement donc progressivement abandonnées)
- Les étoiles
- Le feu etc..



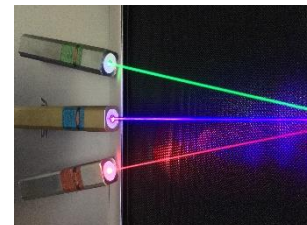
Les sources lumineuses froides produisent essentiellement de la lumière. On peut citer par exemple:

- Le néon (gaz qui, excité par une tension électrique, produit de la lumière).
- Les diodes électroluminescentes (D.E.L.) utilisées comme témoin lumineux d'appareils électrique ou comme phares de voiture.



Une source lumineuse peut être:

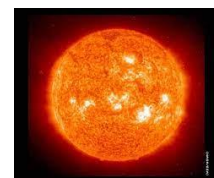
- Monochromatique si elle n'est constituée que d'une seule radiation lumineuse (laser par exemple).
- Polychromatique si elle est constituée de plusieurs radiations lumineuses (lampes spectrales, soleil etc..).



Dans l'obscurité totale on ne voit rien: tous les objets sont invisibles. Pour qu'un objet devienne visible, il doit être éclairé par de la lumière provenant d'une source.

Les sources primaires de lumières produisent leurs propres lumières.

- Le soleil (lumière du jour), le feu, les flammes.
- Les lampes, un tube au néon (néon), laser, téléviseur, les étoiles, les éclairs, les lucioles et le vers luisants, etc...



Les objets diffusants sont des objets éclairés qui renvoient dans toutes les directions, une partie de la lumière qu'ils reçoivent. On dit qu'ils diffusent la lumière.

- La lune diffuse une partie de la lumière qu'elle reçoit du soleil.
- Les planètes du système solaire.
- Un écran de cinéma.



## 2- Caractéristiques de la lumière

La lumière est une forme d'énergie produite par la matière. Pour comprendre comment elle est générée, il faut examiner les constituants même de la matière, c'est-à-dire les atomes.

La lumière a à la fois le comportement d'un corpuscule (photon) et d'une onde (OEM).

Toutefois la lumière ne peut pas avoir les deux comportements simultanément. C'est la physique quantique qui permet de comprendre ce phénomène. C'est la fameuse dualité Onde-Corpuscule de Louis de Broglie.

Un rayon lumineux matérialise le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre. On le représente par un segment de droite, avec une flèche qui indique le sens de propagation.



Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite.

On dit qu'un milieu est homogène s'il possède la même composition et les mêmes propriétés en tout point. Le vide, le verre et l'air sont en général des milieux homogènes.

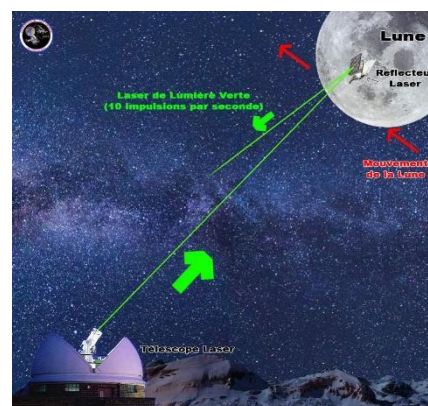
Un milieu est transparent, si la lumière peut s'y propager sans être absorbée.

Un milieu est isotrope lorsque ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions

La vitesse de la lumière dans le vide, que l'on notera  $c$  pour célérité, est une constante physique universelle importante dans de nombreux domaines de la physique.

Sa valeur est d'environ  $3 \cdot 10^8$  m/s ou 300 000 km/s.

Selon la relativité restreinte, la vitesse de la lumière dans le vide est la vitesse maximale que peuvent atteindre toutes formes de matière ou d'information dans l'univers.



La vitesse de la lumière n'est pas la même dans tous les milieux et se propage dans les matériaux transparents (tels que le verre, l'air, l'eau) à une vitesse inférieure à  $c$ .

**Remarque:** La lumière des étoiles a quitté ces astres depuis fort longtemps, de sorte que l'on peut étudier l'histoire de l'univers par l'observation de ces objets distants: "plus l'on regarde loin, plus l'on regarde dans le passé".

### 3- La lumière blanche

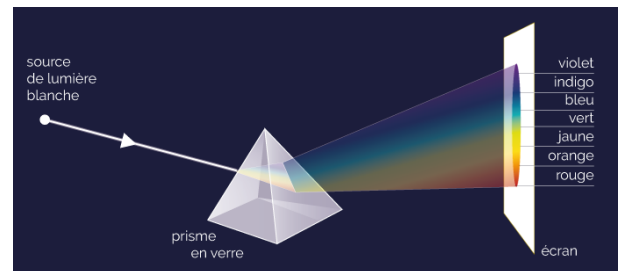
La lumière émise par le Soleil ou par une lampe à incandescence est constituée de toutes les lumières visibles par l'œil humain: elle est appelée lumière blanche.

La lumière blanche est composée de lumières colorées appelées radiations:

- Les couleurs fondamentales: Rouge, Vert et Bleu.
- Les couleurs secondaires: Jaune, Cyan et Magenta.

Le spectre lumineux est l'ensemble des lumières colorées observées. Il y a deux couleurs non visibles, l'ultraviolet et l'infrarouge. L'analyse de la lumière solaire distingue plusieurs couleurs dont les 7 principales sont:

**Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.**



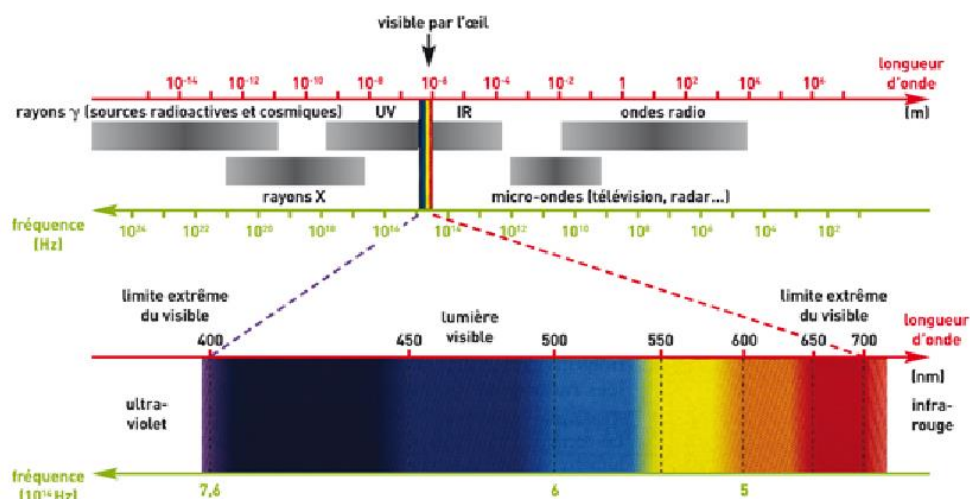
Le spectre de la lumière blanche comporte une infinité de couleur, c'est un spectre continu.

Dans le vide les radiations lumineuses visibles par l'œil humain sont comprises entre 400 nm et 800 nm environ.



Par exemple:

- Une radiation lumineuse bleue possède une longueur d'onde dans le vide de 450 nm
- Une radiation lumineuse jaune possède une longueur d'onde dans le vide de 600 nm



## 4- La synthèse additive des lumières colorées

La lumière blanche est composée de lumières colorées appelées radiations:

- Les couleurs fondamentales: Rouge, Vert et Bleu.
- Les couleurs secondaires: Jaune, Cyan et Magenta.

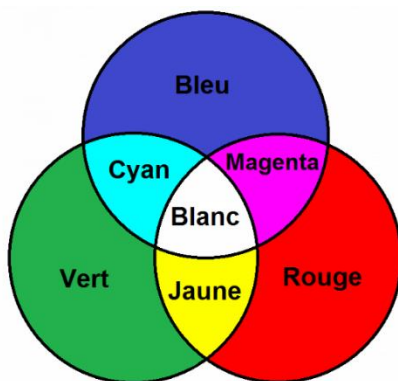
La synthèse additive consiste à superposer sur un écran blanc des faisceaux de lumières colorées fondamentales (Rouge, Vert et Bleu).

Les couleurs secondaires (Jaune, Cyan et Magenta) sont obtenues en superposant les lumières colorées fondamentales deux à deux.

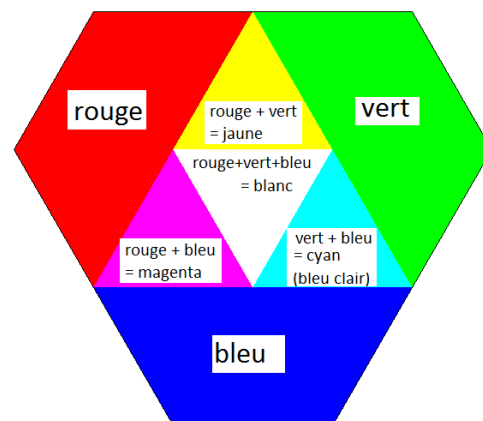
Les différentes teintes de lumières colorées peuvent être obtenues par additions des trois couleurs fondamentales perçues par l'œil.

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

Le blanc est obtenu lorsque les 3 lumières colorées fondamentales (Rouge, Vert et Bleu) sont additionnées.



Synthèse additive

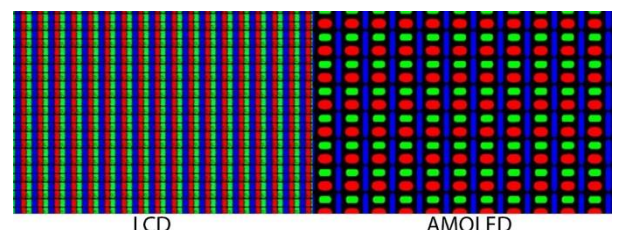


### Remarques:

- Le noir résulte de l'absence totale de lumière.
- En synthèse additive, deux lumières colorées sont complémentaires si leur superposition donne du blanc.

Les écrans d'ordinateurs ou de téléphones portables sont constitués à partir de pixels.

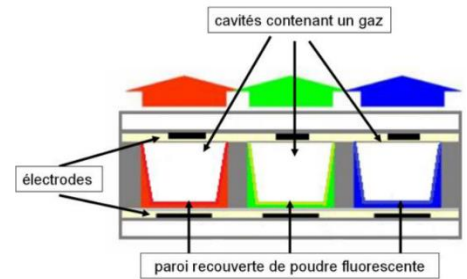
Chaque pixel comporte 3 luminophores (Rouge, Vert et Bleu) possédants chacun une intensité lumineuse précise.



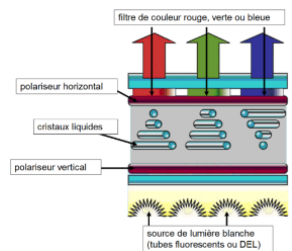
Chaque pixel va donc produire une lumière colorée par synthèse additive, et l'ensemble des pixels va fournir une image sur l'écran.

Dans un téléviseur à écran plasma, un sous-pixel fonctionne exactement comme les tubes fluorescents:

- Une décharge électrique se produit entre deux électrodes.
- Le gaz (sous la forme d'un plasma) émet des rayons UV.
- Les UV sont absorbés par la couche fluorescente qui réémet de la lumière visible Rouge, Verte ou Bleue.



Dans un téléviseur à écran LCD, l'association "polariseurs-cristaux liquides" joue le rôle d'un "store" qui laisse passer plus ou moins la lumière provenant de sources de lumières blanches.

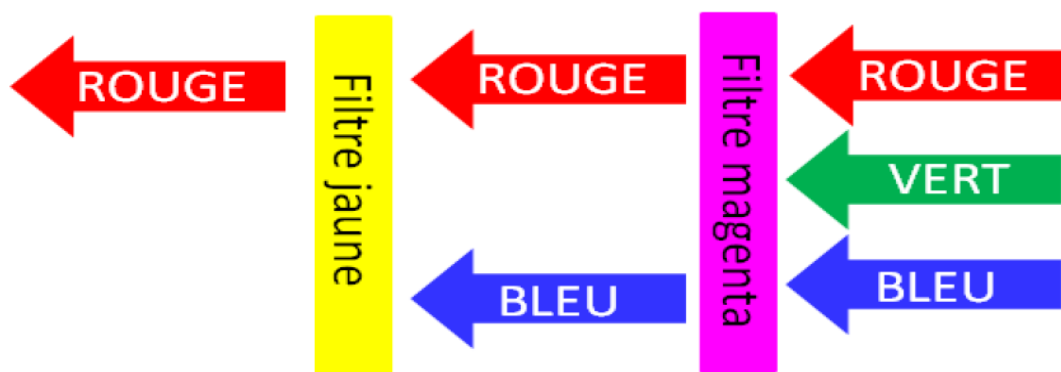


Cette lumière arrive ensuite sur des filtres Rouge, Vert ou Bleu.

## 5- La synthèse soustractive de la lumière

Pour obtenir n'importe quelle couleur sur un écran il suffit de faire traverser la lumière blanche à travers un filtre coloré.

Par exemple, si le filtre est de couleur magenta, toutes les couleurs composant la lumière blanche sont absorbées sauf le magenta. Et si un filtre jaune est disposé à la suite, seule la lumière rouge passera.



La synthèse soustractive est l'obtention de n'importe quelle couleur à partir de l'absorption des couleurs composant le blanc.

A partir de trois filtres Jaune, Cyan et Magenta, on obtient toutes les couleurs.

Ces trois couleurs Jaune, Cyan et Magenta sont appelées couleurs primaires de la synthèse soustractive.

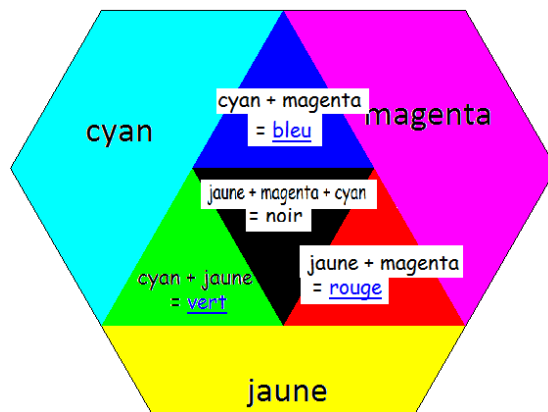
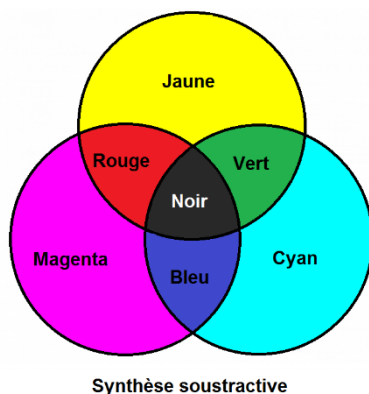


En superposant les trois filtres correspondant aux trois couleurs primaires on obtient le noir qui correspond à l'absence de couleur.

Deux couleurs sont dites complémentaires si leur synthèse soustractive donne du noir.

Par synthèse soustractive:

- Le cyan et le jaune donnent le vert.
- Le cyan et le magenta donnent le bleu (bleu-violet).
- Le jaune et le magenta donnent le rouge (rouge vermillon).



## 6- Couleur d'un objet

Un objet ne peut être vu que s'il reçoit de la lumière, appelée lumière incidente.

Selon que l'objet est opaque ou transparent, il interagit différemment avec la lumière.

Notre œil perçoit des objets colorés car les pigments composant leur surface, telle un filtre, absorbent et diffusent certaines des radiations de la lumière incidente.

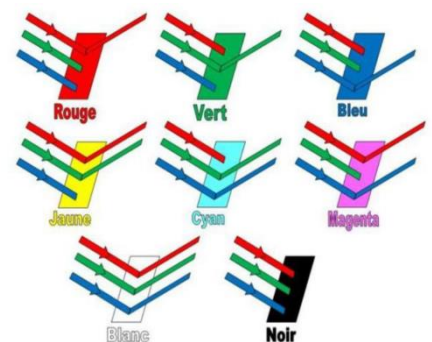
La lumière incidente peut être toute ou en partie:

- Renvoyée dans toutes les directions: c'est le phénomène de diffusion.
- Transmise à travers l'objet s'il est transparent: c'est le phénomène de transmission.
- Absorbée par l'objet (transformée en une autre forme d'énergie, par exemple chaleur): c'est le phénomène d'absorption.

Un objet n'a pas de couleur propre: celle-ci dépend de la lumière qu'il reçoit et des radiations qu'il absorbe.

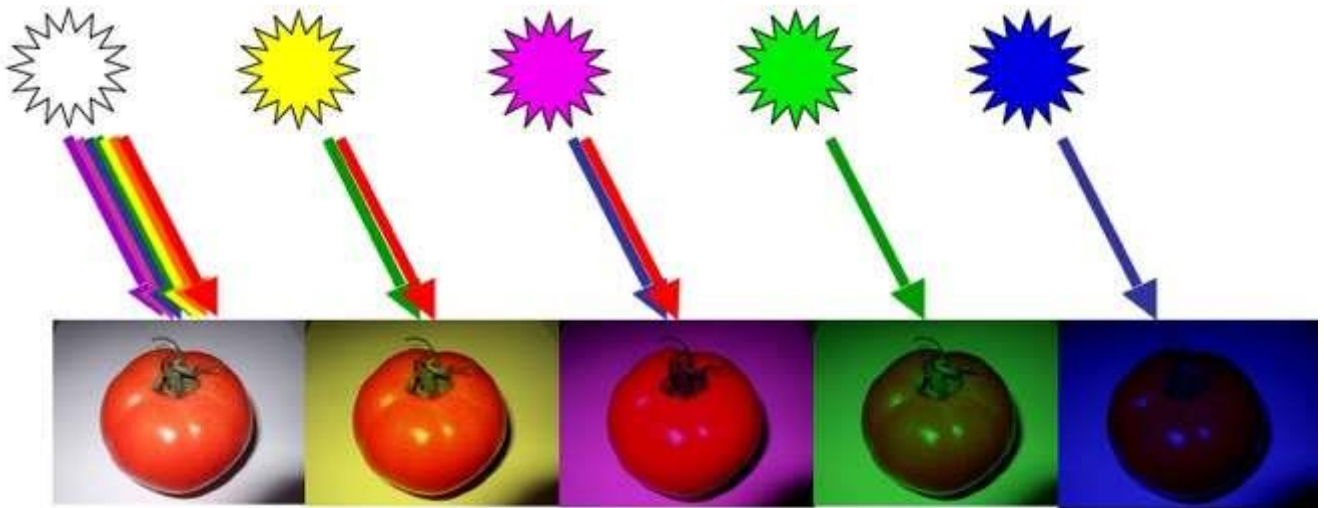
Un objet éclairé par de la lumière, absorbe certaines couleurs et en transmet d'autres.

La couleur d'un objet est la superposition des couleurs transmises qui sont renvoyées.



Eclairée par une lumière blanche, une tomate est vue rouge car:

- Elle absorbe les couleurs bleues et vertes.
- Elle transmet la couleur rouge.
- Si la tomate est éclairée par une lumière jaune ou magenta, elle sera également vue rouge car les lumières jaune (R+V) et magenta (R+B) contiennent du rouge.
- Si la tomate est éclairée par une lumière bleue, verte, ou cyan, elle sera vue noire.



Eclairée par une lumière blanche, un citron est vu jaune car:

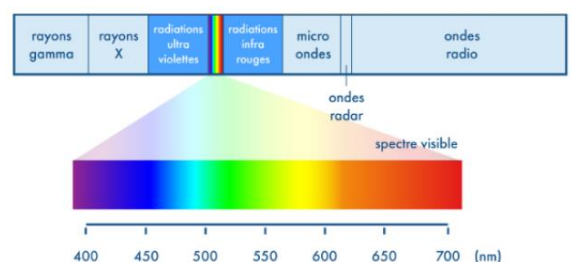
- Il absorbe la couleur bleue.
- Il transmet les couleurs rouge et verte.
- Si le citron est éclairé par une lumière magenta ou rouge, il sera vu rouge.
- Si le citron est éclairé par une lumière verte ou cyan, il sera vu vert.
- Si le citron est éclairé par une lumière jaune ou rouge, il sera vu jaune.
- Si le citron est éclairé par une lumière bleue, il sera vu noir.



## 7- La perception des couleurs

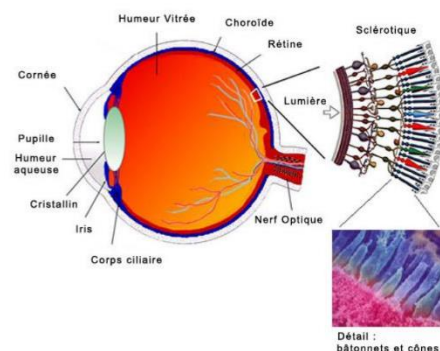
L'œil humain détecte les lumières dont les longueurs d'onde sont situées entre 380 nm et 780 nm.

Il peut percevoir les ondes lumineuses de longueur d'onde inférieure (UV) et supérieure (IR).



Lorsque les rayons lumineux parviennent à nos yeux, ils sont captés par nos photorécepteurs au niveau de la rétine.

L'absorption de photons (grains de lumière) par ces capteurs déclenche une réaction chimique en chaîne, qui induit un signal électrique (influx nerveux) transmis vers le cerveau par l'intermédiaire des nerfs optiques.



### 7.1- Les cellules de traitement de l'information lumineuse

La rétine comporte deux types de cellules sensorielles :

- Des cellules nerveuses en forme de bâtonnets qui permettent de voir dans les faibles conditions d'éclairage (vision nocturne ou vision scotopique).
- D'autres cellules en forme de cônes adaptées à l'éclairage de la lumière du jour (vision diurne ou photopique).

	localisation	nombre	sensibilité	rôle	Vision
bâtonnets	Essentiellement à la périphérie de la fovéa	120 millions	Aux très faibles éclairagements	Vision nocturne	Permettent de voir les objets en niveaux de gris dans l'obscurité
cônes	Au centre, dans la fovéa	7 millions	Aux lumières colorées intenses	Vision diurne	Permettent la vision des couleurs en journée

Les bâtonnets qui se répartissent surtout à la périphérie de la fovéa sont sensibles aux très faibles éclairagements.

Ils jouent par conséquent un rôle important dans la vision en faible luminosité, la nuit par exemple.



Les bâtonnets sont tous identiques, ils ne permettent donc qu'une vision en nuances de gris.

La vision, dans des conditions de faible éclairage, est donc exempte de couleurs. Les bâtonnets ont besoin d'une durée relativement longue pour s'adapter à l'obscurité.

Les cônes se situent dans la fovéa. Ils sont beaucoup moins sensibles que les bâtonnets à la lumière et interviennent donc essentiellement en vision diurne.

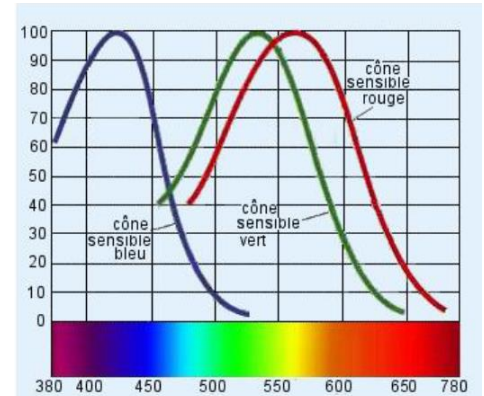
Les cônes (et les bâtonnets) contiennent des pigments, molécules qui absorbent plus ou moins fortement les différentes longueurs d'onde de la lumière.



Les cônes peuvent avoir trois pigments différents, dont les maximums d'absorption sont situés vers 430 nm, 530 nm et 560 nm (les bâtonnets ont tous le même pigment, qui a un maximum d'absorption vers 500 nm).

Il existe donc trois types de cônes qui présentent chacun une sensibilité spectrale à une région du spectre des couleurs:

- Des cônes plus sensibles à la lumière bleue (cônes S short car sensibles aux petites longueurs d'onde à environ 420 nm).
- Des cônes plus sensibles à la lumière verte (cônes M médium car sensibles aux moyennes longueurs d'onde à environ 530 nm).
- Des cônes plus sensibles à la lumière rouge (cônes L long car sensibles aux grandes longueurs d'onde à environ 565 nm).



Il est à noter que la dénomination cônes bleus, cônes rouges, et cônes verts ne signifie pas que les cônes bleus ne peuvent détecter que les couleurs bleues, que les cônes rouges ne peuvent détecter que les couleurs rouges.

Ainsi, en étudiant les courbes de sensibilité spectrales des cônes, on peut constater que:

- Les cônes dits "cônes bleus" sont sensibles majoritairement au bleu mais également au violet et au cyan.
- Les cônes dits "cônes verts" sont sensibles majoritairement au vert mais également au bleu, cyan, jaune et orange.
- Les cônes dits "cônes rouges" sont sensibles majoritairement au jaune-oranges mais également au vert, cyan et rouge. Ils tiennent leur nom au fait qu'ils sont les seuls cônes sensibles au rouge.

Les cônes sont donc les photorécepteurs qui permettent la vision des couleurs pendant la journée. Bien que ces régions soient centrées sur les trois couleurs primaires, elles se chevauchent de manière importante. Les trois types de cônes seront donc stimulés à des degrés divers par une couleur donnée.

Par exemple, une couleur bleu ciel va surtout exciter les cônes bleus, mais également les verts à un degré moindre et très légèrement les rouges. Une lumière jaune ne stimulera que les cônes rouges et les cônes verts. Notre perception des couleurs dépendra donc de la combinaison de ces stimuli.

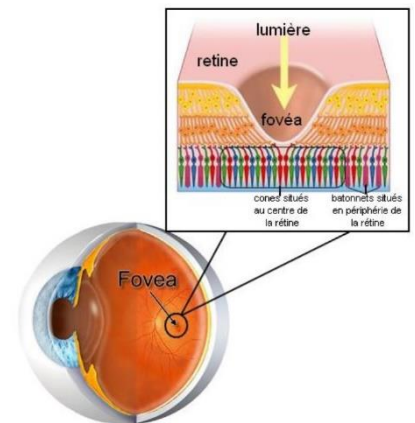
On parle de trichromatie de la vision humaine, dans lequel toutes les sensations de couleur sont obtenues par des excitations variées des trois types de cônes et peuvent donc être produites par des mélanges de lumière correspondant aux longueurs d'onde du rouge, du vert et du bleu.

## 7.2- La fovéa

La fovéa est située près de l'axe optique et reçoit donc les meilleures images. C'est une zone dans laquelle il y a une grande densité de cônes et peu de bâtonnets. C'est elle qui donne les images les plus fournies en détails et en couleurs. Pour examiner un objet, nous devons amener son image sur la fovéa. Pour cela, nous dirigeons notre regard vers lui. La nuit, la fovéa est la zone de la rétine qui est la moins sensible.

Les bâtonnets sont plus denses sur la périphérie. Pour voir des objets de faible luminosité, nous devons donc les observer en "vision périphérique". Il ne faut surtout pas les fixer.

Ainsi, de jour, nous avons une bonne vision centrale, en couleurs, avec une acuité visuelle performante et rapide. Cependant, notre vision nocturne est périphérique, avec une zone centrale aveugle correspondant à la fovéa, qui ne comporte pas de bâtonnets. Elle est unicolore et l'acuité visuelle, moins fine, nécessite une seconde pour être à son maximum.



## 7.3- Le daltonisme

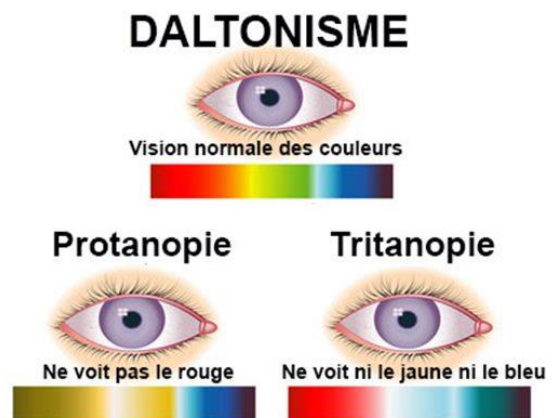
Le daltonisme est une anomalie de la perception des couleurs due à l'absence ou au manque d'un ou plusieurs types de cônes. Cette anomalie de la vision, plus fréquente chez les hommes que chez les femmes peut être diagnostiquée par le test chromatique d'Ishihara. John Dalton, chimiste et physicien (1766-1844) ne percevait pas le rouge. Il donna son nom à cette anomalie visuelle: le daltonisme.

Le daltonien ne dispose pas des 3 cônes normaux pour former les couleurs.

Le daltonien est achromate (monochromatisme) : absence totale de perception des couleurs, les cônes de sa rétine sont dépourvus des 3 pigments habituels qui permettent de voir les couleurs: il a une vision en niveaux de gris. Très rare : 1/40 000.

Le daltonien est dichromate, perception de 2 couleurs seulement (1 cône absent):

- Si le rouge manque, le sujet est appelé protanope.
- Si le vert manque, il est deutéranope (le plus fréquent). Les personnes qui sont affectées sont incapables de différencier le rouge du vert. C'est la forme dont était atteint John Dalton.
- Si le bleu manque, il est tritanope (extrêmement rare).



Le daltonien est trichromate anormal, perception des 3 couleurs d'intensités anormales (1 cône déficient):

- Si le rouge est déficient, il est appelé protanomal.
- Si le vert est déficient, il est deutéranomal.
- Si le bleu est déficient, il est tritanomal.

#### 7.4- La vision des animaux

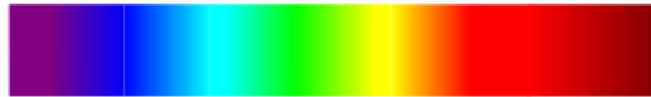
Comme il est difficile de voir par les yeux des animaux, ce que l'on connaît de leur perception des couleurs reste très subjectif. Par l'étude des différents cônes visuels présents chez les animaux, on arrive toutefois à deviner ce qu'ils peuvent voir :

Le chien à moins de cônes que nous et ainsi, il est plutôt daltonien, c'est-à-dire qu'il ne perçoit pas toutes les couleurs (le rouge et le vert).

Spectre de lumière vue par un chien



Spectre de lumière vue par un humain



Cependant, sa vision périphérique est 10 fois plus sensible que la nôtre. Ainsi, il percevra plus rapidement quelque chose qui se déplace à ses côtés et possède une vision globale plus importante: il voit plus de choses que nous. De même, son œil possède plus de bâtonnets par rapport à l'homme et le fond est tapissé d'une couche de cellules (tapetum lucidum) qui agit de la même façon qu'un miroir en concentrant la lumière perçue par la rétine. C'est ce qui donne le reflet un peu métallique des yeux d'un chien lorsqu'il se trouve en face d'une lumière comme une lampe électrique, au même titre que le chat.

Les abeilles possèdent une vision trichromatique, elles perçoivent le vert, le bleu et les ultraviolets. Elles ne distinguent donc pas le rouge.

D'autres animaux perçoivent également les ultraviolets, contrairement à l'homme, comme la langouste, ou la tortue.

Certains oiseaux sont quadrichromiques, (ils perçoivent 4 couleurs).

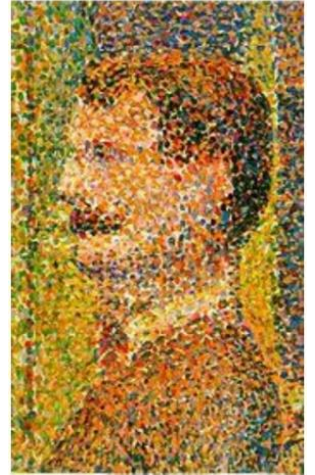
Certains papillons peuvent voir jusqu'à 5 couleurs et beaucoup plus pour certains poissons.

D'autres encore perçoivent l'infrarouge (c'est-à-dire la chaleur émise par un objet ou un organisme), comme certains serpents.

## 8- Utilisation de la synthèse de la lumière

### 8.1- La synthèse additive des couleurs au service de l'art

Vers les années 1880, l'impressionnisme commença à s'essouffler, Renoir l'avait mis à sec, selon ces propres termes. Cette crise se transforma en réaction déterminée quand une nouvelle génération d'artistes essaya de la résoudre par un changement d'orientation. Quelques artistes comme Georges Seurat et Paul Signac se penchèrent sur des théories de la couleur d'Eugène Chevreul.



Le mélange des pigments sur la palette et l'utilisation pure du blanc faisait rapidement vieillir les teintes. Afin d'éviter les salissures du temps et l'inexactitude des couleurs, il remplaça le mélange mécanique de la palette par un mélange optique.

Il utilisa alors la technique de "pointillisme" qui consiste à peindre par petites touches brèves et égales, posées à intervalles réguliers.

Ces points de couleur pure sont juxtaposés (ou divisés) sur la toile au lieu d'être mélangés sur la palette. Cette division des tons doit assurer une luminosité plus intense, surtout si les lois des couleurs complémentaires et des contrastes sont bien observées (rouge-vert, orange-bleu, jaune-violet), le noir étant banni.



Cette technique remplace le mélange mécanique de la palette par un mélange optique. Les couleurs sont constituées par la juxtaposition de petites touches de couleur pures. L'œil du spectateur devient le lieu du mélange, il restitue par les lois de l'optique et sans parasite extérieur, la perception naturelle des éléments.

La peinture devient une vraie analyse scientifique où chaque nuance doit être systématiquement décomposée en certains tons de base. Cet "art scientifique" s'avère un travail épuisant. Seurat mettra souvent un an à peindre une toile, après des dizaines d'ébauches.



## 8.2- La synthèse soustractive des couleurs en imprimerie ou en peinture

La synthèse soustractive est utilisée en peinture et par les imprimantes couleurs : la superposition de pigments (qui remplacent les filtres de la partie précédente) ou d'encre absorbe certaines couleurs de la lumière blanche et en transmet d'autres.

Par exemple, si on mélange de la peinture jaune et de la peinture magenta on obtiendra du rouge. En effet:

- La matière composant la peinture jaune transmet les couleurs rouge et verte et absorbe la bleue.
- La matière qui compose la peinture magenta transmet les couleurs rouge et bleue et absorbe la verte.
- Le mélange de peinture jaune et magenta absorbe les couleurs bleue et verte et transmet la rouge.

Les trois couleurs secondaires de la synthèse additive (le cyan, le magenta et le jaune) sont appelées communément "couleurs primaires de la synthèse soustractive".

Une imprimante contient 4 cartouches d'encres: jaune, cyan, magenta et noire. Le mélange, en différentes proportions de ces trois couleurs permet de restituer l'ensemble des couleurs perceptible.

	Couleurs des encres envoyées par l'imprimante
Pour imprimer du magenta	Magenta
Pour imprimer du cyan	Cyan
Pour imprimer du jaune	Jaune
Pour imprimer du bleu	Cyan et magenta
Pour imprimer du rouge	Jaune et magenta
Pour imprimer du vert	Jaune et cyan
Pour imprimer du noir	Noire

