



Les couleurs

LA COULEUR, UNE SENSATION



Dès que nous ouvrons les yeux, nous baignons dans un univers richement coloré. L'œil humain peut en effet discerner plus de 350 000 couleurs différentes. Depuis toujours, l'homme s'est interrogé sur la nature de la couleur. Matière, fraction de lumière ? Les chercheurs ont montré que la couleur n'a pas de réalité physique ou matérielle, c'est avant tout une sensation.

C'est la sensation reçue par l'intermédiaire de notre œil lors de la vision d'un élément coloré. Elle dépend de la réunion de trois composantes indispensables : l'existence et la nature de l'objet support de la couleur, la lumière qui assure son éclairage et le système de vision œil-cerveau. La couleur est donc un phénomène physique et physiologique.

Pour préciser le vocabulaire, on dira qu'un corps est blanc quand il diffuse la totalité des radiations visibles qu'il reçoit, il est noir s'il les absorbe toutes et gris lorsqu'il les diffuse toutes partiellement. Tout corps qui n'est pas blanc, noir ou gris est dit coloré. Mais dans le langage courant, le terme couleur englobe aussi le blanc et le noir.

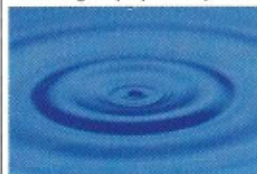
face d'un prisme de verre et obtient une bande multicolore sur un écran blanc qu'il nomme spectre solaire. Le savant comprend que la lumière blanche est un mélange des lumières colorées correspondant à chacune des couleurs du spectre. Selon leur longueur d'onde, elles sont déviées différemment par le **prisme**. Après la décomposition de



la lumière blanche en couleurs, il en fait la synthèse et montre qu'on obtient du blanc avec un mélange de couleurs appropriées. Il place par exemple une lentille convergente entre le prisme et l'écran, la tâche obtenue est blanche.

LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

La lumière est une source d'énergie électromagnétique produite par



le soleil, elle se propage sous forme d'**ondes**, ou vagues (théorie ondulatoire).

Dans notre environnement, nous sommes confrontés en continu à toute une gamme d'ondes électromagnétiques, qu'on mesure par leur longueur d'onde, la distance entre deux vagues. La plupart d'entre elles sont invisibles à l'œil, seuls les rayonnements dont la longueur d'onde est comprise entre 380 et 780 nanomètres, captés par la rétine, provoquent des réactions à l'origine de la perception visuelle. Cette zone, c'est le domaine de la lumière visible. Au-delà, on trouve les rayons infrarouges et avant, les ultraviolets.

LE SPECTRE SOLAIRE

La lumière est composée de radiations comprises entre 380 et 780 nm. Lors de l'expérience du prisme, ces diverses radiations sont déviées. Dans le spectre résultant, les composantes de la lumière sont juxtaposées selon leur longueur d'onde : on obtient un spectre continu, sans interruption du violet au rouge en passant par tous les tons intermédiaires. Pour simplifier, on a découpé le spectre en six couleurs de base : violet (380-440 nm), bleu (440-510 nm), vert

(510-560 nm), jaune (560-610 nm), orange (610-660 nm), rouge (660-780 nm), avec tous les **tons intermédiaires**. À chaque longueur



d'onde du spectre correspond une couleur, qui est dite monochromatique ou pure. Le laser par exemple est un rayon de lumière monochromatique très dense. Certaines couleurs comme le beige ne sont pas présentes dans le spectre mais on les retrouve en additionnant des longueurs d'ondes. Ces couleurs sont dites polychromatiques.

Ensemble, les radiations du premier tiers du spectre donnent la sensation du bleu violet, le deuxième tiers du vert et le troisième tiers du rouge. De même, les radiations des deux premiers tiers du spectre donnent la sensation du bleu cyan, les deux derniers tiers du jaune, et le mélange des radiations du premier et dernier tiers sont perçus comme le rouge magenta.

L'INTERACTION LUMIÈRE-MATIÈRE

La lumière du soleil qui frappe la surface des objets de notre environnement est blanche. Pourtant nous les voyons en couleurs. L'explication est simple : les objets absorbent certaines ondes lumineuses colorées et réfléchissent les autres : ce sont celles-là que nous percevons. Pour bien comprendre, il faut imaginer la lumière sous forme de particules ou grains d'énergie appelés photons (théorie corpusculaire de la lumière). Parmi les photons qui atteignent une feuille d'arbre par exemple, ceux des ondes

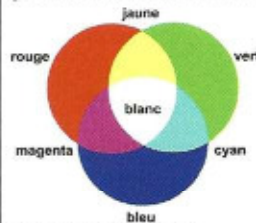
lumineuses de la gamme des rouges et des bleus sont absorbés par la chlorophylle et ceux des ondes lumineuses de la gamme des verts sont réfléchis, donnant à la feuille sa couleur verte. La couleur d'un objet dépend de la lumière qui l'éclaire. Un objet éclairé sous lumière artificielle en magasin aura une teinte légèrement différente à la lumière du jour. Sous une lumière bleue, une tomate va paraître noire et un citron sera brun-vert.

MÉLANGE DE LUMIÈRES - CREATION DE COULEURS

Il existe deux méthodes fondamentales pour créer les couleurs : la synthèse additive et la synthèse soustractive. Face à n'importe quel problème de couleur, il faut d'abord s'assurer de sa nature, soustractive ou additive, pour le résoudre.

LA SYNTHÈSE ADDITIVE

On parle de **synthèse additive** quand on crée une nouvelle couleur



par un mélange de plusieurs lumières colorées. Pour cela, on utilise trois faisceaux colorés par des filtres : rouge, vert et bleu, qui à eux trois vont restituer l'ensemble de la gamme des longueurs d'ondes du spectre de la lumière. Le filtre rouge ne laisse passer que les ondes longues, le vert les ondes moyennes et le bleu les ondes courtes. Ainsi, si

on projette les trois faisceaux sur une surface blanche (qui renvoie toutes les radiations), l'endroit où ils se recoupent est blanc. En les mélangeant en diverses proportions, on obtient les autres couleurs. On parle de synthèse additive pour les éclairages, la télévision ou encore dans le système de vision humaine.

LA SYNTHÈSE SOUSTRACTIVE

Avec cette méthode, on part de la lumière blanche à laquelle on soustrait certaines couleurs afin d'obtenir la couleur désirée. C'est le principe de la peinture par exemple. Les pigments ou colorants absorbent des ondes colorées (et donc les soustraient à la lumière blanche). Pour fabriquer toutes les couleurs on utilise les trois couleurs de base : jaune, cyan et magenta. Lorsque ces trois couleurs sont présentes à 100 %, on obtient du noir. On parle



de **synthèse soustractive** dans l'impression, les colorations ou pigmentations.

LES COULEURS PRIMAIRES, SECONDAIRES ET COMPLÉMENTAIRES

Les couleurs sont dites primaires si en les mélangeant on peut obtenir l'ensemble des autres couleurs du spectre visible. Les couleurs primaires ne peuvent pas être fabriquées par un mélange d'autres couleurs. En synthèse additive, ce sont les trois couleurs les plus denses du spectre (car tout mélange est plus clair) : il s'agit du rouge, du

Chiffres hauts en couleurs

1666
Newton commence à établir une théorie révolutionnaire, à travers l'expérience du prisme.

3
Nombre de paramètres nécessaires et suffisants pour définir une couleur (loi de Grassman).

350 000
Nombre de couleurs différentes que le système visuel humain est capable de discerner.

8,5 %
Proportion d'hommes souffrant de daltonisme.

0,5 %
Proportion de femmes souffrant de daltonisme.

555 nm
Dans la journée, le maximum de sensibilité de l'œil est situé à 555 nanomètres, dans la couleur verte. Dans un éclairage crépusculaire, il se déplace dans le bleu-vert.

1801
Le médecin-physicien Thomas Young établit la théorie trichromatique : trois couleurs suffisent pour recréer les autres couleurs.

LA LUMIÈRE

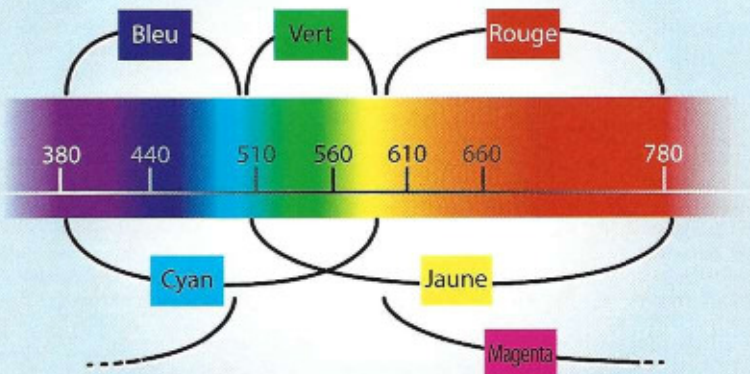
UN PEU D'HISTOIRE

En tout temps, l'homme s'est interrogé sur les couleurs et ses origines mais tôt les savants déduisent que la lumière est à l'origine des couleurs. Pour Aristote, la lumière était blanche et les couleurs naissaient progressivement de l'incorporation d'une part d'obscurité, provenant de sa réflexion par les corps. « La lumière comme un mélange de blanc et de noir » : cette idée a longtemps perduré chez les scientifiques, jusqu'aux travaux d'**Isaac Newton**.



Le physicien anglais a révolutionné la recherche. En 1666, il étudie la décomposition de la lumière. Il fait tomber un faisceau de lumière sur la

Spectre solaire



Le rouge
780 nm

vert et du bleu. En synthèse soustractive, ce sont les couleurs plus claires (tout mélange est plus sombre) : le magenta, le cyan et le jaune. Une couleur est dite complémentaire à une autre couleur si leur association donne du blanc en synthèse additive ou du noir en synthèse soustractive. Deux couleurs complémentaires sont diamétralement opposées sur le cercle chromatique, c'est le cas du rouge et du cyan par exemple.

Les couleurs secondaires sont obtenues en mélangeant à parts égales deux couleurs primaires. On obtient le vert, orange et violet en soustractif et le cyan, magenta et jaune en additif.

L'IMPRESSION ET LE SYSTÈME CMJN

Dans l'imprimerie, la synthèse est soustractive. On travaille donc avec les trois couleurs primaires jaune, cyan, magenta (CMJ). En pratique leur mélange ne donne qu'un brun foncé, aussi utilise-t-on une encre noire en plus. C'est le système de quadrichromie CMJN. Pour une reproduction, la page est photographiée trois fois en noir et blanc avec des filtres bleu-violet, vert-jaune et rouge-orangé, afin d'exprimer le degré de noirceur des trois couleurs CMJ, puis sans filtre. Avec ces négatifs, le photographe fabrique quatre plaques. La surimpression des trois couleurs et du noir va créer les couleurs, par soustraction.

LA TÉLÉVISION ET LE SYSTÈME RVB

Pour la télévision, la couleur est formée par synthèse additive. Lors du tournage d'une émission par exemple, la caméra calcule pour chaque point coloré filmé, les proportions de rouge, bleu et vert qui le constituent. Ces informations transitent dans l'écran de télévision via trois faisceaux à électrons, correspondant aux trois couleurs primaires de la synthèse additive. La face interne de l'écran est couverte d'un réseau de **points lumineux** qui



émettent du rouge, bleu ou vert, de manière plus ou moins élevée selon leur stimulation électronique. La forme et les couleurs de l'image naissent du mélange optique des points lumineux. L'œil reconstruit toute la gamme des nuances colorées.

LES COULEURS DANS LA NATURE

LA STRUCTURE CHIMIQUE

On a vu que la couleur d'un corps sous la lumière blanche est fonction des radiations qu'il absorbe et qu'il réfléchit. Ce comportement à l'égard de la lumière dépend de la structure chimique du corps. En modifiant la structure, on peut changer la couleur. Le cuivre que l'on voit souvent sur les toits des bâtiments passe au vert-gris avec la corrosion naturelle. Le fer est naturellement gris. Après oxydation, il devient brun-rouge : c'est la rouille.

Broyés, ces oxydes métalliques sont utilisés dans la fabrication de pigments colorés. Pour modifier la structure chimique et donc la couleur des objets qui l'entourent, l'homme extrait et élabore des pigments et des colorants.

LES PIGMENTS

Les pigments sont des particules microscopiques d'un corps solide réduit en poudre. Ils sont insolubles dans l'eau. Depuis toujours, l'homme puise des pigments minéraux ou organiques



dans la nature : les terres (l'ocre, la terre d'Ombre, etc.), l'encre de seiche (le sépia), le bois de fusain, la lignite (le brun de Cassel), le charbon, les oxydes métalliques, etc. Mais depuis le XVIII^e siècle, l'élaboration de procédés chimiques permet de fabriquer des pigments artificiels de toutes les nuances. Le plus souvent, ce sont des pigments blancs, teintés par un colorant. Pour que le pigment coloré adhère à une surface, il doit être mélangé à un liant (colle, résine, laque). Les peintures liquides sont fabriquées en mélangeant un liant, un solvant et le pigment qui est réparti de manière homogène dans le liquide sans se dissoudre. On retrouve aussi les pigments dans les encres d'imprimerie, les crayons de couleur, les pastels, etc.

LES COLORANTS

Contrairement aux pigments insolubles, certaines couleurs peuvent être totalement dissoutes dans un solvant approprié. Ce sont les colorants, largement répandus dans le monde animal et végétal. Le plus connu reste la chlorophylle, produite par les plantes. Chez les animaux, la pourpre par exemple est tirée du murex, un mollusque marin et le carmin vient de la cochenille, un insecte. Les autres sources des colorants sont les racines,



les fleurs, les fruits, etc. Les feuilles de l'**indigotier**, un arbuste des régions chaudes, permettent de fabriquer la couleur bleu-noir, l'indigo.

Mais désormais, de nombreux colorants sont produits artificiellement, à base de goudron de charbon. Lors de leur utilisation, les colorants ne sont pas appliqués en surface comme les pigments, ils pénètrent le matériau en profondeur.

LES JEUX OPTIQUES

Certaines manifestations colorées ne naissent ni de la synthèse additive ou soustractive de lumières, ni de colorations ou de pigmentations. Ils proviennent des phénomènes optiques de dispersion de la lumière. Ainsi, l'arc-en-ciel est dû à la réflexion et à la

réfraction de la lumière solaire dans des gouttes de pluies. Dans la journée, la couleur bleue du ciel est due à une forte réfraction de la lumière par les molécules gazeuses de l'atmosphère. Mais le matin et le soir, lorsque les rayons frappent la surface terrestre selon un angle très obtus, le taux élevé de dispersion des longueurs d'ondes dans les particules d'eau et de poussières provoque des teintes roses et rouges. Plus intrigantes, les irisations sur les bulles de savons, les flaques d'essences ou les **coquillages nacrés**



sont dues à des phénomènes d'interférences. Lorsqu'une lumière blanche frappe les couches minces d'un corps transparent et incolore, la réflexion sur les couches peut produire des interférences qui donnent ces jeux de couleurs.

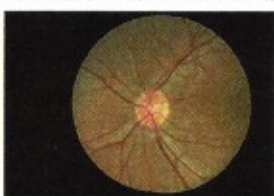
LA PERCEPTION DES COULEURS

Quand on observe un objet, la sensation de couleur ne naît qu'après le passage de l'information lumineuse de l'œil au cerveau. L'information va prendre une voie optique dans le globe oculaire, puis photochimique dans la rétine, et enfin électrique dans le nerf optique.

Organe de base de la vision, l'œil permet de recevoir le rayonnement et former l'image des objets perçus.

LA RÉTINE

Placée au fond de l'œil, la **rétine** est constituée d'une fine couche de cellules



nerveuses. Deux types de cellules photoréceptrices captent l'énergie lumineuse et envoient des signaux nerveux au cerveau. Ce sont les cônes et bâtonnets, appelés ainsi en raison de leur forme caractéristique. La rétine contient environ trois millions de cônes et cent millions de bâtonnets. Ils ont des fonctions totalement différentes. Placés à la périphérie de la rétine, les bâtonnets assurent une vision en noir et blanc et fonctionnent quand l'intensité lumineuse est faible. À l'inverse, les cônes, fins et serrés, sont situés au centre de la rétine et détectent la couleur quand la lumière est vive. Il existe trois types de cônes contenant chacun un pigment dont le maximum d'absorption de la lumière se situe dans les faibles, moyennes ou grandes longueurs d'ondes (bleu, vert et rouge). On parle donc de vision des couleurs trichromatique chez l'homme.

LE CERVEAU

La rétine envoie le message par le nerf optique. L'information passe dans les

corps grenouillés latéraux, situés entre l'œil et le cortex. Ces relais sont très importants pour la perception des couleurs, ils contrôlent et coordonnent les données. Au final, c'est bien au niveau du cerveau, dans le cortex visuel primaire, que se forme la sensation de couleur.

LES ANOMALIES DE LA VISION

Il existe plusieurs types d'anomalies de la vision des couleurs. Ce sont pour la plupart des déficiences génétiques. L'achromatopsie est une maladie extrêmement rare liée à un dysfonctionnement des cônes. Les sujets perçoivent leur environnement en noir et blanc et en niveaux de gris. La cécité aux couleurs est alors totale. Moins grave mais plus courant, le dichromatisme ou **daltonisme**, étudié



par le chimiste Dalton. Les daltoniens sont aveugles pour une des trois couleurs fondamentales. Dans le type le plus courant de cette anomalie, le rouge, l'orange, le jaune et le vert-jaune sont tous perçus comme jaune, le bleu vert et le pourpre sont grisâtres, et le bleu est perçu normalement.

LA VISION DES ANIMAUX

Dans le règne animal, la perception des couleurs diffère d'une espèce à l'autre, en fonction de la complexité de la rétine. Beaucoup de progrès restent à faire dans ce domaine : pour certains animaux comme les lamproies, on ne sait pratiquement rien de leur vision des couleurs.

Comme chez les oiseaux, la vision des poissons est très développée : ils perçoivent le rouge, le jaune, le vert, le bleu, le violet et même l'ultraviolet. Ainsi deux cailloux d'un même blanc pour l'homme auront deux couleurs différentes pour un poisson si les pierres absorbent différemment l'ultraviolet. Les amphibiens et les reptiles distinguent aussi les couleurs : pour la tortue, c'est le bleu, vert et orange. **L'abeille**, avec ses yeux à



facettes, a un spectre visible qui s'étend de l'ultraviolet au jaune.

Chez les mammifères, la perception des couleurs semble beaucoup plus restreinte, à part pour les primates. Les scientifiques ont longtemps pensé que le chat ne voyait qu'en noir et blanc mais des études récentes ont montré qu'il est en fait dichromate. Sa rétine comporte deux sortes de cônes, sensibles au bleu indigo et au jaune-vert. Il ne voit donc pas le rouge. Tout comme le taureau : la couleur de la cape du toréador a peu d'importance puisque les bovins voient en noir et blanc seulement.

MESURER ET CLASSIFIER

En production et reproduction industrielle des couleurs, pour les éclairages de précision mais aussi dans beaucoup de domaines scientifiques, une mesure précise de la couleur est nécessaire. Cette mesure est obtenue en analysant et en chiffrant la composition spectrale d'une lumière : c'est la colorimétrie.

LE PRINCIPE DE TRIVARIANCE

En mélangeant trois radiations appropriées dans des proportions déterminées, on peut obtenir toutes les couleurs possibles. C'est le principe de trivariance visuelle. Cela entraîne que trois grandeurs sont suffisantes pour décrire toute lumière colorée.

Pour la colorimétrie, les trois valeurs numériques retenues sont :

- la longueur d'onde dominante. C'est la teinte. Elle correspond à la longueur d'onde en nanomètres de la couleur pure dont la couleur étudiée se rapproche le plus.

- la pureté d'excitation. C'est un pourcentage qui exprime la pureté de la couleur étudiée, ou comment elle se rapproche de la couleur pure la plus proche.

- le facteur de luminance. C'est la luminosité. Elle s'exprime en pourcentage et correspond à l'énergie réfléchie par la surface colorée par rapport à un blanc de référence.

Les artistes et les coloristes utilisent plutôt la psychométrie pour mesurer les couleurs. Un système qui ne se base pas sur l'origine physique de la couleur mais sur l'évaluation visuelle de l'apparence des sensations colorées.

LES SYSTÈMES DE CLASSIFICATION

Après avoir défini une couleur, il faut la classer. Depuis plusieurs siècles, les chercheurs ont établi des dizaines de systèmes de représentations géométriques des couleurs. L'approche qui peut être artistique ou physique suit généralement le principe de trivariance, avec trois grandeurs pour définir les couleurs.

Au XVIII^e siècle, le chimiste français **Michel-Eugène Chevreul** a mis au point un système sous forme de demi-sphère. Toujours utilisé, il permet de classer 14 200



tons. Au début du XX^e siècle, le peintre Albert Munsell a établi un classement toujours d'actualité, sous forme de réseau cylindrique, appelé l'arbre aux couleurs. Dans le système CIE-RGB, établi par la commission internationale de l'éclairage en 1931, les couleurs sont situées dans l'espace selon trois axes Rouge, Bleu et Vert. Une couleur est placée dans l'espace en fonction des proportions relatives de chacune des trois composantes. Le système a depuis été amélioré avec le CIE-XYZ. D'origine allemande, le système DIN décrit chaque couleur par la teinte, la saturation et la luminosité. La forme géométrique résultante est un cône renversé. Selon les domaines et les besoins, différents systèmes de classification sont utilisés.