



Lumière sur la couleur

CAHIER DE L'ANIMATEUR

Exposition interactive réalisée par Centre·Sciences

Exposition réalisée par Centre•Sciences,
CCSTI de la région Centre, Orléans-France

Avec le concours scientifique des
personnes suivantes :

Nadia Pellerin, physicienne, Maître de
Conférences à l'Université d'Orléans et
chercheur au laboratoire CEMHTI du CNRS
à Orléans

Jean Jourdain, professeur de physique-
chimie, ancien président de l'UdPPC-
Orléans-Tours

Graphisme : Vincent Burille, Orléans

Impression : API, Saint-Denis-en-Val

Manipulations : Centre•Sciences

Diffusion en région Centre avec le soutien
du Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche et du Conseil régional
du Centre

CONDITIONNEMENT

1 caisse de panneau de 105 x 55 x 55 cm

2 caisses de manipulations chacune de 105 x 55 x 55 cm

2 caisses de tables

À PRÉVOIR :

- Surface : 100 m²

- Electricité (pour 4 manipulations)

- Les 12 panneaux sont autoportants

Lumière sur la couleur

Cahier de l'animateur

Ce document reprend les textes de l'exposition et propose une approche de médiation avec des groupes scolaires ;

le principe de cette exposition est une découverte en autonomie, l'enfant pouvant s'aider des lutrins (modes d'emploi) à côté de chacune des expériences pour s'interroger en manipulant.

Néanmoins, il reste préférable voire nécessaire pour le médiateur/trice de procéder pour la visite à :

- une présentation générale du propos de l'exposition (10") dès l'accueil du groupe
- un accompagnement lors de la visite par petits groupes d'élèves répartis sur l'exposition
- une synthèse avec l'ensemble des élèves du groupe (15")

Sommaire :

Présentation générale du propos de l'exposition (10")

Comment accompagner la visite

Synthèse avec l'ensemble du groupe (10")

Textes des panneaux

Textes des manipulations interactives

Exemple de questionnaire pour travailler sur l'exposition

Présentation générale du propos de l'exposition (10")

Dès l'accueil du groupe, il doit être donné une idée générale de l'exposition :

« Qu'est ce que la lumière? De quelle couleur est-elle? A quoi servent les couleurs dans la vie de tous les jours et où peut-on les trouver? »

Cette exposition est là pour interroger, nous rendre curieux. Il faut donc rester sur le même principe et privilégier la prise de paroles par les scolaires. Les informations données doivent être informatives, synthétiques et brèves :

« Cette exposition vous invite à une découverte autour d'une quinzaine d'expériences, à faire par soi-même, pour se questionner sur la lumière et les couleurs dans notre vie quotidienne.

Avec chacune des expériences, il y a un petit texte qui vous dit quoi faire, quelle question vous est posée... s'il y a des mots ou explications qui ne manquent de clarté, vous pouvez solliciter mon aide ou celle d'un adulte. »

Comment accompagner la visite ?

L'idéal reste une découverte en petits groupes d'élèves car ils sont répartis sur l'exposition, cela facilite la situation d'expérimentation autour des interactifs.

Par contre, le médiateur/trice doit circuler entre les différents pôles pour animer cette découverte.

Plusieurs questions doivent mobiliser votre attention et susciter vos interventions :

- L'élève est-il en situation de se questionner ? D'expérimenter ?

Parfois, la barrière de la lecture est culturelle : les élèves vont manipuler sans se questionner.

Vous devrez les accompagner dans l'utilisation de la notice explicative à proximité, mais aussi favoriser la démarche expérimentale : Que dois-je faire ? Qu'est-ce que j'observe ? Suis-je surpris, et est-ce qu'il y a une explication possible ? Selon mon hypothèse, puis-je le vérifier en refaisant l'expérience ? Sur quelle conclusion nous est-il possible de tomber d'accord au sein du groupe ?

- La situation permet-elle à l'élève d'explorer le thème ?

En observant leurs explorations, vous pouvez intervenir pour susciter leurs échanges et leurs questionnements.

Au-delà de la manipulation, les expériences doivent favoriser une discussion constructive entre-eux. Ainsi par exemple autour de l'interactif « Main chaude », chacun pourra se comparer au autre par rapport à la température de ses mains.

Le rôle des adultes accompagnant l'exposition (parents ou enseignants) est primordial ; ils sont aussi là pour canaliser l'énergie des scolaires dans ce temps de découverte. Veillez à ce que l'exploration se fasse dans le calme en organisant la rotation entre les îlots d'expériences.

Remarque : le temps sur chaque îlot dépend de la durée totale de la visite ; après une première exploration, les groupes seront plus autonomes dans leur découverte, sans doute plus rapide. L'objectif premier n'est pas de tout voir ou de tout faire.

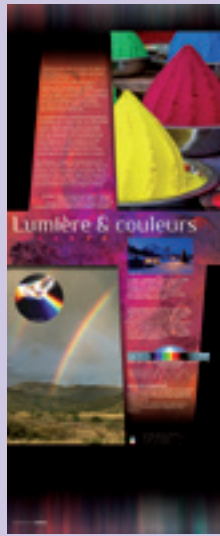
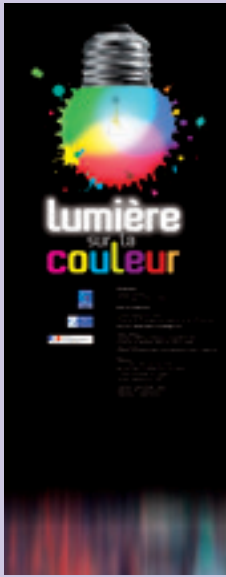
Synthèse avec l'ensemble du groupe (10")

À la fin de la visite, préservez un temps d'échange avec le groupe. Cela peut aussi vous permettre de revenir sur certaines questions pertinentes d'un élève lors de sa visite en mobilisant toute la classe autour de cette réflexion.

Au cours de cette exploration, l'intention est de susciter le questionnement, parfois en pouvant apporter un élément de réponse, mais en aucun cas de viser une acquisition de connaissance sur l'ensemble de l'exposition. Choisissez bien les éléments de vocabulaire, vous devrez sans doute simplifier pour vulgariser, aussi indiquez ce choix en mentionnant que cela peut être beaucoup plus complexe en réalité. Par ailleurs si vous ne connaissez pas la réponse à une question, restez dans la même démarche d'exploration avec les élèves, voire que vous ne savez pas.

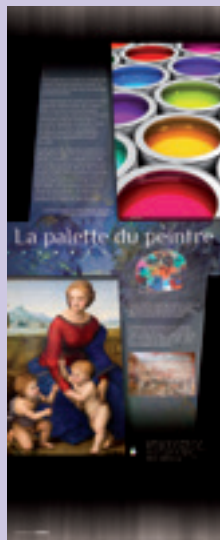
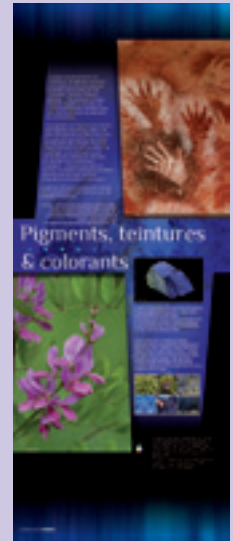
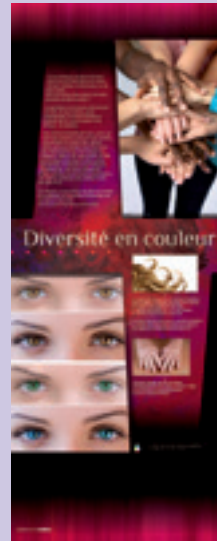
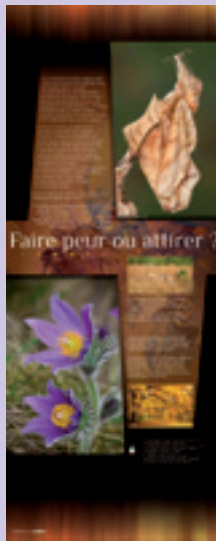
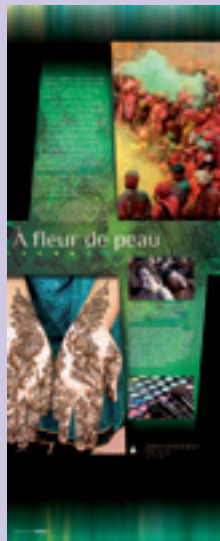
Textes des panneaux

L'exposition est composée de 12 panneaux autoportants et 15 expériences interactives.
 (Version légère composée uniquement des panneaux disponible auprès de Centre•Sciences).



Thématiques des panneaux

- P0 : Titre
- P1 : Lumière et couleurs
- P2 : A la source de la couleur
- P3 : Visions du monde
- P4 : Des langages colorés
- P5 : A fleur de peau
- P6 : Faire peur ou attirer ?
- P7 : Diversité en couleur
- P8 : Pigments, teintures et colorants
- P9 : La palette du peintre
- P10 : Apparaître à l'écran
- P11 : La bonne impression



Panneau 1 : Lumière & couleurs

De la lumière naît la couleur et dans la pénombre tout nous semble gris plus ou moins foncé.

« La nuit tous les chats sont gris », expression populaire qui reflète l'impossibilité à distinguer les couleurs la nuit par faible luminosité. Ce phénomène est dû à la différence de sensibilité de deux types de cellules de la rétine : les cônes et les bâtonnets.

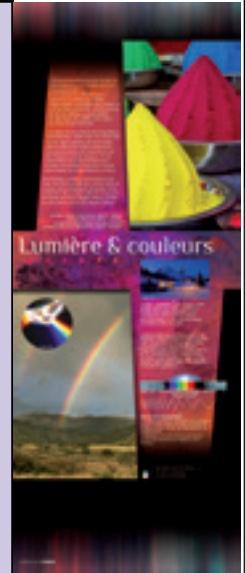
La lumière est une onde électromagnétique, semblable aux ondes radio, aux ultraviolets ou aux rayons gamma, qui se propage dans le vide et les milieux transparents.

Les rayonnements sont caractérisés par leur fréquence et leur longueur d'onde.

L'interaction de ce rayonnement avec le milieu et la matière donne lieu à divers phénomènes qui engendrent les couleurs.

En physique, couleur et température sont liées. Les étoiles voient leur couleur varier en fonction de la température de surface.

Elles présentent des couleurs allant du rouge pour les étoiles de 2 500 degrés Celsius, au bleu pour les étoiles de 20 000 degrés Celsius.



1 - La couleur naît de la capacité des objets et matériaux à absorber, réfléchir ou diffuser la lumière.

Un objet noir absorbe toutes les longueurs d'onde lumineuses alors qu'un objet blanc les réfléchit totalement.

2 - La vision « scotopique » ou de nuit, est réalisée par des cellules de la rétine : les bâtonnets.

Au-delà d'une certaine luminosité ils sont pratiquement saturés et ne transmettent plus d'information. La vision est alors relayée par d'autres cellules, les cônes.

3 - SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Un rayonnement électromagnétique est caractérisé par sa longueur d'onde (en mètre) qui représente la distance parcourue par une onde pendant une période donnée.

Sa fréquence (en Hertz) est le nombre de fois qu'une onde périodique se répète par unité de temps.

Le saviez-vous?

Isaac Newton (1643-1727) démontre que la lumière blanche peut être décomposée en couleurs et se recomposer à nouveau en lumière blanche.

Il crée un cercle chromatique des couleurs.



Panneau 2 : À la source de la couleur

Un objet a-t-il une couleur quand on ne le regarde pas ?

La couleur n'est pas une pellicule posée sur un objet, c'est une sensation construite par le cerveau.

Une couleur n'est jamais isolée, elle est toujours vue dans un environnement qui en altère sa perception.

Elle dépend du matériau, des conditions d'éclairement et de l'observateur : on parle de relativité des couleurs.

Pour le physicien le noir est l'absence de couleur et le blanc représente la totalité des couleurs.

Pour le peintre le noir et le blanc sont des couleurs.

La couleur est fondée sur trois paramètres :

la teinte (ou aspect coloré proprement dit), la luminosité (ou clarté), et la saturation.

La sensation de couleur résulte de l'interaction du rayonnement avec la matière.

Elle a pour origine soit un phénomène physique, soit un phénomène qui dépend de la composition chimique.

1 - La structure interne des ailes du papillon *Glaucopsyche lygdamus couperi* Grote provoque des phénomènes de diffraction et d'interférences lumineuses donnant sa couleur au papillon.

2 - Du bois porté à l'incandescence provoque l'émission de lumière colorée «chaude» d'origine thermique.

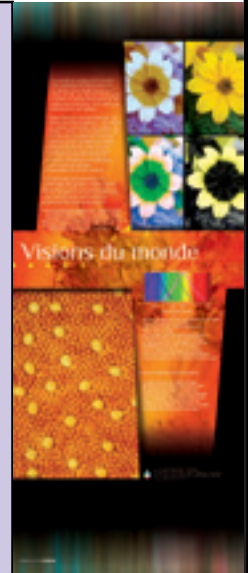
3 - La luminescence correspond à une émission de lumière dite « froide » par opposition à l'incandescence.

4 - La coupe de Lycurgus du IV^e siècle après J.-C. est conservée au British Museum. Elle est l'illustration d'un phénomène coloré difficile à cataloguer. Des inclusions métalliques colloïdales nanométriques génèrent une absorption d'une partie du spectre visible. Elle apparaît d'un rouge profond ou verte selon l'éclairage.

Le saviez-vous?

Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) est un des premiers théoriciens de la couleur.

Son livre, «De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés» publié en 1839 est encore un ouvrage de référence aujourd'hui.



Panneau 3 : Visions du monde

Le monde en couleur est le résultat d'un traitement de l'information par le cerveau d'une image formée sur la rétine de l'oeil. Les stimuli lumineux sont convertis en signaux électriques par les cellules photosensibles de la rétine puis transmis via le nerf optique.

Notre rétine est couverte d'environ 130 millions de photorécepteurs : 125 millions de cellules « bâtonnets » et 5 millions de cellules « cônes » dont la répartition n'est pas uniforme.

Les bâtonnets sont plus nombreux et plus sensibles aux faibles éclairagements que les cônes. Ils nous permettent de voir dans la pénombre.

Les cônes interviennent lorsque les conditions d'éclairage sont suffisantes :

C'est la vision photopique. Ils permettent de voir les couleurs.

Les molécules photosensibles sont constituées de protéines codées chacune par un gène. Il suffit d'une perturbation sur l'un de ces gènes pour que la protéine et le cône correspondant soient déficients et génèrent des dysfonctionnements.

1 - Suivant les espèces, le système visuel n'est pas sensible aux mêmes longueurs d'ondes. Pour certains insectes, notamment les abeilles, le domaine visible est compris, entre 300 et 600 nm (nanomètre) et s'étend donc aux UV.

Les papillons détectent les mêmes couleurs que nous, ils font partie des rares insectes à reconnaître le rouge.

2 - Il existe trois types de cônes qui diffèrent par la longueur d'onde à laquelle ils sont sensibles :

cônes S pour le bleu, cônes M pour le vert, cônes L pour le rouge.

Les trois types de cônes seront donc stimulés à des degrés divers par une couleur donnée.

Le mélange des ces 3 sensibilités nous permet de différencier environ 300 000 couleurs,

c'est le modèle trichromatique des couleurs.

Savez-vous que les filles auraient potentiellement un quatrième type de cône sensible à la teinte orange ?

3 - CÔNES ET BÂTONNETS DE LA RÉTINE HUMAINE.

Le daltonisme est une maladie d'origine génétique concernant des gènes qui codent les pigments nécessaires à la vision des couleurs des cônes.

La forme la plus fréquente prive l'observateur des cônes sensibles à des longueurs d'ondes correspondant au vert.

Les personnes atteintes ne perçoivent le monde qu'à travers des teintes bleues et rouges.

Le saviez-vous?

C'est le physicien et chimiste britannique John Dalton (1766-1844) qui décrit le premier un trouble de la vision dont il était lui-même atteint.

Le daltonisme est beaucoup plus fréquent chez les hommes que chez les femmes car il est porté par le chromosome X.



Panneau 4 : Des langages colorés

Les couleurs nous permettent de distinguer les choses de la vie quotidienne comme le mûrissement des fruits et légumes, la signalétique, l'origine des hommes et femmes et même les sentiments avec le rougissement de honte ou de colère.

Les couleurs ne sont pas une sorte d'ornement superficiel ou superflu. Elles revêtent, dans la nature comme dans les cultures, différentes fonctions qui peuvent être discriminatoires, ostentatoires, symboliques, notamment par le biais des vêtements, des cosmétiques, des tatouages...

Une multitude de termes et d'expressions sur les couleurs permettent de classer les personnes d'un point de vue social mais aussi moral, psychologique et peuvent révéler un grand nombre d'informations comme le sexe d'un bébé, la fonction d'un employé ou même l'humeur du moment.

La couleur est un code, un langage qui classe ou associe.

1 - Les mariées françaises sont souvent vêtues d'une robe blanche, alors que dans d'autres pays, comme en Inde, les femmes portent des tenues très colorées.

2 - D'après vous quel est le sexe de chaque enfant ?

3 - Chaque couleur de rose à une signification.

Alors n'offrez pas de rose jaune à votre bien aimé, sauf si vous avez des choses à vous faire pardonner !

Le saviez-vous?

Au fil des siècles et des mots, défilent les couleurs :

De fonction ou de personnages : bleu roi, bleu vierge, madone...

De la liturgie et de l'église : bure, brun minime, noir ecclésiastique, soutane curé...

De corps de métier, milieux socioprofessionnels, de classes sociales : bleu de police, pervenche, blouses blanches, bleu de travail, brun ramoneur...

De l'armée : pantalon rouge, pantalon garance (1835-1915), bleu horizon des poilus (1914-1918)...

De l'idéologie comme signes de ralliement : blanc monarchiste, bleu républicain, rouge révolutionnaire, bonnet rouge phrygien...

D'un sexe particulier : bleu layette, blanc neutre, asexué, rose Barbie, rose lolita...

Panneau 5 : À fleur de peau

Depuis longtemps, des couleurs sont appliquées sur les corps. Les raisons sont diverses, selon les coutumes, à des fins magiques, pour des rites guerriers, s'embellir, se divertir...

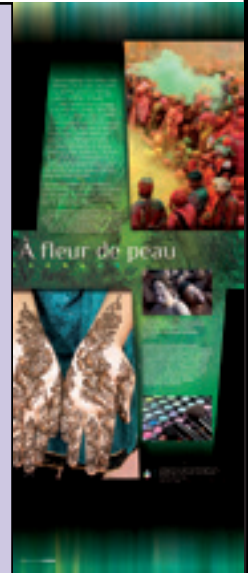
La couleur permet d'avoir un langage corporel propre à chaque culture mais, de nos jours, il existe aussi un langage universel, celui des cosmétiques.

Chez les Egyptiens, les Romains puis en Europe les bases minérales et végétales étaient le plus souvent utilisées avec toutefois des risques pour la santé.

Comme l'usage de blanc de céruse qui contient du plomb ou du rouge de cinabre, un sulfure de mercure. Vers la fin du 19^e siècle, de nouveaux pigments et colorants de synthèse permettent d'avoir une multitude de teintes, se mélangeant très bien les unes aux autres et adhérant beaucoup mieux à la peau.

La couleur fait partie de la cosmétique, celle-ci se base sur une recherche de pointe qui doit garantir la sécurité des produits ;

les yeux étant la zone la plus délicate, puis le teint, les lèvres et les ongles.



1 - EN INDE, LA FÊTE DE HOLI CÉLÈBRE L'ARRIVÉE DU PRINTEMPS.

On l'appelle aussi « festival des couleurs » car la tradition veut que l'on s'asperge mutuellement de poudres et d'eaux colorées. Les couleurs des pigments ont une signification bien précise : rouge pour la joie et l'amour, bleu pour la vitalité, vert pour l'harmonie, orange pour l'optimisme.

2 - Les tatouages, dans la culture Maori, sont un moyen de communication. Chaque tatouage est différent d'un individu à un autre et correspond à des étapes importantes de leur vie.

3 - Le henné est un arbuste dont les feuilles produisent des teintures rouges, jaunes et orangées qui sont utilisées pour les textiles, les cosmétiques ou des usages thérapeutiques. Il peut aussi être appliqué sur les cheveux, les pieds et les mains.

Il fait partie, au Maroc en Algérie en Tunisie en Mauritanie et en Inde, de la séduction féminine.

Un henné noir synthétique est de plus en plus utilisé pour les tatouages éphémères mais il peut être source de graves allergies et de marques permanentes.

Le saviez-vous?

L'usage de nacre sous forme de poudres ultrafines donne de la brillance et des reflets colorés. Des reflets nacrés sont également obtenus avec des micas dont la structure est en feuillets comme la nacre.

À la fin du 20^e siècle, des gammes de fards spécifiques aux peaux noires ont été créées.



Panneau 6 : Faire peur ou attirer ?

Les couleurs du monde végétal sont dues à la présence de molécules dans les feuilles, fleurs, écorces.

La prédominance verte des feuilles des arbres, des algues, des mousses...

est due à la chlorophylle dont le rôle essentiel est la photosynthèse. Certaines molécules sont à l'origine d'autres couleurs comme les caroténoïdes qui ne sont synthétisées que par les végétaux.

Chez les animaux, on retrouve les principaux pigments des végétaux.

D'autres, comme les mélanines sont synthétisées par les animaux et donnent aux poils leur couleur qui jouent un rôle protecteur contre le soleil.

Certaines espèces animales sont ainsi capables de réguler leur température grâce à des changements de couleur.

L'évolution et l'adaptation à l'environnement ont donné aux animaux, insectes, plantes, des couleurs pour se protéger, se reproduire, se cacher, chasser ou ne pas être mangé.

Dans la nature, les couleurs ont un rôle, sinon l'éléphant aurait pu être rose !

1 - Le mimétisme est une stratégie évolutive de ressemblance entre deux espèces.

Il permet à l'une des deux espèces d'échapper à ses prédateurs, de se protéger, d'attirer ou de chasser ses proies.

L'*Idolomantis diabolica* est une mante religieuse vivant dans certaines régions d'Afrique. Sa couleur et sa forme font d'elle un prédateur invisible mais lui permettent aussi de ne pas se faire manger.

2 - Le camouflage est une aptitude, notamment par la couleur, qui permet aux espèces d'imiter l'environnement pour se protéger des prédateurs ou chasser.

La fourrure de la lionne est un atout majeur pour la chasse. Son camouflage lui permet de voir sans être vue au milieu de la savane.

3 - L'anémone des montagnes possède les deux couleurs que l'abeille voit le mieux : le cœur jaune et des pétales violettes, ce qui lui permet d'être butinée et d'assurer sa reproduction.

4 - Au printemps et en été, la chlorophylle prédomine dans les feuilles.

Avec l'arrivée de l'automne, les caroténoïdes masquées pendant l'année deviennent visibles (jaune, orange) et avec les anthocyanes (rouge), elles donnent ces couleurs caractéristiques de l'automne.

Le saviez-vous?

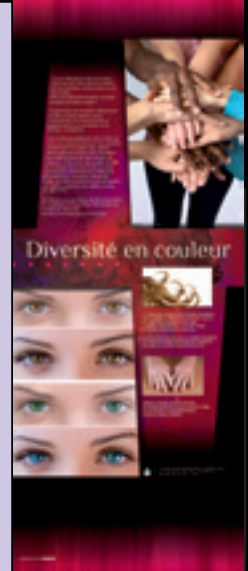
Les caroténoïdes sont rouge, orange, jaune ou crème selon la structure chimique (carotte, tomate, poivron).

Les anthocyanes donnent du rouge, rose, bleu, violet et pourpre selon l'acidité du milieu par exemple (bleuet, coquelicot).

Les flavonoïdes sont jaunes ou crème.

Les mélanines donnent du jaune, brun, noir.

La couleur bleue chez les animaux est rarement due à des pigments mais à des phénomènes physiques d'interférences ou de diffusion produisant des nuances bleutées.



Panneau 7 : Diversité en couleur

Ce qui distingue les êtres humains entre eux est, entre autre, la couleur de leurs cheveux, de leurs yeux ou de leurs peaux.

Mais par quels phénomènes une telle diversité est-elle possible ?

La génétique est le facteur déterminant du teint, et de nombreux gènes interviennent. L'homme possède un pigment qui lui colore la peau et les cheveux : la mélanine.

Il en existe principalement deux sortes qui selon leur présence ainsi que leur quantité, caractérisent la couleur.

Des cellules mélanocytes produisent dans l'épiderme des mélanosomes qui sont chargés en mélanine. Celle-ci est responsable du hâle, du bronzage de la peau et de la couleur des cheveux notamment sous l'influence du soleil et de ses rayons ultraviolets.

Cette coloration est une forme de protection du matériel génétique des cellules contre les ultraviolets.

On observe une gradation du teint en fonction de la latitude car la quantité d'ultraviolets est moindre en remontant vers les zones tempérées et les pôles.

1 - LA COULEUR DES CHEVEUX EST UN CARACTÈRE HÉRÉDITAIRE.

Mais les gènes n'expliquent pas toutes les nuances de couleur et le changement avec l'âge.

On définit une échelle de 1 à 10 pour classer les cheveux du plus foncé au plus clair.

2 - LA COULEUR DES YEUX EST AUSSI UN CARACTÈRE HÉRÉDITAIRE.

La variation de couleur est fonction de la présence d'un pigment d'eumélanine présent dans l'iris.

3 - Certaines maladies peuvent provoquer une dépigmentation de la peau, comme le vitiligo, ou au contraire une hyperpigmentation, comme la maladie d'Addison.

Le saviez-vous?

La couleur de la peau humaine présente une gradation continue du rose-saumon très clair au marron foncé presque noir, avec parfois des tons rosés ou cuivrés.



Panneau 8 : Pigments, teintures et colorants

Les plus anciennes traces de l'utilisation de pigments remontent à la préhistoire avec les peintures pariétales découvertes au fond de grottes : Lascaux, Chauvet, Altamira.... Ces pigments d'origine minérale, végétale ou animale, aux couleurs persistantes, servaient aussi pour décorer le corps, les vêtements, les constructions...

Les pigments sont déposés à la surface des matériaux, les teintures elles, sont liées chimiquement aux fibres des tissus.

Il y a peu de traces écrites de recettes de fabrication des colorants. Il pouvait s'agir d'extraction à partir de plantes, de coquillages ou de mélanges à partir de nombreuses substances minérales, de calcination pour déshydrater, d'oxydation...

L'analyse spectrale, les rayons X ou d'autres techniques permettent aujourd'hui de retrouver certaines compositions et recettes de fabrication.

A partir du 19e siècle les pigments naturels ont progressivement été remplacés par des pigments de synthèse.

1 - LES TERRES D'OCRE FONT PARTIE DES PREMIERS PIGMENTS UTILISÉS.

Le fer y est présent sous forme oxydée ou hydratée dans des minéraux comme la goethite ou l'hématite.

La température de cuisson donne toute une palette de couleurs, jaune, orange, rouge.

Le charbon et des oxydes de manganèse donne du noir.

2 - LE BLEU OCCUPE UNE GRANDE PLACE DANS LES PIGMENTS.

Pendant longtemps le lapis-lazuli, « pierre d'azur » servait de base à la couleur bleue.

Il était rare et cher et était importé du Proche-Orient.

En 1828 Guimet en réalise la synthèse chimique à partir de soufre dans une cage d'aluminosilicate.

Le coût a ainsi été fortement réduit.

3 - Jusqu'au début du 20e siècle, les plantes tinctoriales étaient principalement utilisées pour la teinture des tissus.

Toutes les parties des plantes étaient utilisées, feuilles, tiges, racines...

L'indigo des Indes est le nom d'un arbuste dont est extrait une teinture bleue appelée « bleu des Indes ».

Plusieurs plantes tinctoriales ont été utilisées comme le noyer pour le brun, le genêt pour le jaune, la garance pour le rouge.

Le saviez-vous?

On retrouve des traces d'utilisation de colorants sur des fragments de tissus qui remontent à la Haute Antiquité dans le bassin méditerranéen.

Un texte chinois de 3 000 avant J.-C. donne une liste de recettes de colorants employés pour teindre la soie.

Le pourpre, symbole de royauté, était extrait de la coquille du murex.

Il fallait plusieurs milliers de coquilles pour 1 g de pigment.

Panneau 9 : La palette du peintre

Les peintures sur toiles ou murales ont parfois traversé plusieurs siècles en conservant leur éclat mais les pigments ne font pas tout !

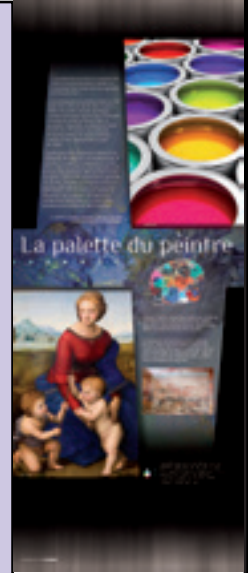
Les techniques du peintre jouent un rôle important dans le rendu des couleurs.

Elles ont eu leur période privilégiée comme la fresque utilisée dans l'Antiquité, la tempera jusqu'au Moyen Âge, la gouache, l'aquarelle, la peinture à l'huile à partir du 15^e siècle.

Les peintures modernes à base de résine acrylique soluble à l'eau apparaissent à partir de 1950.

Quelle que soit la technique utilisée, trois éléments de base sont nécessaires pour le peintre : le support, le pigment et un liant.

Pour créer une peinture, des pigments sont broyés puis dispersés dans un liant, le plus souvent à base d'eau (gouache et aquarelle) ou d'huile. Diverses substances comme la gomme arabique, le blanc d'oeuf, la résine synthétique, sont ajoutées pour faciliter la dispersion des pigments et l'adhérence, donner de la transparence ou une bonne résistance à la lumière et dans le temps.



1 - La peinture acrylique est facile à préparer, elle sèche rapidement et résiste au vieillissement.

2 - Apparue à la fin du Moyen Âge, la peinture à l'huile est considérée comme la technique reine des artistes.

Pâte plus ou moins épaisse et grasse, elle est lente à sécher et permet des fondus, des repentirs.

3 - LA FRESQUE EST UNE TECHNIQUE QUI SERT À DÉCORER LES MURS.

Celui-ci est préalablement enduit d'un mortier de chaux. Les pigments dilués dans de l'eau sont ensuite étalés sur cette sous-couche.

Avec le temps, une croûte de cristaux de calcite se forme fixant et protégeant les pigments.

Le saviez-vous?

Aquarelle et gouache sont réalisées avec des pigments dilués dans de l'eau avec un ajout d'une quantité de gomme arabique qui assure la dispersion et la fixation des pigments.

La gomme arabique est une sève extraite d'acacias soluble dans l'eau.



Panneau 10 : Apparaître à l'écran

La synthèse additive constitue la base de la création des couleurs par la lumière. L'addition de trois lumières fondamentales ou primaires, le rouge, le vert et le bleu (RVB) permet de reconstituer, toutes les couleurs.

Le modèle RVB utilise le principe d'éléments lumineux d'image, les souspixels.

Il est bien adapté aux écrans de télévision, appareils photos numériques, scanners, vidéoprojecteurs...

Il suffit d'allumer plus ou moins chaque point pour reproduire toutes les couleurs ! Si l'on regarde de près un écran d'ordinateur on les distingue séparément, mais ils sont suffisamment petits pour que vus à distance normale, ils soient perçus comme amalgamés en une petite tache.

La vision des couleurs par l'œil humain est plutôt perçue comme une sensation de luminosité. A cette notion de luminance (L) on rajoute l'information de teinte ou chrominance (T) et enfin de pureté de la couleur, la saturation (S).

Ce modèle colorimétrique TSL se rapproche de la perception humaine.

1 - VOICI UN ÉCRAN BLANC !

Les écrans LCD (Liquid Crystal Display) sont les plus couramment utilisés.

Chaque sous-pixel est rétroéclairé et des filtres rouge, vert et bleu sont placés devant des cristaux liquides. La variation de luminosité est gérée par un système électronique.

2 - Les écrans OLED sont constitués de diodes électroluminescentes organiques. Ils présentent des écrans souples et très lumineux que l'on trouve dans les portables et appareils photos.

3 - Dans les écrans plasma, les pixels sont constitués de cellules qui contiennent un gaz rare.

Des électrodes excitent le gaz comme dans un tube dit « néon ».

Des impuretés permettent d'obtenir une lumière rouge, verte ou bleue.

4 - Le modèle TSL présente la teinte mesurée sur une échelle circulaire entre 0 et 360°.

La saturation va du centre (0) à la périphérie (1).

La luminosité du noir (0%) au blanc (100%) en passant par le gris au centre sur un axe vertical.

Le saviez-vous?

En 1950, Peter Carl Goldmark ingénieur américain d'origine hongroise invente le premier téléviseur couleur.

Le 1er octobre 1967 à 14h15, la deuxième chaîne de télévision française diffuse la première émission en couleur grâce au procédé Secam (Séquentiel Couleur A Mémoire) inventé par Henri de France.



Panneau 11 : La bonne impression

Reproduire ou imprimer une image couleur soulève le problème des pigments à utiliser.

L'impression sur un support blanc est basée sur le principe de la synthèse soustractive des couleurs à partir de trois couleurs primaires, le cyan, le jaune et le magenta. Les couleurs jouent le rôle de filtre en soustrayant une partie de la lumière blanche au support blanc qui par défaut réfléchit toutes les longueurs d'ondes.

L'addition du cyan, jaune et magenta donne du noir. L'ajout d'un quatrième pigment noir permet d'obtenir un noir plus profond. C'est le principe de la quadrichromie (CMJN) sur laquelle sont basés les principaux systèmes d'impression comme l'offset, les imprimantes couleurs, les photocopieurs...

Les encres sont déposées sous forme de points en quantité variable et la disposition de ces points les uns par rapport aux autres permet d'étendre la nuance des teintes.

1 - Contrairement à la quadrichromie, les couleurs du système Pantone® sont obtenues à partir d'encres pures préalablement préparées.

Il est ainsi possible d'imprimer directement une couleur sélectionnée sans passer par la quadrichromie.

Le nuancier Pantone contient plusieurs centaines de teintes.

2 - SYNTHÈSE SOUSTRACTIVE.

Le mélange de deux couleurs dites primaires permet de créer une couleur complémentaire.

La diversité des teintes et leur densité permet de créer toute une palette de couleur.

3 - LE PROCÉDÉ D'IMPRESSION OFFSET EST LE PLUS RÉPANDU.

Une plaque aluminium courbe épouse un cylindre rotatif permettant une grande vitesse d'impression et les couleurs sont imprimées une par une sur du papier qui défile.

Grâce à cette technique il est aujourd'hui possible de rajouter des couleurs comme le doré ou l'argenté.

4 - La sérigraphie utilise une technique de pochoir entre l'encre et un support qui peut être du papier, du tissu, du carton, du bois, du plastique, du métal, du verre...

A l'origine le pochoir était en soie et a été remplacé par du nylon.

Le saviez-vous?

Jacques-Christophe Leblon est le père de l'impression couleur. En 1719 il utilise successivement trois planches gravées et colorées avec du cyan, du jaune et du magenta.

Ce procédé a permis d'industrialiser l'impression. En 1837, Godefroy Engelmann développe la technique de chromolithographie sur une pierre lisse en utilisant des encres grasses.

Textes
des
manipulations interactives



De toutes les couleurs

Prenez le tube (spectroscope) et orientez le vers une source lumineuse.

Qu'observez-vous?

Que retenir ?

Le tube contient un spectroscope capable de décomposer la lumière pour former un spectre.

Dans le domaine visible, chaque couleur que l'on retrouve dans un arc-en-ciel correspond à une longueur d'onde bien précise.

La lumière visible ne constitue qu'une petite partie de l'ensemble du spectre et elle continue au-delà du rouge et du violet.

Elle est formée d'ondes dites "électromagnétiques" caractérisées par leur longueur.

Leur taille varie de plusieurs kilomètres pour les ondes radio jusqu'au millième de milliardième de mètre pour le rayonnement gamma.

Entre ces deux extrêmes, on trouve les micro-ondes, l'infrarouge, le visible, l'ultraviolet et les rayons X.

Selon la source lumineuse que vous observez, le spectre peut prendre différents aspects : continu ou discontinu avec la présence de raies lumineuses.

Le disque de Newton

Appuyez sur le bouton pour faire tourner le disque de couleurs.

Attendez quelques secondes afin qu'il accélère progressivement.

Que deviennent les couleurs ?



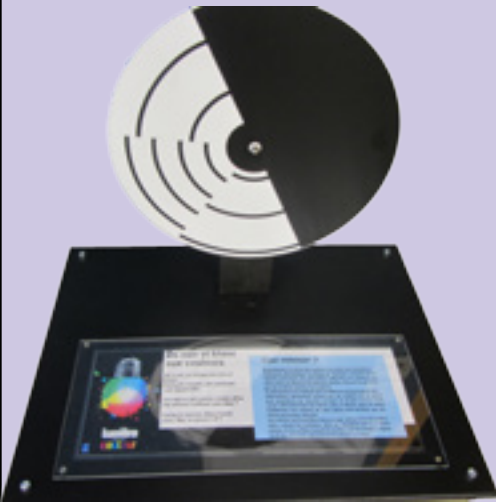
Que retenir ?

Ce disque avec des secteurs colorés est appelé disque de Newton.

La mise en rotation rapide provoque la superposition des secteurs colorés du fait de la persistance rétinienne. Le disque donne alors une sensation de presque blanc !

Depuis longtemps, l'homme a observé qu'un prisme de verre "donne des couleurs" lorsque qu'un rayon de soleil le traverse.

C'est Newton en 1666 par une succession d'expériences en décomposant la lumière du soleil avec un prisme et en la recomposant avec un autre prisme qui aboutit à la conclusion que la lumière blanche est un mélange de couleurs de "l'arc-en-ciel".



Du noir et blanc aux couleurs

A l'arrêt, ce disque est noir et blanc.
Faites-le tourner, des couleurs vont apparaître.
Les autres personnes voient-elles les mêmes
couleurs que vous ?
Faites le tourner dans l'autre sens.

Que se passe t-il ?

Que retenir ?

Normalement, la vision des couleurs nécessite une stimulation lumineuse chromatique.

Ce disque de "Benham" lorsqu'il est en rotation déclenche une perception subjective de couleurs qui varie selon la vitesse et le sens de rotation.
Chacun ne percevra pas de la même manière les couleurs.

Ce phénomène est expliqué par la différence de perception des informations lumineuses reçues par les cellules de la rétine puis transmises au cerveau. Lorsque le disque tourne, l'oeil reçoit alternativement des flashes noirs et blancs plus ou moins rapidement.

Les cellules de votre rétine sont excitées par des éclairs de lumière blanche.

Ces cellules sont sensibles soit au rouge, soit au vert, soit au bleu, mais, suivant les individus, elles ne répondent pas à la même vitesse.

Si les cellules sensibles au bleu sont en retard, la région du disque observée apparaît plutôt colorée en rouge.

Main chaude

Placez vos doigts sur la plaque et attendez une quinzaine de secondes.
Quelles sont les couleurs qui apparaissent ?



Que retenir ?

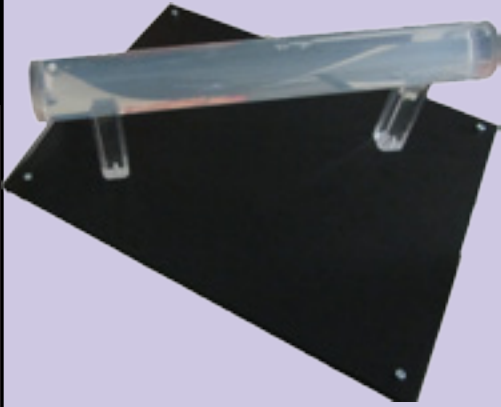
Les cristaux liquides sont connus pour leurs applications dans les affichages numériques comme les écrans numériques LCD, les calculatrices ou les montres.

Ils ont aussi des propriétés thermographiques qui permettent de créer des peintures thermosensibles.

Les cristaux liquides sont des molécules qui voient leurs propriétés optiques (biréfringence) varier comme les cristaux en fonctions de contraintes ou variations extérieures comme l'électricité ou la température.

Ici la variation de température entraîne une modification de l'orientation des molécules. Cela provoque un changement de leurs propriétés optiques qui sont révélées par un film polarisant.

Le phénomène de biréfringence permet également d'observer les contraintes et les propriétés mécaniques des matériaux.



Pourquoi le ciel est-il bleu?

Observez la variation de couleur dans le tube.

Comme ici, pourquoi le ciel est-il bleu dans la journée et devient-il rouge le soir ?

Que retenir ?

La lumière qui nous parvient du Soleil est un mélange de couleurs : bleu, vert, jaune, rouge...

L'atmosphère ne nous transmet pas totalement toutes ces couleurs ou rayonnements.

Dans la journée, une partie du rayonnement est absorbée puis rediffusée. Ce sont les courtes longueurs d'ondes qui le sont le plus comme le bleu ou le vert donnant ainsi au ciel sa couleur bleue ; c'est la diffusion de Rayleigh.

Le soir à l'horizon la lumière solaire traverse une plus grande épaisseur d'atmosphère, le bleu a totalement été diffusé et n'arrive plus jusqu'à l'oeil.

Il ne reste que le rouge à observer. Cela se traduit également par le rougissement du Soleil à l'horizon lors de son coucher.

Dans certaines conditions, poussières industrielles, goutellettes d'eau et gaz polluants peuvent augmenter ce phénomène donnant une teinte orangée au ciel et cela même en plein jour !

Le cercle chromatique

Sur le cercle chromatique, retrouvez la couleur des différents objets, tissus...

Pouvez-vous placer tous les objets sur les couleurs facilement ?



Que retenir ?

Un cercle chromatique est une représentation des couleurs selon différentes conventions.

Bien positionner chaque couleur dans le cercle chromatique, est la première étape pour faire les bons choix de couleurs et de mélanges dans la pratique de la peinture.

Les imprimeurs utilisent des nuanciers afin de contrôler les étapes d'impression et calibrer l'ensemble de la chaîne graphique, depuis l'écran jusqu'à la sortie sur papier.

Certaines couleurs comme les peintures fluorescentes n'ont pas leur place dans un cercle chromatique.

Un processus énergétique provoque l'émission de lumière selon la composition chimique.

Noir c'est noir



Comparez le carré noir avec les 6 carrés présentés.

Les couleurs noires sont-elles toutes identiques ?

Un objet d'apparence noir est-il vraiment noir ?

Retrouvez les couleurs ajoutée au noir :
jaune, rouge, vert, bleu...

Que retenir ?

En physique, le noir est l'absence de lumière. Il peut aussi être considéré comme une couleur.

Quel que soit le procédé utilisé pour fabriquer un pigment noir, il existe toujours des impuretés ou des phénomènes physiques pour lui donner un reflet, une teinte.

Le plus ancien pigment noir est celui préparé à partir de bois carbonisé qui a servi aux premières peintures rupestres.

Les pigments noirs peuvent être de différentes natures, d'origine végétale ou animale par carbonisation de plantes, os ou à partir d'hydrocarbures.

L'origine peut être minérale avec le noir de fumée, le carbone ou le graphite qui est utilisé dans nos mines de crayon ou plus récemment de synthèse par des procédés chimiques d'oxydation ou de nanotubes de carbone.

Les matériaux les plus sombres absorbent près de 99,9% la lumière.

Le test de Ishihara

Feuilletez ce livret avec les motifs colorés.

Que voyez-vous?



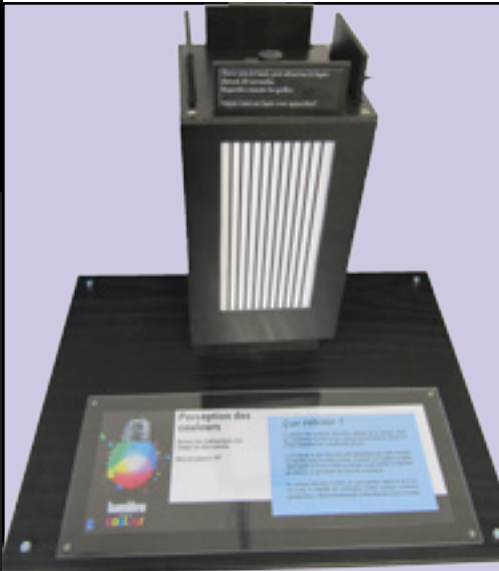
Que retenir ?

Ce test chromatique a été créé par le docteur Shinobu Ishihara en 1917 afin de déceler les déficiences visuelles des teintes rouges et vertes.

Le daltonisme est une anomalie de la vue qui se caractérise par l'absence de perception des couleurs, ou par une incapacité à différencier certaines teintes ou couleurs.

Ce trouble est connu depuis le 18ème siècle, du nom du physicien anglais John Dalton atteint de ce trouble.

Le daltonisme est une maladie d'origine génétique concernant des gènes qui codent les pigments nécessaires à la vision des couleurs dans certaines cellules rétiniennes : les cônes.



Couleurs et Illusions

Suivez les instructions sur chacun des cartels.

Que se passe t-il?

Que retenir ?

L'intensité des couleurs observées dépend de la lumière mais pas seulement. Le fond et les couleurs environnantes, foncés ou clairs, impactent sur la luminosité perçue.

Les couleurs vues par notre œil sont interprétées par notre cerveau de manière plus ou moins erronée. Il prend en compte le milieu dans lequel se trouve l'objet et change sa perception en fonction de celui-ci, ce qui donne des illusions d'optiques.

Le cerveau cherche à mettre du sens partout, même là où il n'y en a pas.

Il amplifie les contrastes, créant contours, couleurs, perspectives, reliefs, mouvements, en fonction de ce qu'il connaît.

Expressions colorées

Reliez les situations aux expressions utilisées couramment.

Lorsque vous avez la bonne réponse, la LED s'allume.



Que retenir ?

Dans la vie de tous les jours, les couleurs font partie prenantes de notre langage.

Nous les utilisons dans nombreuses de nos expressions, afin de montrer un état d'esprit, décrire un objet, faire une comparaison...

C'est une manière d'imager des sentiments ou des comportements liés à la vie de tous les jours. Chacun en utilise régulièrement sans y faire attention.

Ces expressions ne sont pas universelle et innées, elles sont acquise lors de notre vie et change en fonction du pays où l'on se trouve, la région et même la ville.

Elles n'ont pas nécessairement d'équivalent littéral dans d'autres langues.

Images à la loupe



Observez à la loupe ces quatre images.

Comment sont disposés les points de couleurs qui les forment ?

Une image est différente, laquelle?

Que retenir ?

En imprimerie, une image est principalement formée de l'impression de quatre pigments de base :

Cyan, magenta, jaune et le noir (CMJN) qui sont utilisés en synthèse soustractive des couleurs.

La qualité d'impression dépendra bien sûr de la qualité des images en résolution (dpi ou points par pouce) mais également de la nature de l'impression et de la trame d'impression utilisée ou linéature (lpi ou ligne par pouce).

La trame correspond à un maillage de points qui permet à l'imprimeur de reproduire les couleurs et contrôler l'intensité des images.

Journal lpi : 60-100	Jet d'encre
Offset lpi : 120-200	Sérigraphie lpi : 35-65

La quadrichromie

Superposez successivement les quatre images de couleur, **cyan**, **magenta**, **jaune** puis **noir**.

Qu'obtenez-vous ?

Essayez avec deux images.



Que retenir ?

L'image obtenue est restituée avec toute une palette de couleurs.

La reproduction sur papier blanc d'une image en couleur est basée sur le principe de la synthèse soustractive.

A partir d'un support blanc, en rajoutant successivement des filtres colorés cyan, magenta et jaune, on obtient du noir.

L'ajout du noir permet d'obtenir un noir plus profond et de réaliser également des variantes de gris.

C'est le principe de la quadrichromie, dite CMJN.

Cette technique d'impression se retrouve dans nos imprimantes ou les photocopieurs. En imprimerie, les 4 pigments de base sont déposés selon une trame de points colorés sur le papier blanc.

En peinture, les pigments colorés sont plus variés mais le principe est le même. Le cyan, le magenta et le jaune, constituent les couleurs primaires du peintre (synthèse soustractive) alors qu'en physique de la lumière ce sont le rouge, le vert et le bleu qui par addition donne de la lumière blanche (synthèse additive).

La perception des couleurs



Allumez la lampe et touchez le cercle coloré pour changer les couleurs sur l'écran.
Regarder l'image du perroquet ainsi que les écritures.

Comment varie votre perception des couleurs ?
Peut-on faire disparaître un texte avec de la lumière?

Que retenir ?

La couleur est une sensation résultant de l'interprétation par l'ensemble rétine-cerveau de la lumière reçue par l'oeil, lumière réfléchiée par les objets et leur environnement.

La couleur que présente un objet est déterminée par les longueurs d'ondes de la lumière.

Seules les longueurs d'ondes atteignant l'oeil sont vues comme des couleurs.
Si le rayonnement ne parvient pas à l'oeil, l'objet paraît noir.

Une plante verte par exemple absorbe les rayonnements rouge, orange, bleu et violet et réfléchit toutes les longueurs d'onde vertes.

Selon la couleur de l'éclairage les objets ne présenteront pas le même aspect coloré.

La nuit, selon le type d'éclairage public les couleurs des objets, voitures, vitrines... ne semblent pas les mêmes qu'en plein jour.

La synthèse additive

A l'aide du bouton, allumez les trois lampes :
rouge, verte et bleue.

Faites varier l'intensité des sources lumineuses.

Que se passe t-il?

Placez maintenant un objet devant l'écran et
observez les ombres.

Que se passe t-il?



Que retenir ?

Il est possible de reconstituer de la lumière blanche en additionnant la couleur des trois faisceaux : c'est la synthèse additive.

Si l'on fait varier l'intensité d'une ou plusieurs couleurs, on crée de nouvelles couleurs plus claires.

L'addition de deux couleurs à leur maximum d'intensité donne une couleur dite complémentaire de la troisième éteinte ou occultée par l'objet :

- le jaune est la couleur complémentaire du bleu,
- le magenta est la couleur complémentaire du vert
- le cyan est la couleur complémentaire du rouge

La synthèse additive concerne tous les mélanges de couleurs d'origine lumineuse tels que les spots de lumière, les moniteurs TV et LCD, les vidéoprojecteurs, les scanners, appareils photo numériques...

Chaque appareil dispose d'un profil de couleur «RVB» (rouge, vert, bleu).

Minéraux en couleur



Observez ces différents échantillons de minéraux.

En reconnaissez vous ?

Quel est un des critères d'identification ?

Que retenir ?

Les minéraux sont constitués d'un groupement d'atomes défini par une formule chimique bien précise qui se répète dans un réseau pour former un cristal.

Des critères d'identification basés sur des propriétés physiques permettent de les distinguer comme la forme, la dureté, l'éclat... et la couleur.

La couleur va de l'incolore limpide, au blanc laiteux, au violet, au rouge, au noir enfumé, au bleu...

Une même couleur peut se trouver dans des minéraux différents comme la pyrite, appelée l'or des fous.

Inversement, un même minéral peut prendre différentes couleurs.

En général c'est la présence d'impuretés qui confèrent aux cristaux des couleurs variées. Il s'agit de présence d'ions métalliques comme le chrome, le cuivre, le fer, le manganèse, le nickel, le titane, le vanadium...

Ainsi, les ions chrome sont à l'origine du vert de l'émeraude ou du rouge des rubis. Les ions ferrique au jaune de la citrine dans une variété de quartz.

Des défauts dans l'organisation atomique peuvent également être à l'origine de couleurs.

Exemple de questionnaire pour travailler sur l'exposition

Expériences

1 - De toutes les couleurs

A quoi sert un spectroscope ?

Quelle différence observez-vous entre la lampe néon et la lampe à incandescence ?

2 - Le disque de Newton

Que permet le disque de Newton ?

Quel scientifique est à l'origine de ce disque? En quelle année ?

3 - Noir c'est noir

Quelle couleur voyez-vous pour chaque carré ?

En physique, que représente le noir ?

4 - Le test d'Ishihara

A quoi sert ce test ?

Après avoir fait le test, êtes vous Deutan, Protan, Dischromate ou un sujet dit normal ?

5 - Image à la loupe

Comment sont disposés les points de couleurs sur chaque photo ?

Une image est différente, laquelle ?

6 - Le cercle chromatique

Lequel des objets n'a pas sa place dans le cercle chromatique ? Pourquoi ?

7 - La main chaude

Quelles sont les couleurs qui apparaissent après avoir collé votre main sur la surface ?

Qu'est ce qui entraîne l'apparition des couleurs observées ?

8 - Couleurs et Illusions

Pourquoi la réalité n'est pas ce que l'on voit ?

Comment appelle-t-on ces phénomènes ?

9 - Du noir et blanc aux couleurs

Que voyez-vous lorsque vous tournez le disque ?

10 - La synthèse additive des couleurs

Quelle est la couleur complémentaire du bleu ?

Quelle est la couleur complémentaire du vert ?

Quelle est la couleur complémentaire du rouge ?

Quelle couleur donne le mélange du rouge et du bleu ?

Quelle couleur donne le mélange du vert et du bleu ?

Quelle couleur donne le mélange du rouge et du vert ?

Quelle couleur donne le mélange des trois couleurs ?

Comment obtient-on de la lumière blanche ?

11 - Pourquoi le ciel est il bleu ?

12 - Perception des couleurs

Qu'est ce qui détermine la couleur que présente un objet ?

Quelles phrases voit-on en lumière blanche ?

Quelles phrases voit-on en lumière jaune ?

Quelles phrases voit-on en lumière rouge ?

Panneaux

1 - Faire peur ou attirer

A quoi sont dues les couleurs dans le monde du vivant ? Donner un exemple.

2 - La bonne impression

Quel est le principe de la quadrichromie ?

3 - La palette du peintre

Quels sont les trois éléments de base nécessaires pour le peintre ?

4 - A fleur de peau

Pourquoi utilise-t-on les couleurs dans nos civilisations ?

Quelle couleur donne le henné ? Qu'est ce que le henné ?

5 - Des langages colorés

Pourquoi dit-on que la couleur est un code ?

6 - A la source de la couleur

Qu'est ce que la couleur en physique ?

A quoi correspond le noir pour le physicien? Et le blanc ?

7 - Pigments, teintures et colorants

Qu'est ce qui était utilisé principalement pour la teinture des tissus ?

Donner un exemple de plante.

8 - Diversité en couleur

Quel est le pigment qui nous colore la peau et les cheveux ?

Qu'est ce qui influencent les couleurs de peau ?

9 - Apparaître à l'écran

Quelles sont les trois couleurs fondamentales en physique?

10 - Lumière et couleurs

Qu'est ce que la lumière?

De quoi naît la couleur ?

Comment obtient-on la décomposition de la lumière blanche ?

11 - Visions du monde

Quelles sont les cellules photosensibles de la rétine ?

Quelles sont celles qui permettent de voir les couleurs ?

Quelles sont celles qui permettent de voir dans la pénombre ?

Bibliographie

Les mécanismes de la vision
Pour la science - Diffusion Belin

La couleur - Lumière, vision et matériaux
Belin - Collection échelles

L'œil et le cerveau
Philippe Meyer
Editions Odile Jacob

La science des illusions
Jacques Ninio
Editions Odile Jacob

L'œil, le cerveau et la vision - Les étapes cérébrales du traitement visuel
Daniel Hubel
Pour la science - Diffusion Belin

La couleur
Maurice Dérivé
Puf

Le petit livre des couleurs
Michel Pastoureau et Dominique Simonnet
Edition du Panama

Revue du Palais de la découverte
Numéro spécial 44, octobre 1994
Couleur de la nature

La couleur dans tous ses éclats
Bernard Valeur
Belin - Pour la science

Couleurs - Pigments et teintures dans les mains des peuples
Anne Varichon
Seuil

Couleur - manuel pratique pour l'artiste
Simon Jennings
Dessain et Tolra

Lumière sur la couleur
Editions de Monza

Revue du Palais de la découverte
Numéro 365, novembre-décembre 2009

La chimie et l'art - le génie au service de l'homme
EDP sciences

La couleur dans les cultures du monde
Albert - Vanel
Dangles Editions

L'œil magique
Images tridimensionnelles de Tom Baccei
Edition JA et T. Paris

Les couleurs de la vie - Le rôle de la couleur dans le monde animal
Marco Ferrari
Gründ