

VISION et COULEUR

1. LUMIERE, OBJET, ŒIL, COULEUR et CERVEAU

1A. La lumière

Phénomène physique qui nous permet de contrôler la présence, la forme et l'aspect d'un objet, sans avoir à le toucher, grâce à un phénomène physiologique qui touche le sens (*phénomène sensible*) de la vue, dont l'organe essentiel est l'œil.

La lumière représente la partie visible des radiations électromagnétiques qui diffèrent par leur longueur d'onde λ et l'énergie qu'elles transportent.

La lumière est produite par des **sources lumineuses**.

Elle arrive sur les **objets**, « elle les éclaire ».

1B. Les objets

Ils **objets** peuvent :

- Diffuser, en renvoyant dans plus ou moins toutes les directions, plus ou moins complètement.
- Réfléchir spéculairement, comme un miroir, dans une direction privilégiée.
- Transmettre sans changer la direction ou en changeant la direction (réfraction).
- Absorber en partie ou en totalité.

1C. L'œil

Les ondes électromagnétiques (rayons lumineux) « émises » par les objets, permettent à l'œil de voir l'objet en formant sur la **rétine** une image renversée (1) comme sur une pellicule photo.

1D. Voir ?

- Forme
- Aspect (*clair ou foncé*)
- Luminance : plus ou moins grande quantité de lumière renvoyée par rapport à celle reçue (*brillant ou mat*)

1E. Couleur

L'impression de couleur naît dans le **cerveau**, c'est une perception qui résulte de l'interprétation faite par le cerveau de la lumière perçue par l'œil. Elle est spécifiée par les valeurs trichromatiques du flux lumineux qui pénètre dans l'**œil**.

2. ŒIL

2A. Formation de l'image

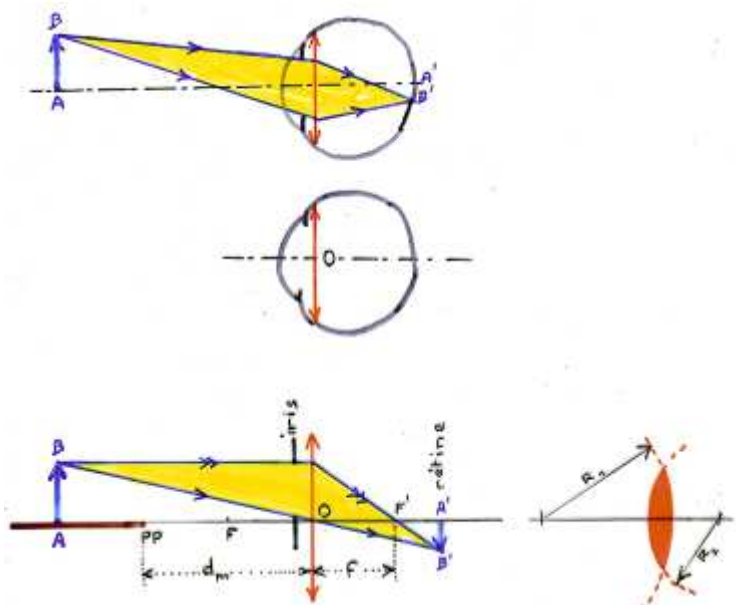
AB : objet A'B' : image sur la tache jaune.

Lentille biconvexe : milieu transparent limité par deux calottes sphériques.

F, F' : foyers principaux objet et image.

PP : punctum proximal.

Distance focale : $f \leq 16$ mm.



2B. Défauts de l'œil

- myopie : il est très convergent, $OA' < 16 \text{ mm}$, on corrige avec une lentille divergente.
- hypermétropie : il n'est pas assez convergent, $OA' > 16 \text{ mm}$.
- presbytie : d_m augmente, on corrige avec une lentille convergente, comme pour l'hypermétropie.

2C. L'œil et le cerveau

L'œil est un instrument qui envoie en permanence dans l'ensemble des centres optiques cérébraux, sous forme d'ondes électriques, un ensemble de données dont l'emploi direct serait très incommode.

Si on les envoyait telles quelles sur un écran de télévision couleur, seul le centre serait net sur une petite zone, le reste serait flou. Il y aurait même un « trou » correspondant à la tache aveugle.

Dans la plupart des cas, les couleurs seraient, où très vives, où à peine visibles, et une même couleur paraîtrait beaucoup plus vive au centre que sur le pourtour.

Les couleurs vives s'atténueraient rapidement par fatigue de l'œil.

Aux forts éclaircissements, l'écran serait blanc très vite et aux faibles éclaircissements, il serait vite noir.

Le cerveau va interpréter tout cela et donner une très grande souplesse à l'utilisation de l'œil en fonction de la valeur de l'éclaircissement, de la netteté de l'image et du dosage des couleurs.

Il arrivera à donner des impressions très semblables en recevant des indications très différentes.

Il complètera les indications manquantes.

Exemples

a- Sur une feuille quadrillée, on croit voir le quadrillage partout, alors qu'on ne le voit réellement qu'au centre et qu'il y a un trou sur la tache aveugle.

b- Fermer l'œil droit et de l'œil gauche fixer le triangle..Puis rapprocher la feuille.



A un moment, le point disparaît, pourtant nous n'avons pas la sensation d'un « trou » dans notre vision.

Il résulte de toutes ces compensations, que l'œil permet de discerner :

- de très faibles différences d'alignement ($1/50^\circ$ de mm dans le vernier d'un pied à coulisse).
- de faibles différences de luminance de deux objets juxtaposés.
- de faibles écarts de teinte de deux objets juxtaposés.

L'œil est un excellent comparateur, mais il est un mauvais instrument de mesure.

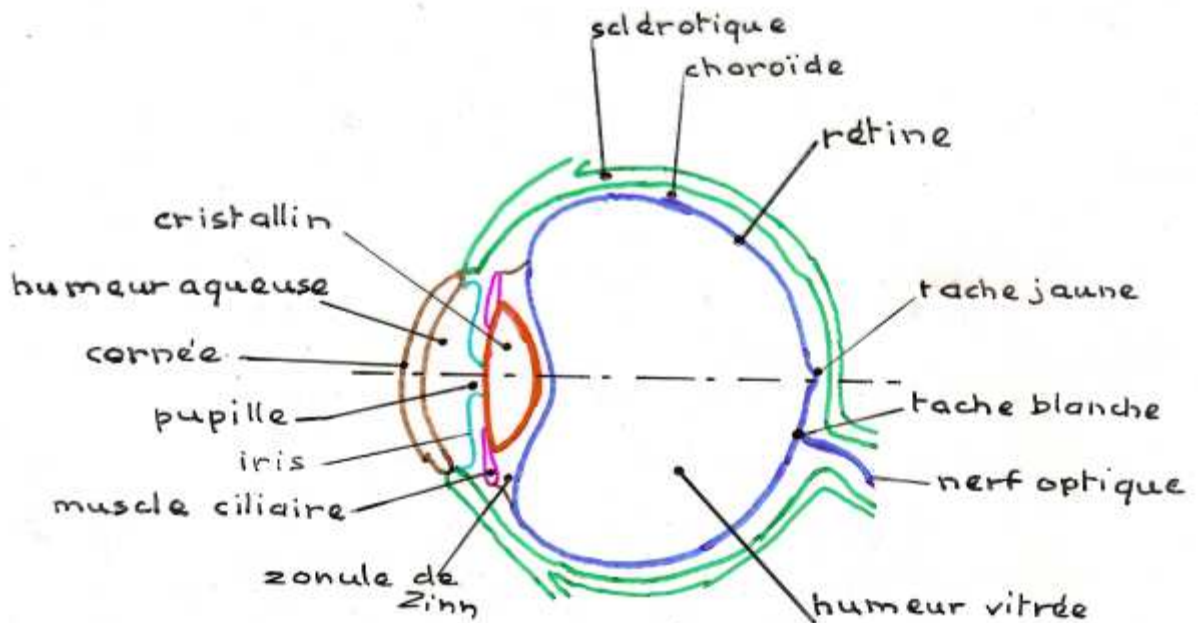
La persistance des impressions lumineuses est de **$1/16^\circ$** de seconde.

On perçoit comme un enchaînement continu une suite discrète d'images émises à fréquence suffisante, au moins 16 images par seconde (cinéma, télévision, oscillographe, stroboscope,...).

2D. L'œil et la vision

(globe à peu près sphérique, de diamètre 2,5 cm)

a- description de l'œil



Cornée

Bombée ($R \approx 8$ mm), transparente, lavée par les larmes, elle protège le globe oculaire.

Humeur aqueuse

Substance transparente, d'épaisseur 4 mm et d'indice de réfraction $n = 1,336$.

Pupille

Ouverture du diaphragme (diamètre de 2 à 8 mm) selon l'intensité de la lumière.

Elle s'ouvre, ou se referme quand il y a peu ou trop de lumière.

Elle est constituée de fines lamelles (0,1 à 0,2 μm) qui glissent les unes sur les autres.

Iris

Il diaphragme la choroïde. Il donne la couleur des yeux.

Zonule de Zinn

Membrane qui s'insère sur le...

Muscle ciliaire

Il modifie les rayons de courbure du cristallin.

Cela permet la mise au point selon la distance de l'objet et de l'image fournie par le...

Cristallin

Lentille biconvexe à focale variable grâce à sa faculté de modifier son rayon de courbure de 6 à 10 mm.

Corps élastique non homogène, d'épaisseur 4 mm, de diamètre 10 mm et d'indice de réfraction n qui croît de 1,36 sur les bords à 1,42 sur l'axe.

L'œil accommode en modifiant les rayons de courbure.

Humeur vitrée

Substance gélatineuse de profondeur 16 mm et d'indice de réfraction $n = 1,336$.

Sclérotique

Membrane blanche de 2 mm d'épaisseur, résistante et pratiquement indéformable.

Choroïde

Elle transforme l'œil en chambre noire.

Rétine

Ecran où se forme l'image.

Membrane tapissée de vaisseaux sanguins et d'un grand nombre de cellules sensibles à la lumière,

les **cônes** et les **bâtonnets**, reliées à une série de terminaisons nerveuses qui se rassemblent par un réseau de nerfs très dense pour former le...

Nerf optique

Il traverse la rétine à la tache blanche.

Les deux nerfs optiques se croisent derrière les fosses nasales puis rejoignent le CERVEAU.

Il conduit les informations au cerveau, en passant par un relais, le corps genouillé latéral chargé de faire une première analyse des données.

Tache blanche

Sans cônes, ni bâtonnets, elle est aveugle.

Tache jaune (macula, de diamètre 2 mm)

En son centre, une petite dépression de diamètre 0,4 mm : la **fovéa** (zone d'acuité maximum de l'œil) qui comprend surtout des **cônes**.

Plus on s'éloigne, plus la proportion de cônes diminue au profit des bâtonnets.

Dans la fovéa, chaque cône a son propre nerf, ce qui lui permet de détailler finement les images reçues.

Quand on s'en éloigne, les cellules réceptrices sont groupées (parfois plus de 200) sur le même nerf, ce qui donne des images moins détaillées mais une plus grande sensibilité à la lumière, donc aux faibles éclaircissements, puisqu'un nerf reçoit 200 fois plus de stimulation lumineuse à éclaircissement égal.

Il n'y a que 25000 récepteurs dans la fovéa sur un total de 600000, mais à elle seule elle occupe en lumière du jour (diurne) près de la moitié de l'activité optique du cerveau.

b- cônes et bâtonnets

Les **cônes** permettent de voir les **couleurs**. Ils donnent une réponse photométrique et grâce à des pigments dont les maximum d'absorption se situent dans le **bleu violet**, le **rouge** et le **vert**, ils sont à la base de la vision des couleurs et son aspect trichromique.

La sensibilité des cônes est la plus élevée en vision diurne (photopique).

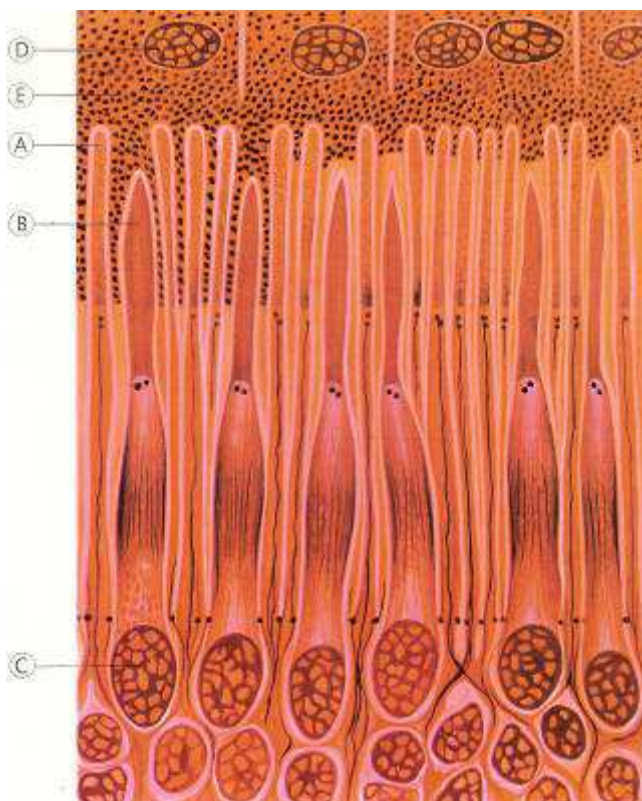
La couleur à laquelle l'œil est la plus sensible est le jaune vert ($\lambda = 555 \text{ nm}$).

Les **bâtonnets** donnent une réponse photométrique, ils permettent de voir en **noir** et **blanc** et tous les **gris** intermédiaires, ils ne déterminent pas les couleurs (*la nuit tous les chats sont gris*) Le maximum de sensibilité se situe vers 510 nm.

La sensibilité des bâtonnets est la plus élevée en vision nocturne (scotopique). Le maximum de leur sensibilité se situe vers 510 nm.

Mais les cônes peuvent aussi donner l'impression de blanc ou de gris.

Coupe de la rétine



Bâtonnets (A)

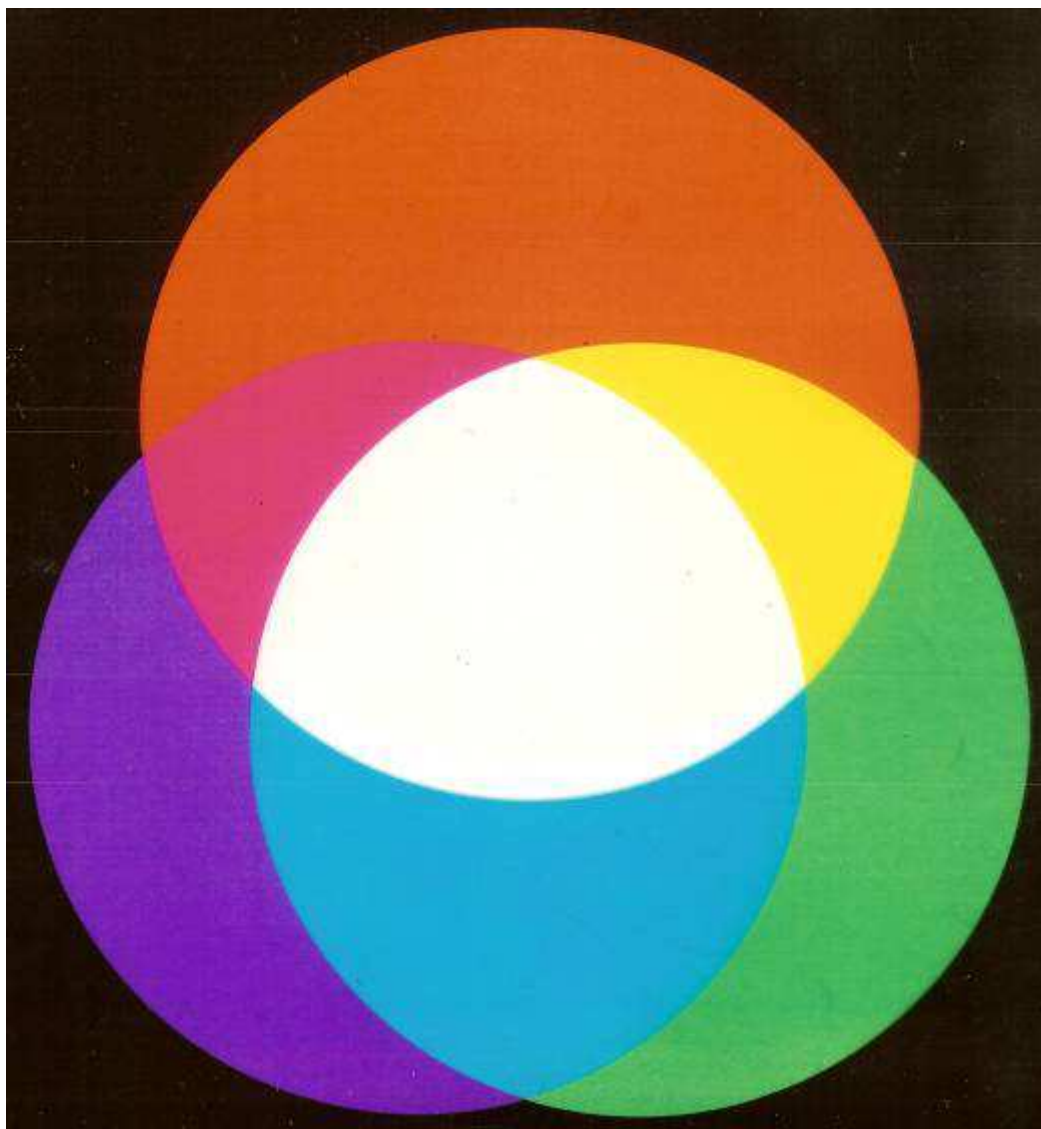
Cônes (B)

Neurones (C)

La lumière traverse tout d'abord une première couche fibreuse (E), qui contient les cellules nerveuses, sans toutefois y provoquer un processus physiologique.

Celui-ci n'est déclenché que lorsque la lumière touche les cônes et les bâtonnets.

3. SYNTHÈSE ADDITIVE



3A. Synthèse trichrome

(télévision, écran vidéo, spot coloré éclairant un mur blanc, disque rotatif,...).

Il suffit d'**ajouter** une projection lumineuse à une ou plusieurs autres projections lumineuses, sur un écran blanc placé dans une pièce parfaitement obscure, *diffusant également toutes les longueurs d'ondes*.

3B. Couleurs fondamentales - Couleurs complémentaires

Il suffit de **trois sources lumineuses** donnant les **trois couleurs fondamentales** de la vision pour reproduire toutes les couleurs visibles :

Rouge

Vert

Bleu violet

(aucune n'est obtenue en mélangeant les deux autres)

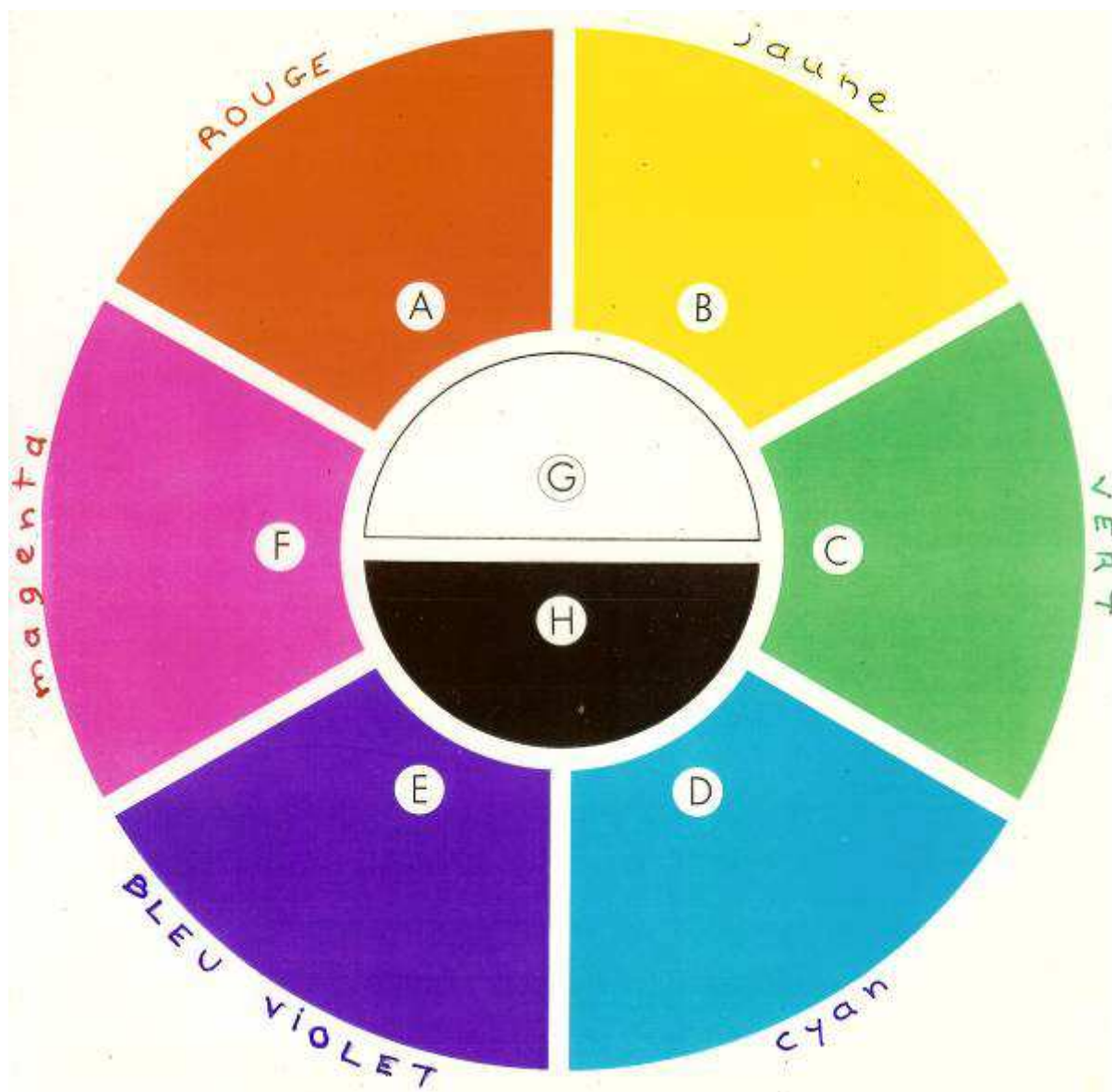
Si les trois couleurs sont de luminosités équilibrées, la superposition donne les **couleurs complémentaires** :

cyan, **jaune** et **magenta** (combinaison de deux couleurs)

ou du **blanc** (combinaison des trois couleurs).

L'addition d'une lumière amène toujours à un résultat plus clair que chacun des constituants puisqu'on ajoute de la lumière.

3c. Obtention de couleurs



Teintes pures

Combinaison de deux couleurs de base

- couleurs du spectre avec le **bleu violet** et le **vert** ou avec le **vert** et le **rouge**.
- pourpres et violets avec le **bleu violet** et le **rouge**.

L'addition de deux couleurs complémentaires donne du blanc.

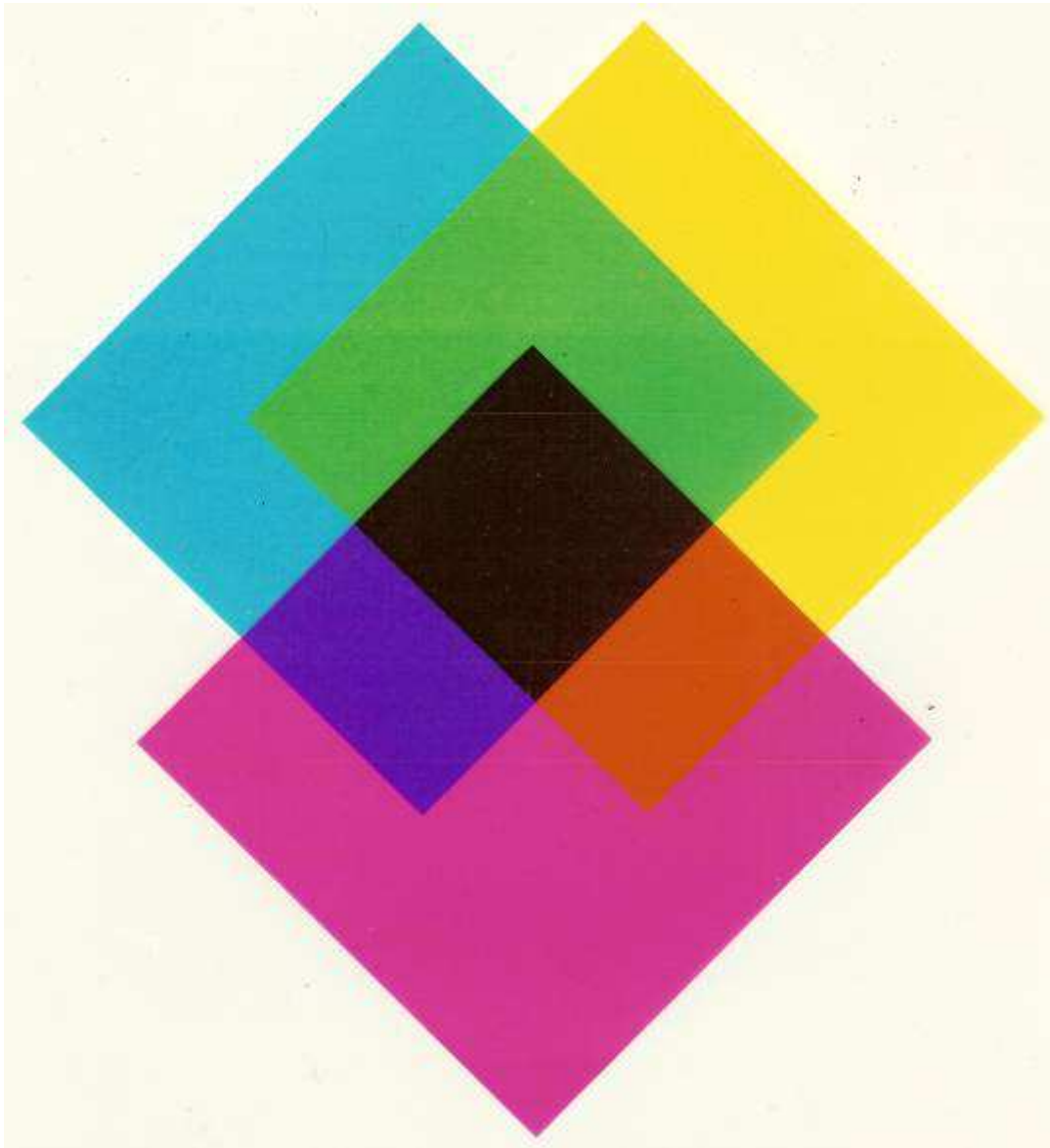
Pour laver de blanc ces teintes pures (vives), il faut ajouter la troisième couleur fondamentale en plus ou moins grande quantité : **bleu ciel**, **rose**,...

Pour rabattre de noir, il n'y a pas de procédé direct.

Il faut projeter côte à côte les deux mêmes compositions de lumière, mais avec des intensités différentes : la composante noire apparaît par contraste, c'est notre cerveau qui l'interprète ainsi.

(à travers un filtre marron, la projection paraîtra rose vif s'il n'y a pas à côté un rouge plus lumineux pour faire la comparaison)

4. SYNTHÈSE SOUSTRACTIVE



4A. Synthèse trichrome

- *photos diapositives*
- *imprimerie*
- *aquarelle* : à condition de n'utiliser que des *pigments suffisamment transparents*

Il suffit de **soustraire** à la lumière blanche une partie de sa gamme de longueurs d'onde grâce à des filtres appropriés :

- *projecteur de lumière blanche* avec logement permettant d'intercaler un ou plusieurs *filtres colorés*, associé à un écran blanc dans une pièce obscure.
- *support blanc* sur lequel on dépose des *filtres* en feuilles ou des *pigments transparents*.

4B. Filtres

Il suffit de **trois filtres** (couleurs primaires) pour reproduire toutes les couleurs visibles.

Le filtre enlève nécessairement de la lumière, donc amène à une teinte plus foncée, mais pas obligatoirement moins vive.

Le **cyan** laisse passer le **vert** et le **bleu violet**, et arrête le **rouge** (sa complémentaire).

Le **jaune** laisse passer le **vert** et le **rouge**, et arrête le **bleu violet** (sa complémentaire).

Le **magenta** laisse passer le **bleu violet** et le **rouge**, et arrête le **vert** (sa complémentaire).

En superposant les trois filtres, chaque couleur complémentaire est absorbée par un des trois filtres, on obtient du **noir**.

Le **cyan**, le **jaune** et le **magenta** sont les couleurs les plus claires du spectre.

Impossible de les retrouver en utilisant d'autres couleurs, car tout mélange donnera une couleur plus sombre.

4c. Obtention de couleurs

Teintes pures

Utilisation de deux filtres, un normal et l'autre mince dont l'absorption de couleur n'est pas complète
(couleurs du spectre, pourpres et violets)

Pour laver de blanc, il faut utiliser deux filtres minces.

Pour rabattre de noir, il faut utiliser deux filtres normaux et un filtre mince.

5. JUXTAPOSITION des COULEURS

Points très petits de couleurs différentes juxtaposés sur une feuille de papier tournant à plus de 16 tours par seconde.

La clarté est la moyenne arithmétique de la clarté de chaque constituant, s'ils sont à part égale.

Dans le cas contraire, la clarté est le produit de la clarté de chacun par sa proportion.

Exemple : un disque à moitié blanc et moitié noir donnera un gris à 50 % de clarté.

Deux teintes vives et de clarté inégales donneront encore une clarté moyenne, et tout se passera comme si la clarté avait été ajustée avec du blanc et du noir : *les teintes réalisées de cette façon seront toujours moins vives, plus grisâtres, que les teintes de départ et ce d'autant plus fortement qu'elles sont plus éloignées l'une de l'autre en couleur et en clarté.*

Le jaune composé des fondamentales verte et rouge, donnera avec ses deux fondamentales des teintes encore vives, mais on aura du gris, non seulement avec sa complémentaire « officielle », le violet, mais aussi avec du bleu vif ou du pourpre.

Le pourpre magenta donnera des teintes un peu vives avec un violet, un bleu ou un rouge, mais donnera un gris à peine teinté avec un vert, un jaune ou un orange.

Un vert et un orange donnent un gris jaune.

Sur le **cercle chromatique**, la juxtaposition de deux teintes pures, s'obtient en joignant sur une ligne, le point du cercle correspondant aux deux teintes et en prenant le milieu de la ligne.

Plus ce milieu est proche du centre, plus la teinte sera grise.

Par juxtaposition, on n'obtient jamais de teinte vive,...c'est à dire située sur le cercle.

6. l'ŒIL et les couleurs COMPLEMENTAIRES

Exercices : « en voir de toutes les couleurs »

6A. Exercice 1

a- mode opératoire

1. Dans *affichage* cliquer sur *miniatures* pour faire apparaître les pages suivantes dont une **page blanche**, 12.
2. Fixer pendant dix secondes environ et sans bouger les yeux ce rectangle **rouge**.
3. Puis cliquer sur la page 11, blanche.
4. Pendant quelques secondes, le rectangle qui apparaît est de couleur **cyan**, pourquoi ?



b- réponse

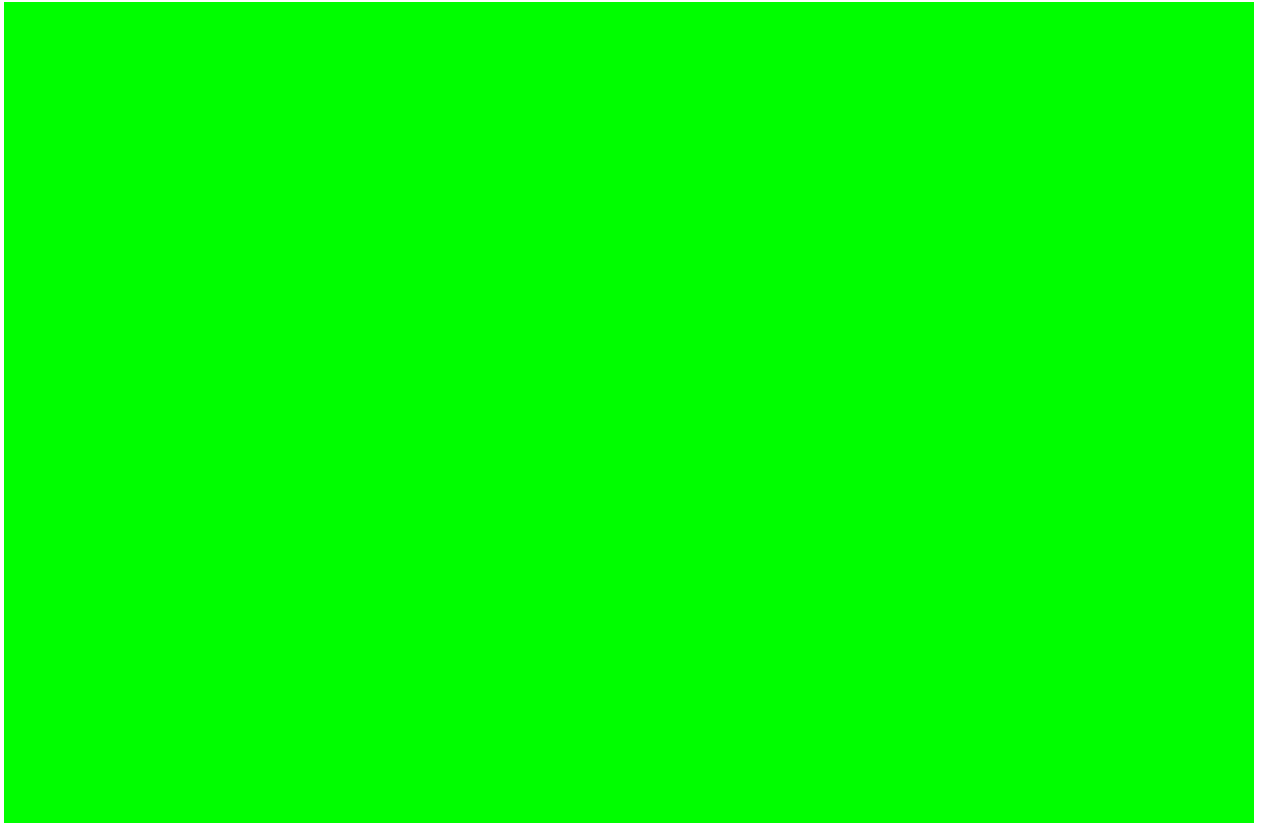
Les cônes sollicités, sensibles au **rouge**, ont été fatigués.

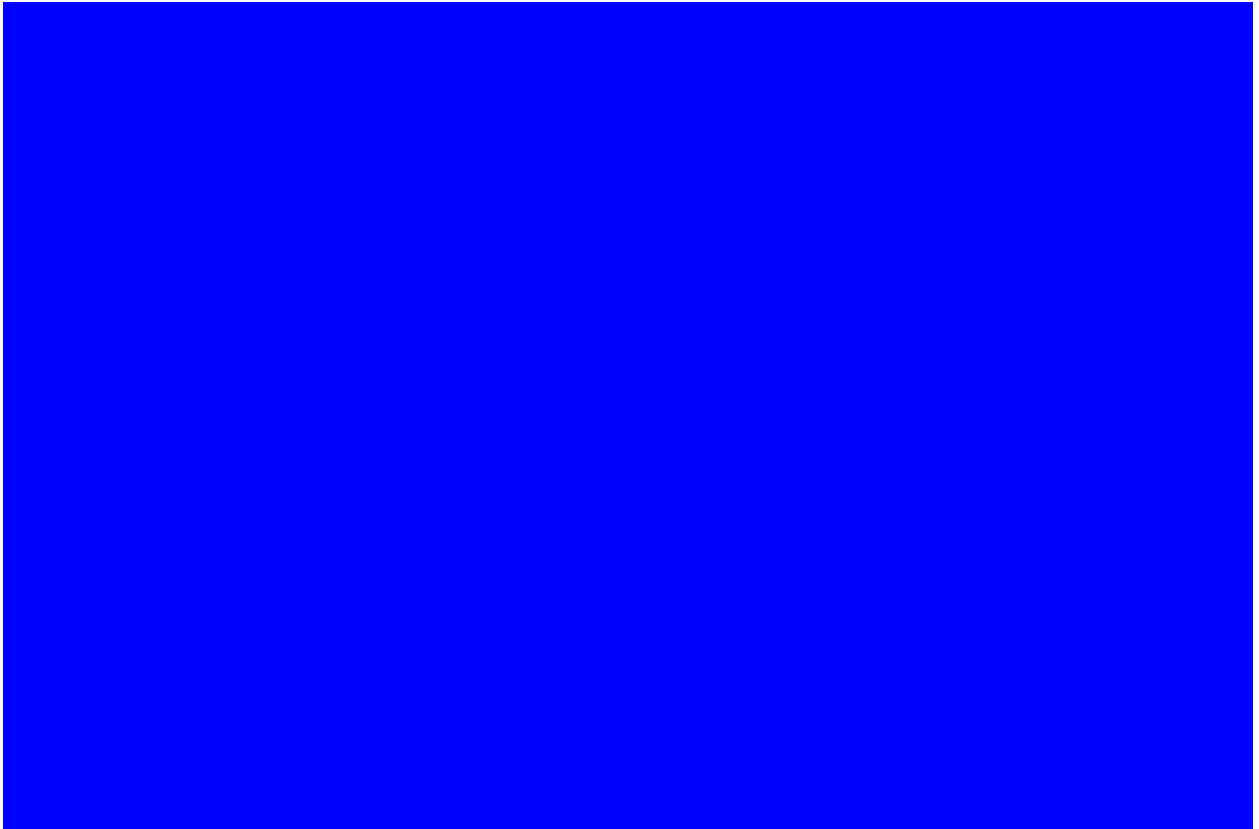
Subitement, en recevant le blanc (**rouge**, **vert** et **bleu violet**), le cerveau sollicite les cônes restants, **vert** et **bleu violet** et nous fait voir le **cyan**.

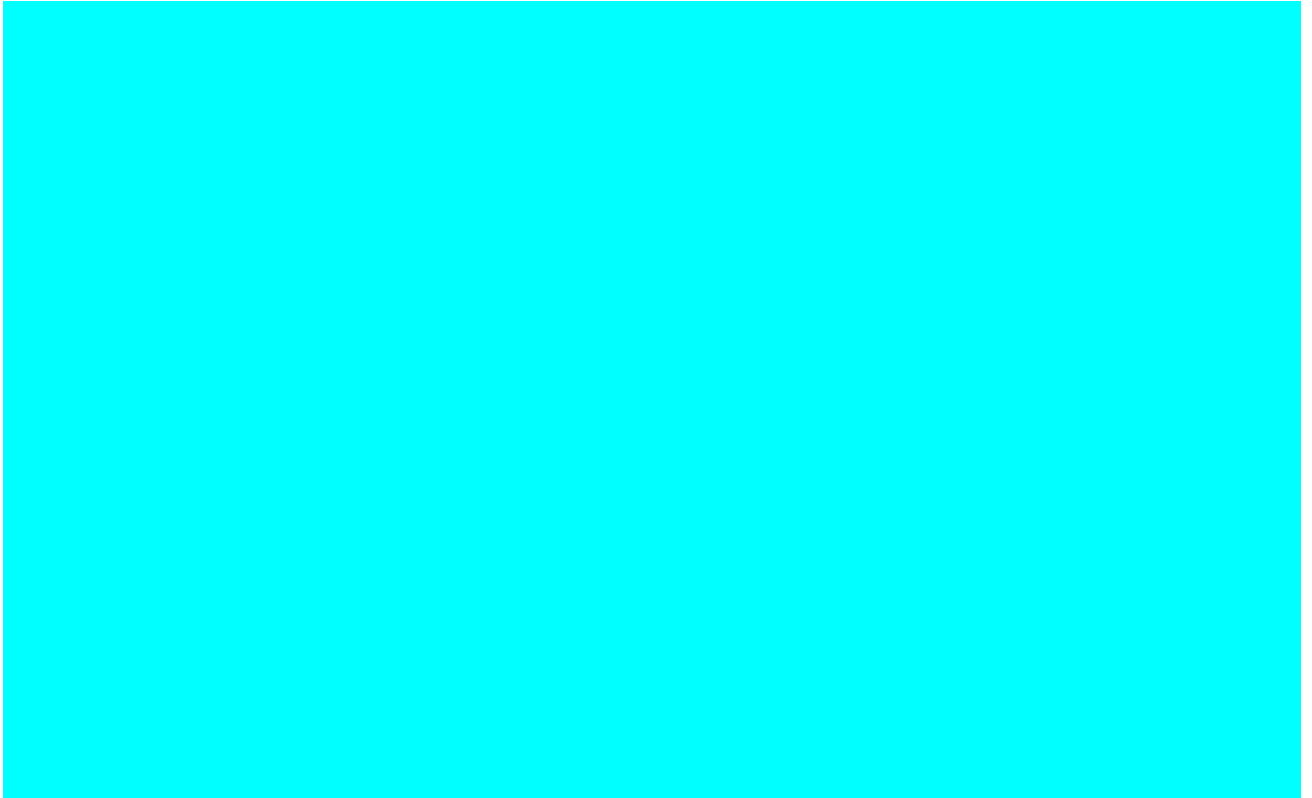
6B. Autres exercices

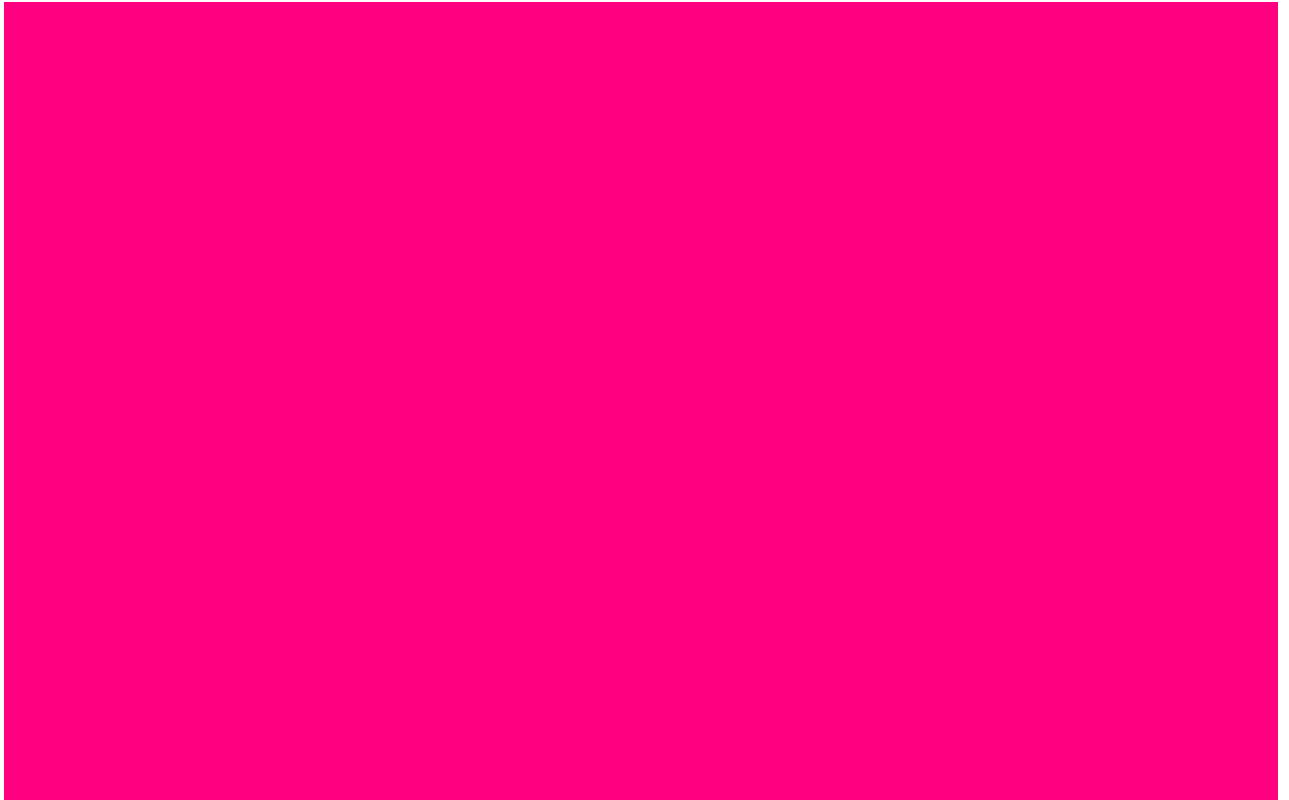
Recommencer la même expérience avec les rectangles suivants :

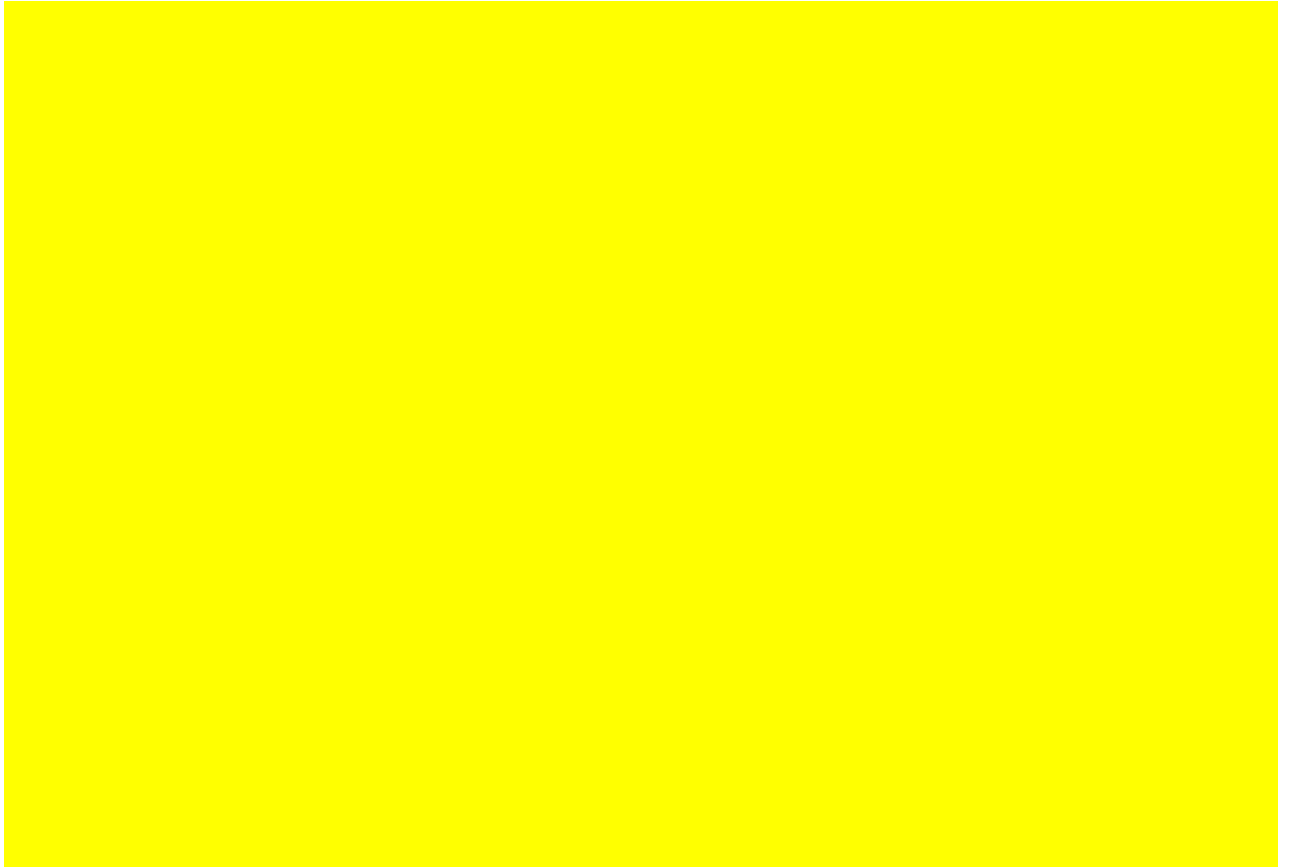
vert
bleu violet
cyan
magenta
jaune



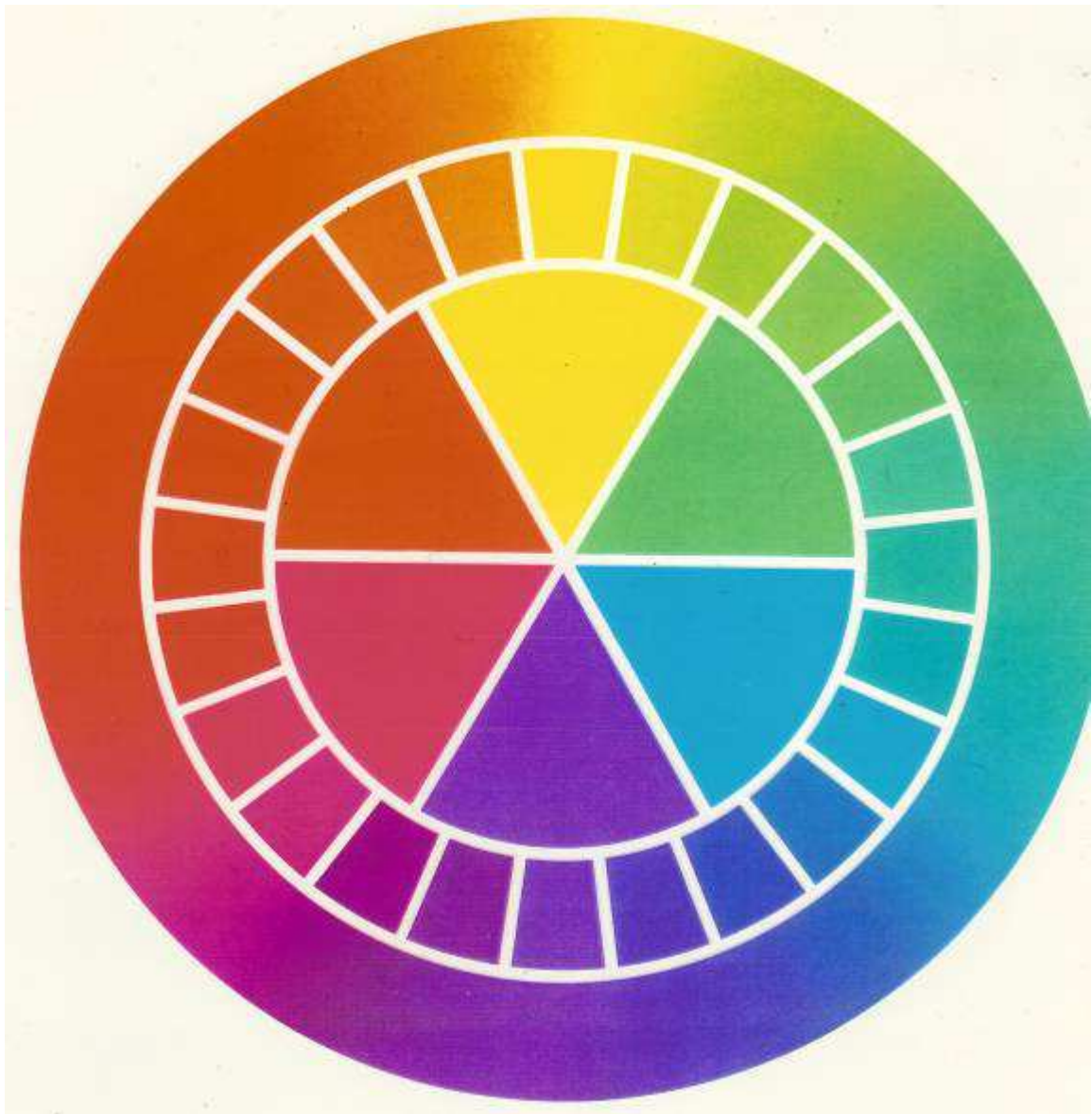








7. CERCLE CHROMATIQUE



7A. Disposition des couleurs

Cercle chromatique des couleurs, divisé en trois zones, en synthèse soustractive.

7B. Couleurs complémentaires

a- mise en évidence

Les deux couleurs complémentaires sont diamétralement opposées.

- elles forment une *paire étrange*
- elles *s'exigent réciproquement*
- elles se *renforcent*, jusqu'à la *luminosité la plus grande*, l'une à côté de l'autre
- elles contiennent toujours les trois couleurs primaires « **cyan**, **jaune** et **magenta** »

b- exemple

magenta et **vert** = **magenta** et **cyan** et **jaune**

c- propriétés

- elles se *détruisent* par le *mélange*...comme le feu et l'eau
- elles *annulent* leur *chromatisme* et donnent naissance à une *sensation achromatique* (lumière neutre) quand elles sont *combinées* en différentes proportions :

blanc en **synthèse additive**

noir en **synthèse soustractive**

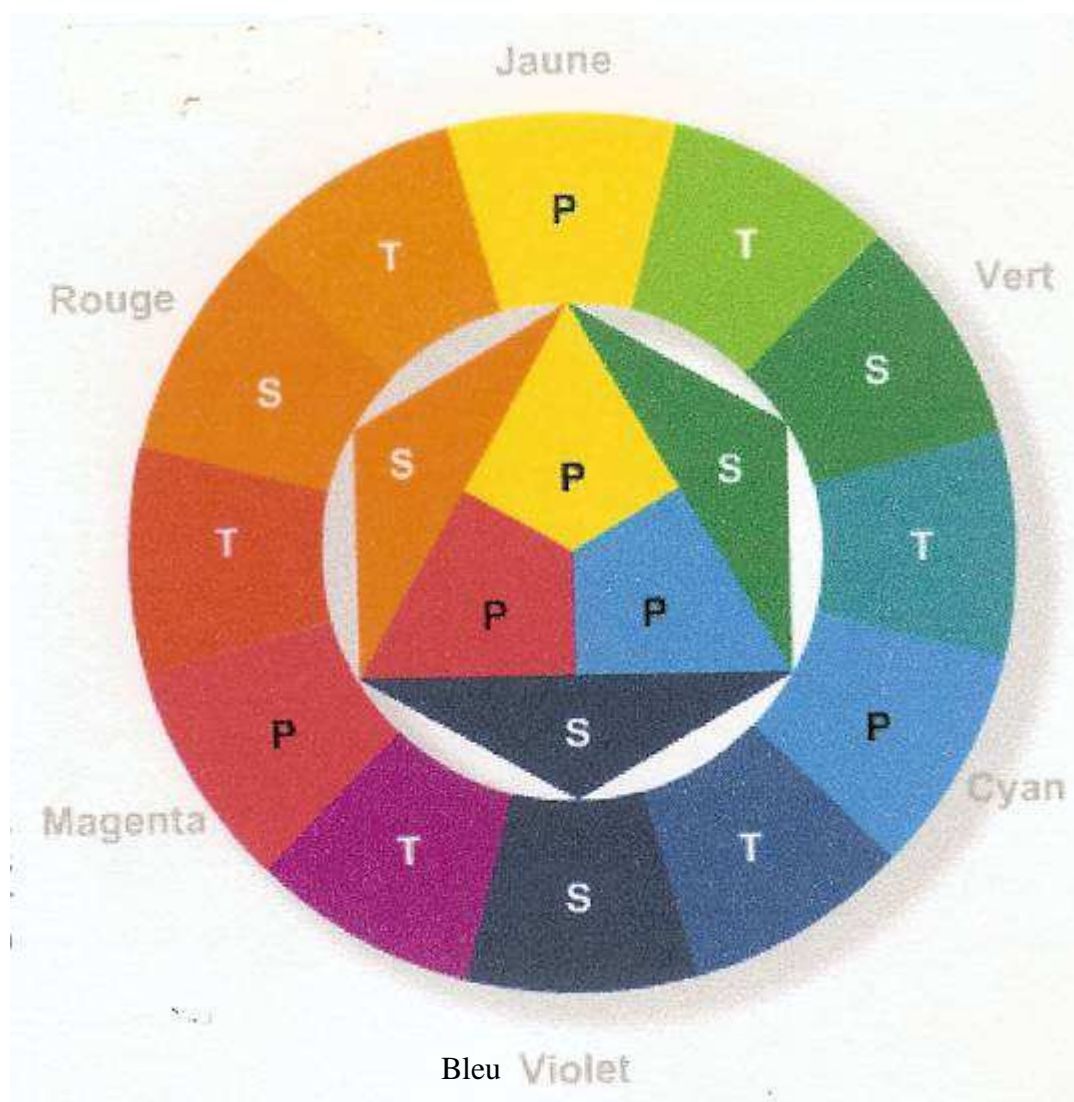
le plus souvent : gris neutre

d- couples

Dans le spectre le nombre de couples colorés est considérable.

e- superposition de deux teintes

- 1) Placées dans le même tiers, même à ses limites, elle donnera une teinte vive, située sur le cercle.
- 2) Placées dans deux tiers différents, donnera des teintes ternes et du noir si les deux composants sont diamétralement opposés.



f- zones : P, T, S

P : couleurs primaires. Elles ne peuvent pas être composées par le mélange d'aucune autre couleur.

S : couleurs secondaires. Elles viennent du mélange des couleurs primaires deux à deux.

T : couleurs tertiaires. Elles viennent du mélange d'une couleur primaire et d'une couleur secondaire.

g- couleurs chaudes

Elles vont du **vert-jaune** au **rouge**.

Elles évoquent la chaleur. Elles suscitent des réactions émotionnelles. Elles rendent les objets plus grands et plus proches du spectateur. Elles sont agressives et attirent l'attention.

h- couleurs froides

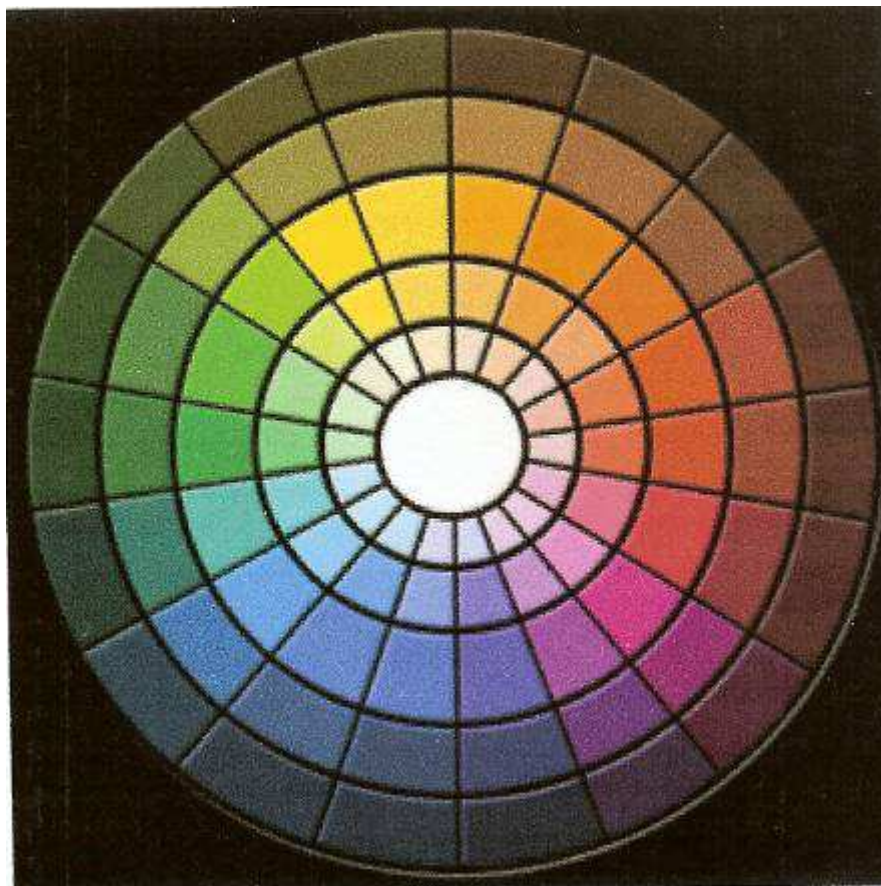
Elles vont du **vert** au **violet**.

Elles donnent l'impression de s'éloigner du spectateur. Elles apaisent. Elles peuvent apparaître nettes et vives.

8. Couleurs intermédiaires

8A. Obtention

Elles s'obtiennent en mélangeant deux couleurs primaires dans la proportion de 2 pour 1.



8B. Cercles

Le troisième cercle contient les couleurs primaires, secondaires et tertiaires.
 Les deux cercles intérieurs contiennent leurs teintes (couleur réelle de l'objet).
 Les deux cercles extérieurs contiennent leurs nuances (adjonction de noir).

9. VISION des COULEURS par l'OEIL

(l'œil peut distinguer environ **10000** nuances colorées)

Dans la **FOVEA**, les **cônes** sont groupés par le moyen de leurs terminaisons nerveuses :

- un cône S donnera la sensation **bleu violet**
- un cône M donnera la sensation **vert**

- un cône L donnera la sensation **rouge**

Le groupement donnera la sensation lumineuse totale, pureté de teinte (teintes vives, lavées de blanc, rabattues de noir).

Les nerfs ne peuvent transmettre qu'une onde électrique de tension plus ou moins importante.

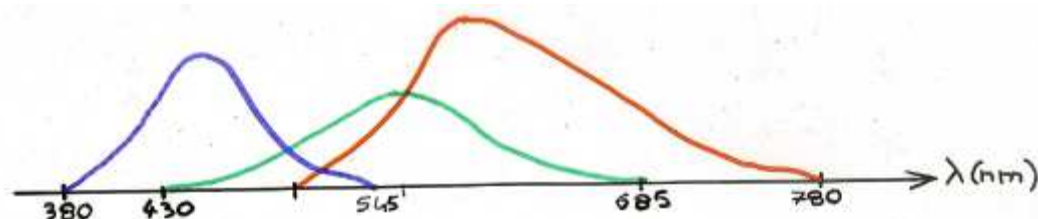
C'est le cerveau qui interprétera ces tensions et créera la notion de toute la gamme des couleurs d'après les indications des cônes d'un même groupe.

Le premier récepteur, celui du **bleu violet** réagit à partir de 380 nm, puis de plus en plus fort (à puissance de rayonnement égale), avec un maximum à 445 nm, puis redescend très vite pour être nul à 545 nm.

Le deuxième récepteur, celui du **vert** (430 nm, maximum à 555 nm, 685 nm).

Le troisième récepteur, celui du **rouge** (485 nm, maximum à 595 nm, 780 nm).

Les trois types de récepteur ont leur sensibilité qui se recouvrent partiellement :



a- Aux deux extrémités, un seul type de cône intéressé :

Le **bleu violet** ou le **rouge**.

L'œil ne verra qu'un **bleu violet** ou qu'un **rouge** plus ou moins clair ou foncé, mais toujours de même tonalité.

b- Les nuances ne deviennent sensibles que si deux ou trois types de cônes sont intéressés.

c- Chaque longueur d'onde a sur chaque type de cône, une action bien déterminée, égale au produit de l'intensité des rayons reçus par l'œil par la sensibilité du cône à cette longueur d'onde.

d- Les courbes de sensibilité au **vert** et au **rouge** se superposent de façon très importante, en hauteur et en largeur. Ceci correspond à une grande luminosité des teintes de cette zone, car deux récepteurs sur trois sont excités de façon très importante et à une grande sensibilité de l'œil

e- Ne pas confondre couleur, notion perceptive, et longueur d'onde, notion physique.

L'œil humain est le plus souvent incapable de distinguer un **jaune monochromatique** (une seule longueur d'onde) d'une composition spectrale de **vert** et de **rouge**.

- Il existe une infinité de blanc, dont chacun se caractérise par sa température de couleur.

10. Exercices

1.

Fermer l'œil droit et de l'œil gauche fixer le triangle, puis rapprocher la feuille.

A un moment, le point disparaît, pourtant nous n'avons pas la sensation d'un « trou » dans notre vision. Pourquoi ?



2.

L'herbe et les feuilles utilisent les ondes **violettes** et **ultraviolettes** dans la photosynthèse (*processus bioénergétique qui leur permet de synthétiser leur matière organique à partir de l'eau et du dioxyde de carbone, en utilisant l'énergie solaire*)

Pourquoi nous apparaissent-elles **vertes** ?

« Dans les exercices 3. à 14, quelle où quelles sont les bonnes réponses ? »

3. Une source primaire de lumière est :

- a) Un objet qui produit la lumière qu'il envoie.
- b) Un objet qui diffuse la lumière qu'il reçoit.
- c) Un objet qui éclaire plus que les autres.
- d) Le soleil.
- e) Soit un corps porté à très haute température, soit un objet froid.

4. Une source secondaire de lumière est :

- a) Un objet qui diffuse une partie de la lumière qu'il reçoit.
- b) Soit un corps porté à très haute température, soit un objet froid.
- c) Un objet qui éclaire moins que les autres.
- d) Un objet qui produit la lumière qu'il envoie.
- e) Tout objet visible qui n'est pas une source primaire.

5. Parmi les sources lumineuses suivantes, indiquer la ou les sources secondaires :

- a) Un miroir.
- b) Un éclair lors d'un orage.
- c) Le soleil.
- d) La lune.
- e) Une chaise.

6. Un spectroscope est un appareil permettant :

- a) D'observer le ciel.
- b) D'observer le soleil.
- c) De réaliser la synthèse soustractive de la lumière.
- d) De réaliser la synthèse additive de la lumière.
- e) D'observer une source lumineuse afin de déterminer les lumières colorées qu'elle contient.

7. Entre une lampe allumée et nos yeux, on intercale un objet translucide. Que se passe-t-il ? :

- a) On peut voir nettement la lampe à travers cet objet.
- b) On ne peut pas du tout voir la lampe à travers cet objet.
- c) On a mal aux yeux.
- d) On ne voit rien.
- e) On voit de la lumière sans percevoir nettement la lampe.

8. Un filtre coloré :

- a) Permet la décomposition de la lumière.
- b) Est une source de lumière primaire.
- c) Est un objet opaque.
- d) Absorbe certaines lumières colorées et en transmet d'autre(s).
- e) Est composé de fines rayures gravées sur un film plastique.

9. Si on éclaire un écran blanc avec deux faisceaux lumineux, l'un vert et l'autre bleu, la superposition de ces deux faisceaux fera apparaître sur l'écran la couleur :

- a) Blanc
- b) Noir
- c) Rouge
- d) Cyan
- e) Jaune

10. Si à une lumière blanche on enlève le vert à l'aide d'un filtre, la lumière colorée obtenue est le :

- a) Noir
- b) Magenta
- c) Bleu
- d) Rouge
- e) Jaune

11. Si en peinture, on mélange du cyan et du magenta, on obtient du :

- a) Vert
- b) Bleu

