

An abstract painting by the English Romantic painter J.M.W. Turner, titled "Rain, Steam, and Great Central Railway". The painting is characterized by its vibrant, expressive brushstrokes in shades of blue, green, and yellow, set against a dark, moody background. The composition is dynamic and energetic, capturing a sense of movement and atmosphere. The text "Physique et Arts" is overlaid in the upper center, and "La physique de l'art" is overlaid in the lower center, both in a bright yellow font. The signature "Turner" is visible in the bottom right corner.

Physique et Arts

La physique de l'art

La physique de l'art

ou comment la physique peut expliquer l'art ...

XVII^e, époque classique : les Beaux Arts

architecture, peinture, sculpture, gravure

XIX^e (Hegel): 5 arts

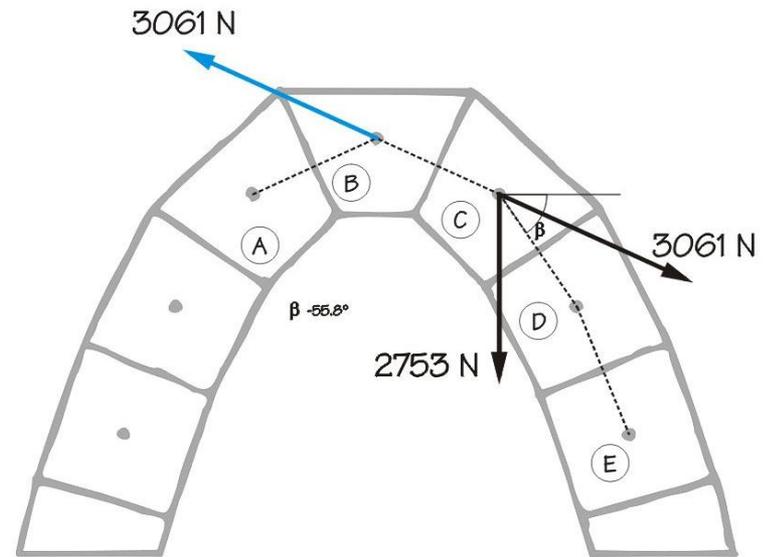
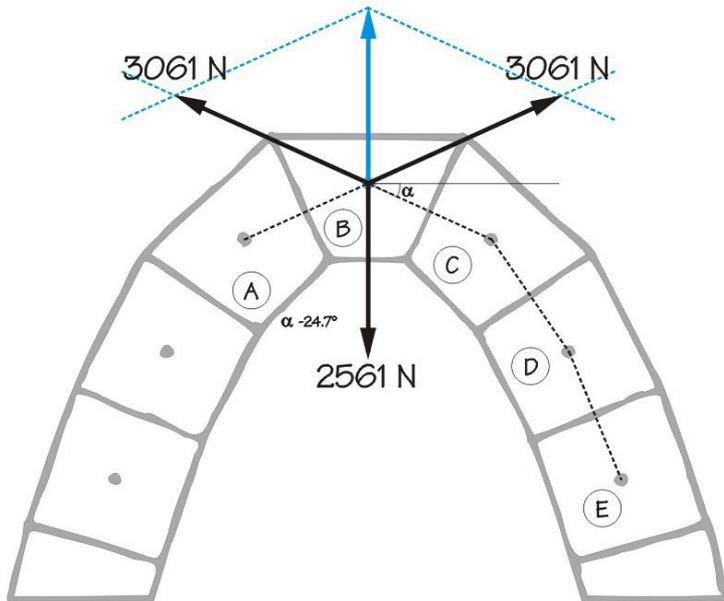
architecture, peinture, sculpture, musique, poésie

fin XX^e : 9 arts

1. architecture
2. sculpture
3. arts visuels (peinture, dessin)
4. musique
5. littérature (dont poésie)
6. arts de la scène (théâtre, danse, mime, cirque)
7. cinéma
8. arts médiatiques (photographie, vidéo, ...)
9. bande dessinée

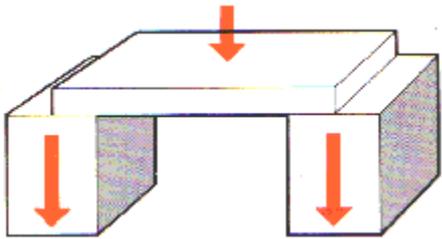
1. architecture

L'architecte est un peu physicien

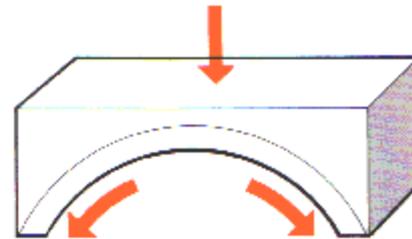


1. architecture

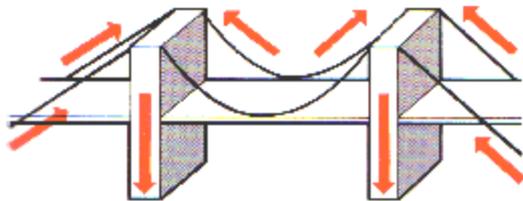
L'architecte est un peu physicien



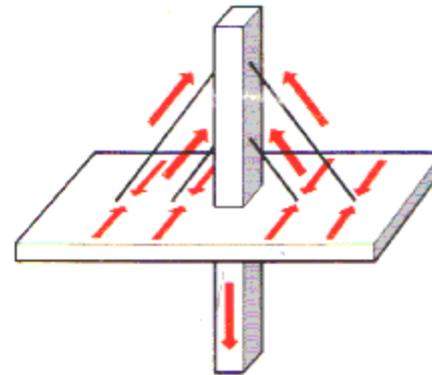
pont à poutres



pont à arche



pont suspendu



pont à haubans

1. architecture

L'architecte est un peu physicien



00:30 → 02:15

1. architecture

L'architecte est un peu physicien

- Forces structurelles
- Résonances
- Protection sismique
- Thermique
- Acoustique

2. sculpture

Physique des matériaux

Équilibre (mobile)

3. Arts visuels

Autour de la lumière...

4. Musique

Autour du son...

5. Littérature

Analyse des contenus...

mais plutôt la physique inspire les artistes...

6. Arts de la scène

Danse: physique et sport (par ex., moment cinétique)

Cirque: équilibre

7. Cinéma

Autour de la lumière...

8. Arts médiatiques

Autour de la lumière...

9. Bande dessinée

→ littérature

Autour de la lumière

Les processus à l'origine de notre perception



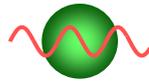
Interactions matière-lumière

Interactions lumière-œil

Interactions œil-cerveau

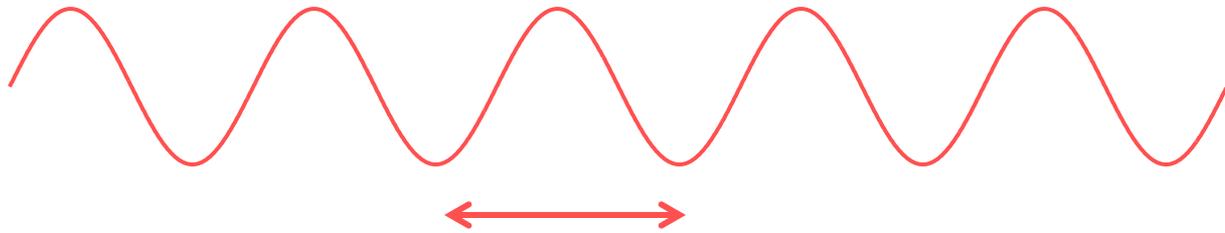
La lumière

La lumière est à la fois une onde et un corpuscule.



La lumière

onde



Longueur d'onde λ

Vitesse de la lumière c

Fréquence $\nu = c/\lambda$

La lumière

10⁻¹² mètres
1 picomètre

10⁻⁹ mètres
1 nanomètre

10⁻⁶ mètres
1 micromètre

10⁻³ mètres
1 millimètre

10⁰ mètres
1 mètre

10³ mètres
1 kilomètre

rayons gamma



rayons X



ultraviolet



infrarouge



micro-ondes



radio



Longueurs d'onde courtes

Longueurs d'onde longues

ultraviolet (UV)

infrarouge (IR)

400 nm

500 nm

600 nm

700 nm

Longueur d'onde = couleur

La lumière

Corpuscule: le photon (1926, avant, quantum d'énergie)

Masse : 0

Énergie: $E = h\nu = hc/\lambda$

$600 \text{ nm} = 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2 \text{ eV}$

10⁻¹² mètres
1 picomètre

10⁻⁹ mètres
1 nanomètre

10⁻⁶ mètres
1 micromètre

10⁻³ mètres
1 millimètre

10⁰ mètres
1 mètre

10³ mètres
1 kilomètre

rayons gamma



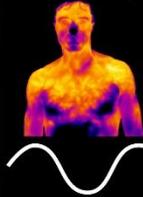
rayons X



ultraviolet



infrarouge



micro-ondes



radio



Longueurs d'onde courtes

Longueurs d'onde longues

ultraviolet (UV)

3 eV

2.5 eV

2 eV

infrarouge (IR)

400 nm

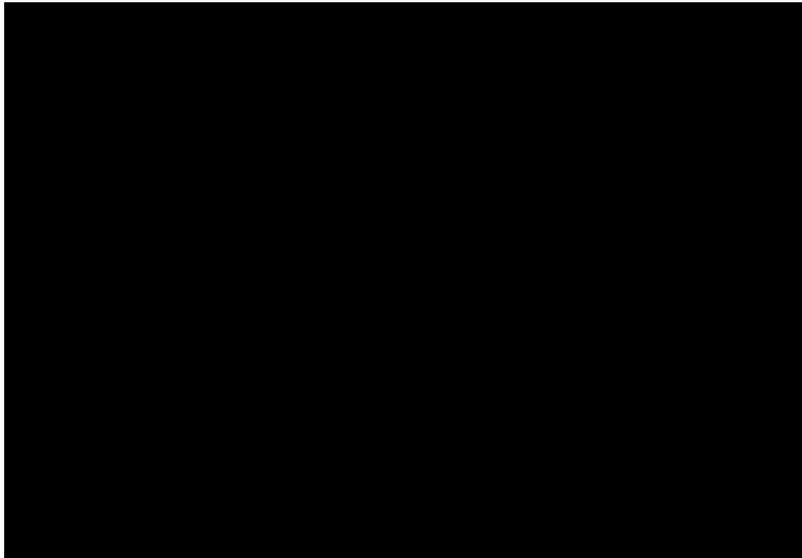
500 nm

600 nm

700 nm

Interaction matière-lumière

Émission (sources de lumière)

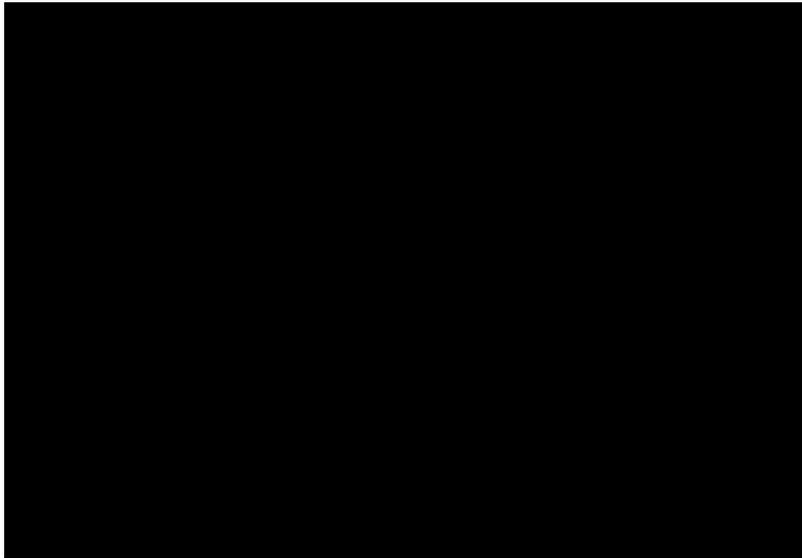


atome excité
=
photon
+
atome non excité

On peut exciter un atome avec de l'électricité (LED), de la chaleur (lampe à incandescence, feu)... Un atome excité est instable: il émet un photon spontané au bout d'un temps aléatoire donné par la durée de vie du niveau.

Interaction matière-lumière

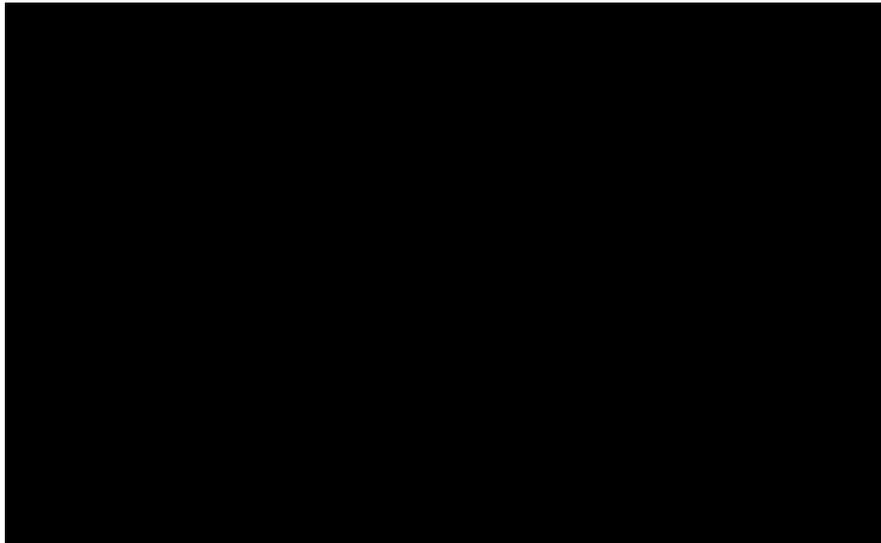
Émission (sources de lumière)



Spèctre d'émission du mercure

Interaction matière-lumière

Absorption (sources secondaires)

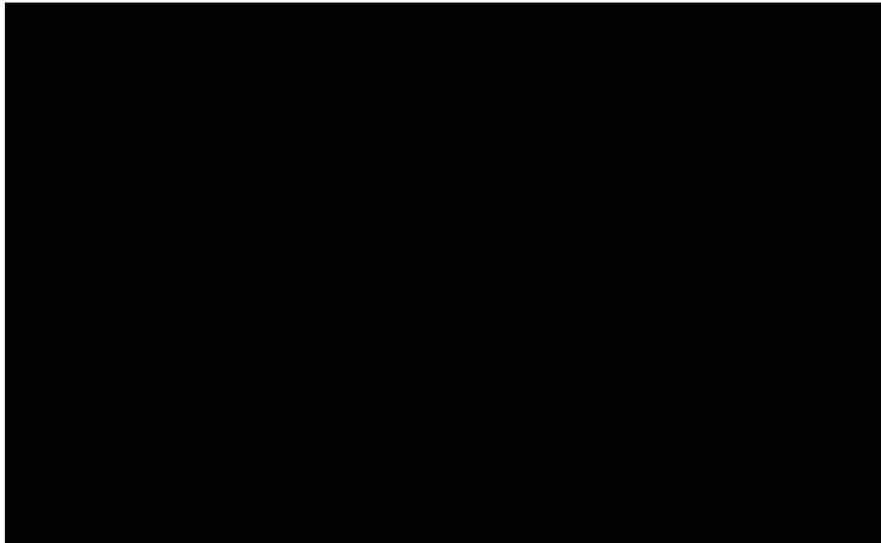


atome non excité
+
photon
=
atome excité

En fonction des propriétés de l'atome, l'énergie est ré-émise sous forme de lumière ou diffusée sous forme de chaleur

Interaction matière-lumière

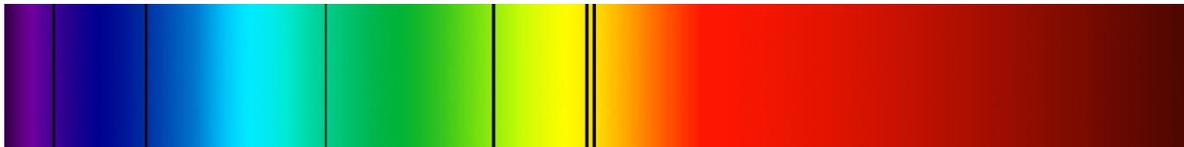
Absorption (sources secondaires)



atome non excité
+
photon
=
atome excité



Spectre d'émission du mercure



Spectre d'absorption du mercure

Notre perception de la couleur

On ne perçoit qu'une seule couleur à la fois



Notre perception de la couleur

Dans l'antiquité, couleur est plutôt synonyme de luminosité

Deux couleurs primaires



Les autres couleurs sont un mélange de blanc et de noir



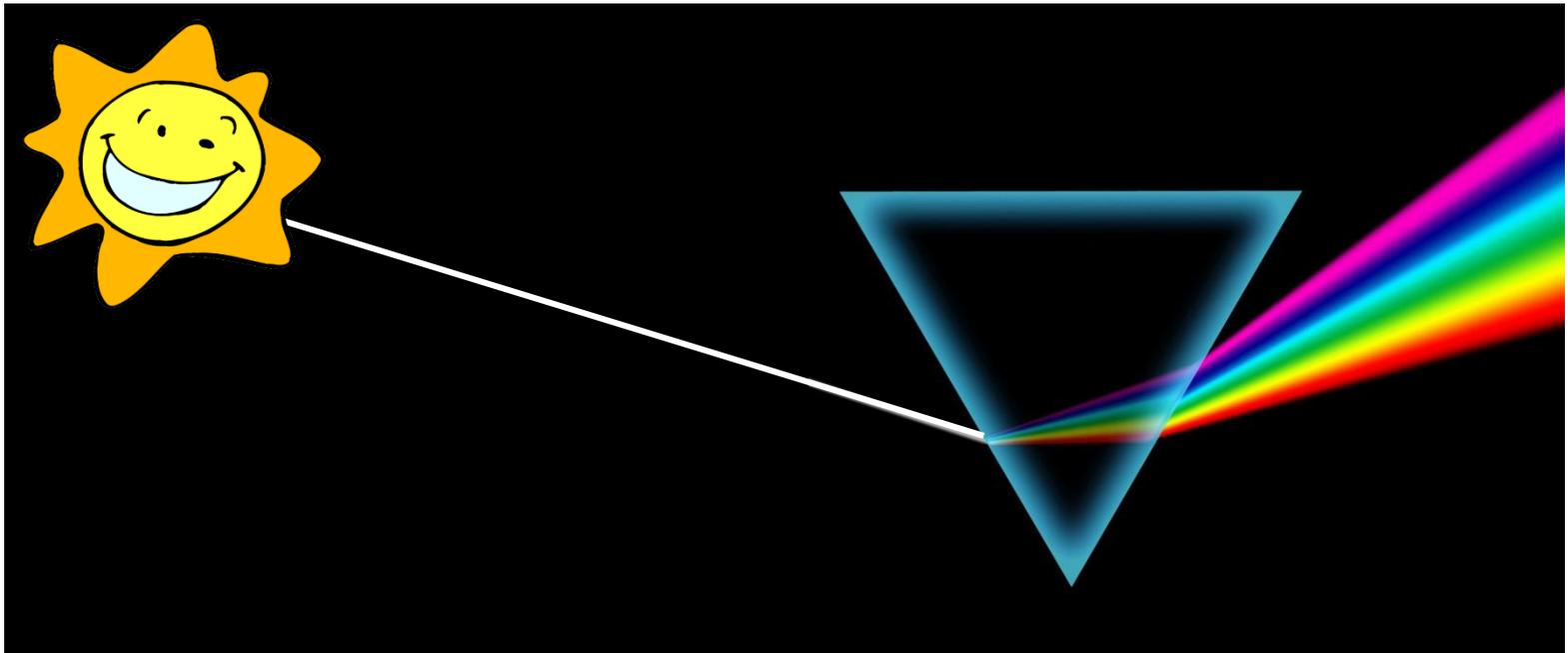
Le vert n'est pas une couleur en soi



Notre perception de la couleur

Au XVIII^e s.

Newton découvre que la lumière blanche peut être décomposée en plusieurs couleurs

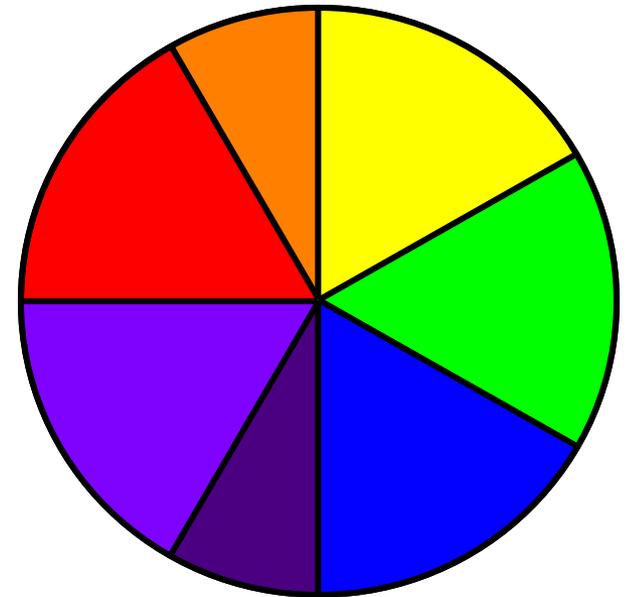


Notre perception de la couleur

Newton découvre que la lumière blanche peut être décomposée en plusieurs couleurs

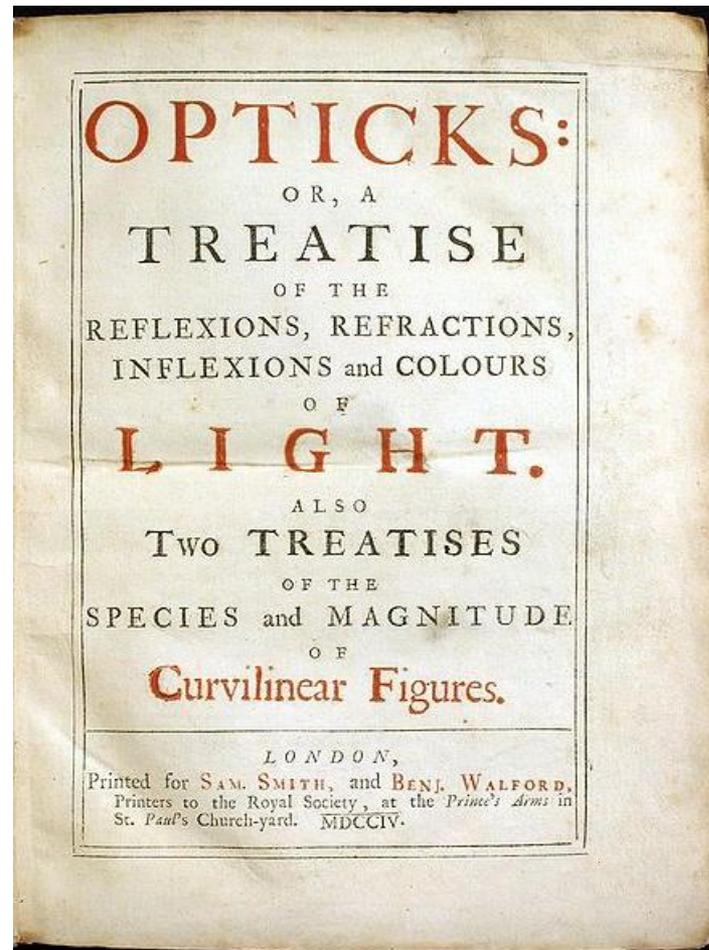


7 couleurs



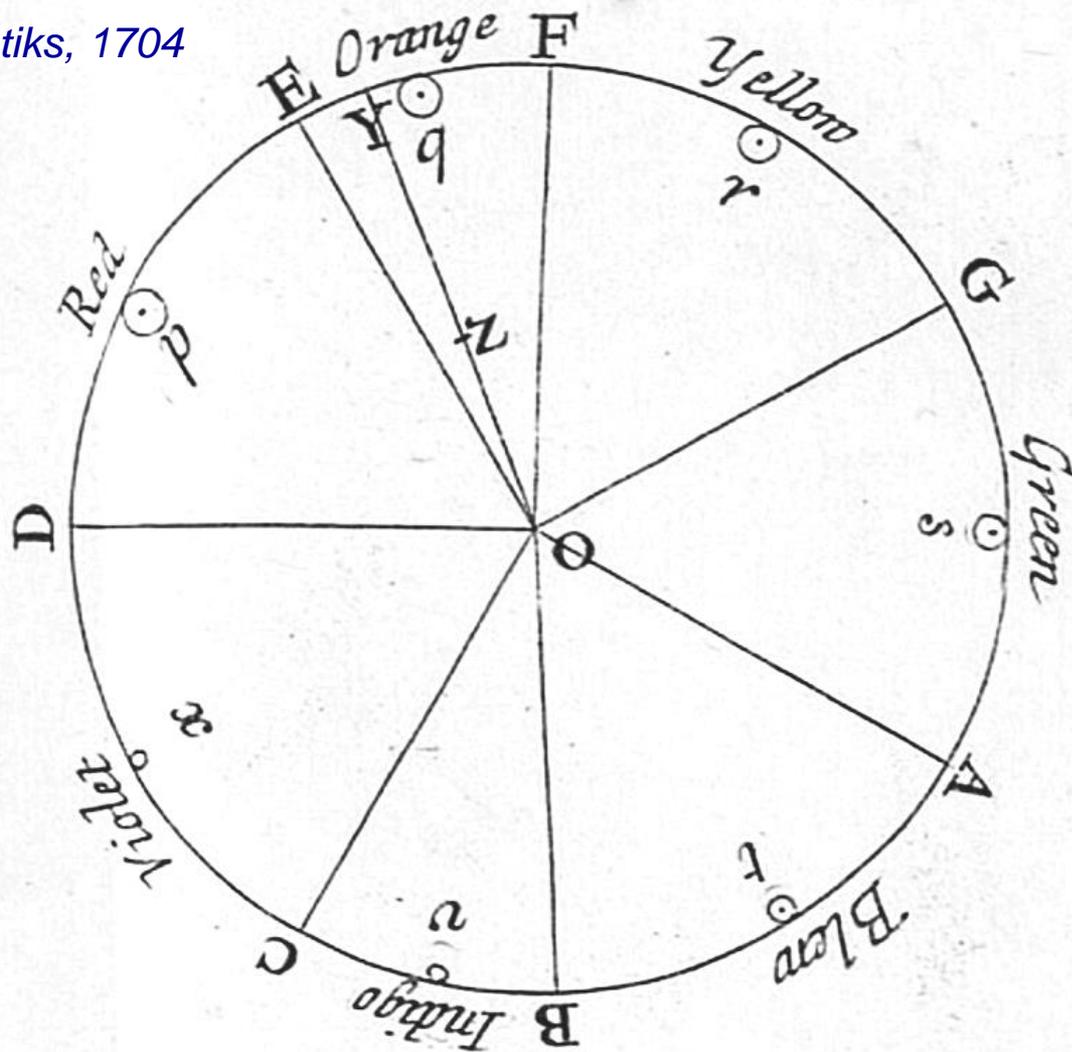
Notre perception de la couleur

Newton



Notre perception de la couleur

Newton, Optiks, 1704

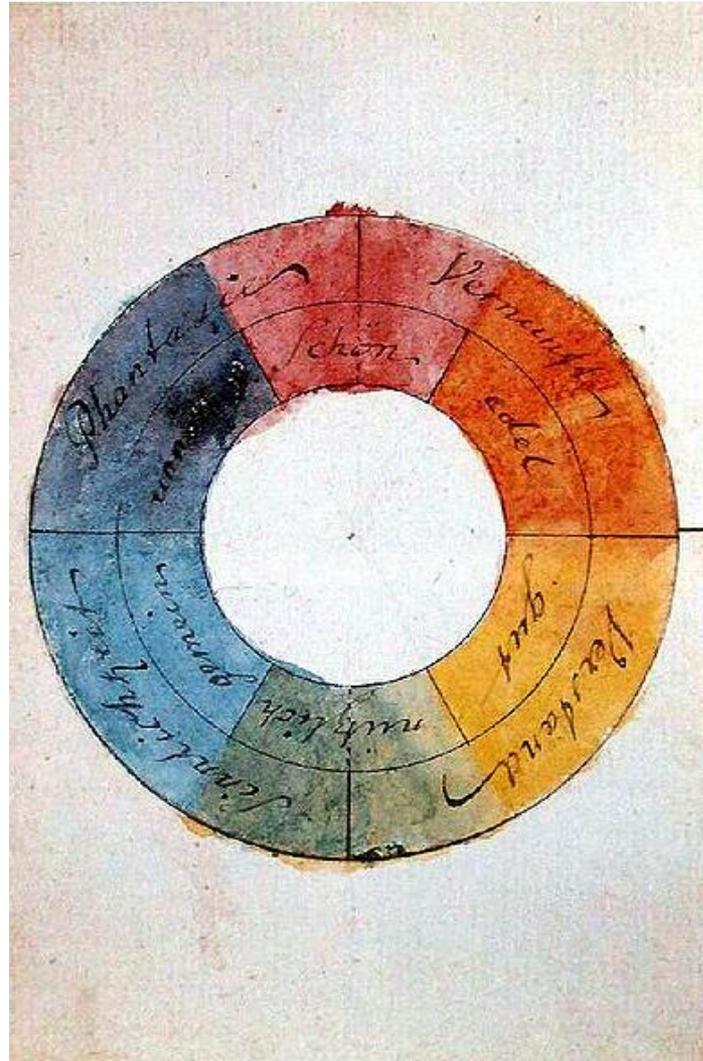


- D = Ré
- E = Mi
- F = Fa
- G = Sol
- A = La
- B = Si
- C = Do

Les couleurs se répartissent sur une octave

Notre perception de la couleur

Goethe (1809)



La couleur

Chevreul (1839)

Chimiste

Assistant

au Museum d'Histoire Naturelle
au jardin des plantes

Directeur

Manufacture des Gobelins
Museum

DE LA LOI DU CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS,

ET

**DE L'ASSORTIMENT DES OBJETS COLORÉS,
CONSIDÉRÉ D'APRÈS CETTE LOI**

DANS SES RAPPORTS AVEC LA PEINTURE, LES TAPISSERIES DES
GOBELINS, LES TAPISSERIES DE BEAUVAIS POUR MEUBLES,
LES TAPIS, LA MOSAÏQUE, LES VITRAUX COLORÉS, L'IMPRES-
SION DES ÉTOFFES, L'IMPRIMERIE, L'ENLUMINURE, LA DÉCO-
RATION DES ÉDIFICES, L'HABILLEMENT ET L'HORTICULTURE;

PAR

M. E. CHEVREUL,

Membre de l'Institut de France, de la Société royale de Londres, de la
Société royale des sciences de Copenhague, de l'Académie royale des sciences
de Stockholm, de l'Académie royale des sciences de Berlin, de la Société
royale et centrale d'agriculture du département de la Seine, etc.

Officier de la Légion d'honneur et chevalier de l'ordre danois de Dannebrog.

*On doit tendre avec effort à l'infailibilité
sans y prétendre.*

MALEBRANCHE.

PARIS,

Chez PITOIS-LEVRAULT et C.^o, rue de la Harpe, n.^o 81.

1839.

La couleur

Chevreul

(12)

14. Il est aisé de démontrer que la modification des couleurs juxtaposées va en s'affaiblissant en partant de la ligne de juxtaposition, et qu'on peut l'observer entre deux surfaces sans qu'elles soient contiguës; il suffit d'expérimenter comme il a été dit précédemment (10).

15. Je vais citer dix-sept observations faites conformément à la manière prescrite plus haut (9).

*Couleurs mises en expérience d'intensités égales
autant que possible.*

		Modifications.	
N.° 1.	{ Rouge . .	tire sur le violet.	
	{ Orangé . .	— le jaune.	
2.	{ Rouge . .	— le violet ou est moins jaune.	
	{ Jaune . .	— le vert ou est moins rouge.	
3.	{ Rouge . .	— le jaune.	
	{ Bleu . .	— le vert.	
4.	{ Rouge . .	— le jaune.	
	{ Indigo . .	— le bleu.	
5.	{ Rouge . .	— le jaune.	
	{ Violet . .	— l'indigo.	
6.	{ Orangé . .	— le rouge.	
	{ Jaune . .	— le vert brillant ou est moins rouge.	
7.	{ Orangé . .	— le rouge brillant ou est moins brun.	
	{ Vert . .	— le bleu.	

faces égales d'une couleur absolument identique. Les papiers peints pour tenture sont d'un excellent usage.

La couleur

Chevreul

(20)

Vert et jaune, n.° 10.

30. Le rouge, complémentaire du vert, en s'ajoutant au jaune, le fait tirer sur l'orangé.

L'indigo tirant sur le violet, complémentaire du jaune, en s'ajoutant au vert, le fait tirer sur le bleu.

Vert et bleu, n.° 12.

31. Le rouge, complémentaire du vert, en s'ajoutant au bleu, le fait tirer sur l'indigo.

L'orangé, complémentaire du bleu, en s'ajoutant au vert, le fait tirer sur le jaune.

Violet et bleu, n.° 16.

32. Le jaune tirant sur le vert, complémentaire du violet, en s'ajoutant au bleu, le fait tirer sur le vert.

L'orangé, complémentaire du bleu, en s'ajoutant au violet, le fait tirer sur le rouge.

Indigo et bleu, n.° 15.

33. Le jaune tirant sur l'orangé, complémentaire de l'indigo, en s'ajoutant au bleu, le fait tirer sur le vert.

L'orangé, complémentaire du bleu, en s'ajoutant à l'indigo, le fait tirer sur le violet.

Rouge et jaune, n.° 2.

34. Le vert, complémentaire du rouge, en s'ajoutant au jaune, le fait tirer sur le vert.

d'un bel orangé; résultat qui s'expliquerait, si l'on admettait avec nous que les matières colorées qu'on mêle deux à deux, réfléchissent chacune au moins deux sortes de rayons colorés, et si l'on admet avec les peintres et les teinturiers que, dès qu'il y a mélange de matières qui réfléchissent séparément du rouge, du jaune et du bleu, il y a production d'une certaine quantité de noir, qui ternit l'éclat des matières mélangées. Enfin, il est encore certain, conformément à cette manière de voir, que les violets, les verts et les orangés qui résultent d'un mélange de matières colorées, sont d'autant plus brillants que les matières mélangées étaient plus rapprochées l'une de l'autre par leurs couleurs respectives. Par exemple, que le bleu et le rouge mélangés tiraient davantage chacun sur le violet, que le bleu et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur le vert, enfin, que le rouge et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur l'orangé.

159. Pour se représenter toutes les modifications que j'ai appelées *tons* et *nuances des couleurs*, ainsi que les relations qui existent entre celles qui sont complémentaires l'une de l'autre, j'ai imaginé la construction suivante, qui me semble remarquable par sa simplicité.

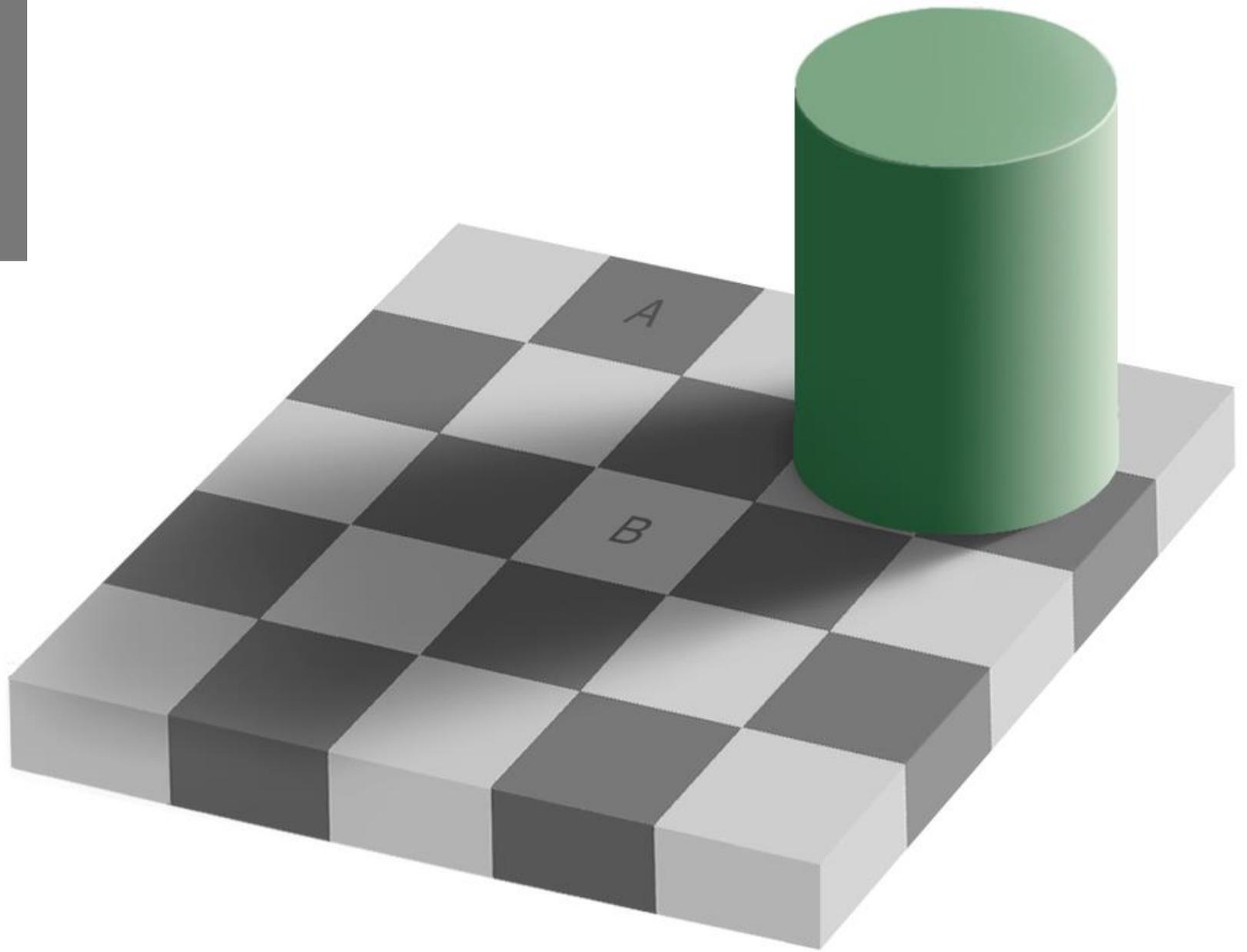
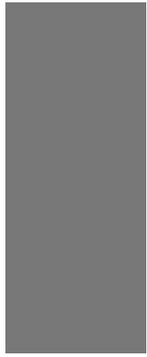
D'un centre c je décris deux circonférences $\gamma\gamma'$,

fig. 13; je divise chacune d'elles, au moyen de trois rayons, ca , cb , cd , en trois arcs de 120 degrés.

Je partage la portion de chaque rayon comprise entre les deux circonférences $\gamma\gamma'$ en vingt parties, qui me représentent autant de tons des couleurs rouge, jaune et bleue.

160. Dans chacune des gammes de ces trois couleurs il y a un ton qui présente à l'état de pureté la couleur de la gamme à laquelle il se rapporte; c'est pourquoi je le nomme le *ton normal de cette gamme*. Si nous nous représentons une unité de surface s , couverte entièrement par la matière qui nous réfléchit la couleur normale, et si nous supposons que cette matière colorée soit sur cette surface en une quantité égale à 1, nous nous représenterons les tons supérieurs au ton normal par l'unité de surface couverte de 1 de la couleur normale, plus de quantités de noir croissantes avec le numéro des tons, et nous nous représenterons les tons inférieurs par l'unité de surface couverte d'une fraction de la quantité 1, constituant le ton normal, mêlée de quantités de blanc d'autant plus grandes, que le ton a un numéro moins élevé.

Si le ton 15 de la gamme rouge est le ton normal, le ton normal de la gamme jaune aura



Pour assurer aux planches de cet ouvrage la fixité qu'exige leur caractère scientifique et pour ne point déparer, par des imperfections matérielles, le monument que l'Imprimerie nationale élève à la mémoire de E. Chevreul, il fallait ne recourir qu'à des couleurs minérales dont la stabilité fût certaine. Il a même été nécessaire d'en fabriquer quelques-unes qui, à cause de leur haut prix et de leurs applications industrielles limitées, ne se trouvaient point dans le commerce. Les trois couleurs choisies par Chevreul comme fondamentales : le *rouge*, le *jaune*, le *bleu*, ne pouvant être reproduites exactement au moyen de matières isolées, on les a obtenues par mélange.

On a dû naturellement éviter de mettre en présence l'un de l'autre des corps que leur contact prolongé aurait pu altérer mutuellement. Réduites à l'état de poudres aussi parfaites que possible, puis mélangées à des vernis lithographiques appropriés, les matières ont été broyées sous des cylindres de porphyre pour éviter tout risque de détérioration au contact d'une surface métallique. Un certain nombre de ces couleurs ne pouvaient être que très difficilement transformées en encres lithographiques, soit à cause de leur état moléculaire particulier, soit parce que les vernis ne s'incorporaient pas convenablement. Des recherches multipliées ont seules permis d'atténuer, dans la mesure du possible, les défauts pouvant déjouer les prévisions et subsister dans ces produits tout spéciaux.

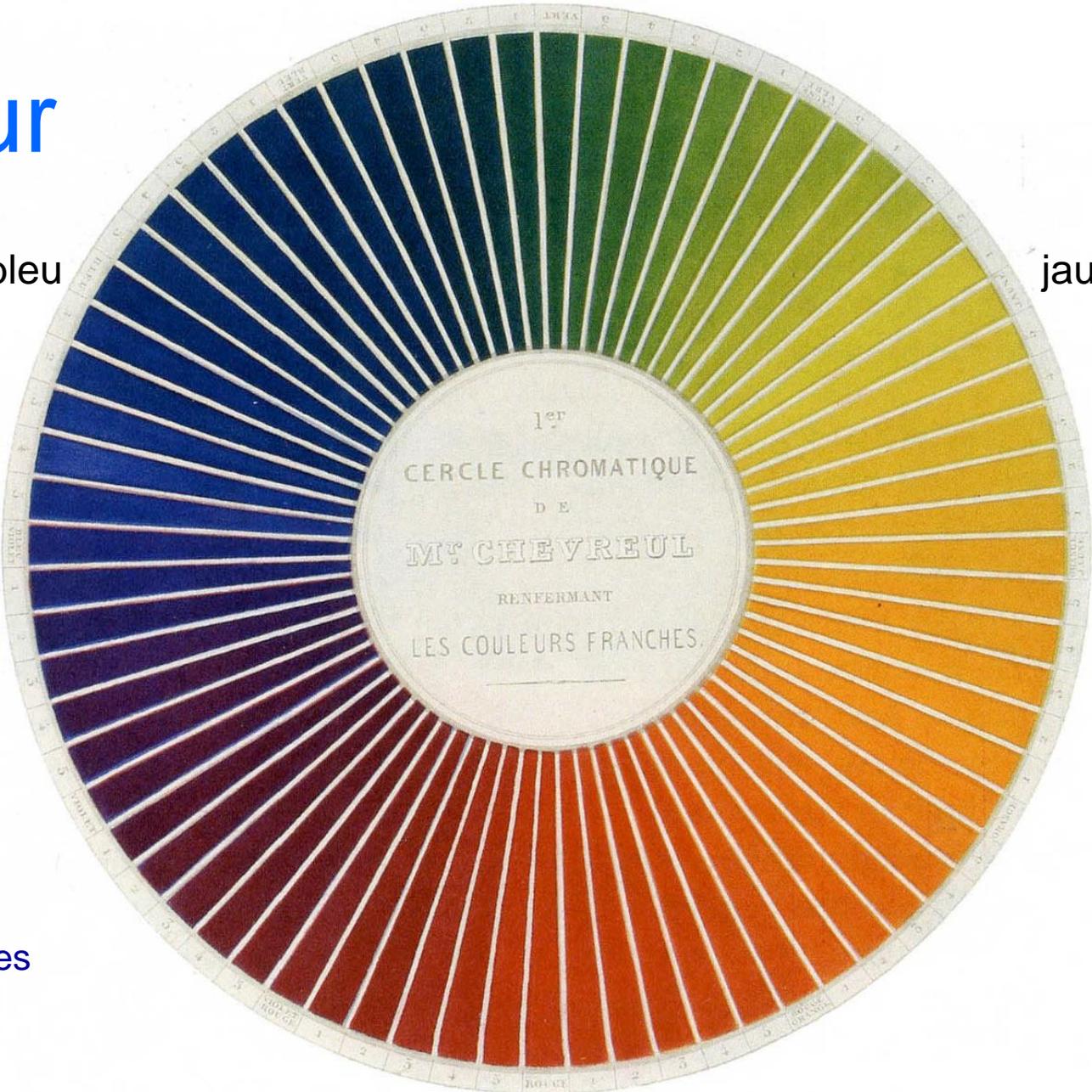
C'est à la maison Lefranc et C^e que l'Imprimerie nationale s'est adressée pour cette fourniture exceptionnelle. Toutes les couleurs adoptées ont été, sur la désignation de M. E. Chevreul, soumises à l'approbation de M. E. David, chimiste des Gobelins.

La couleur

Chevreul (1855)

bleu

jaune



Couleurs primaires
RJB

rouge

La couleur

Chevreul

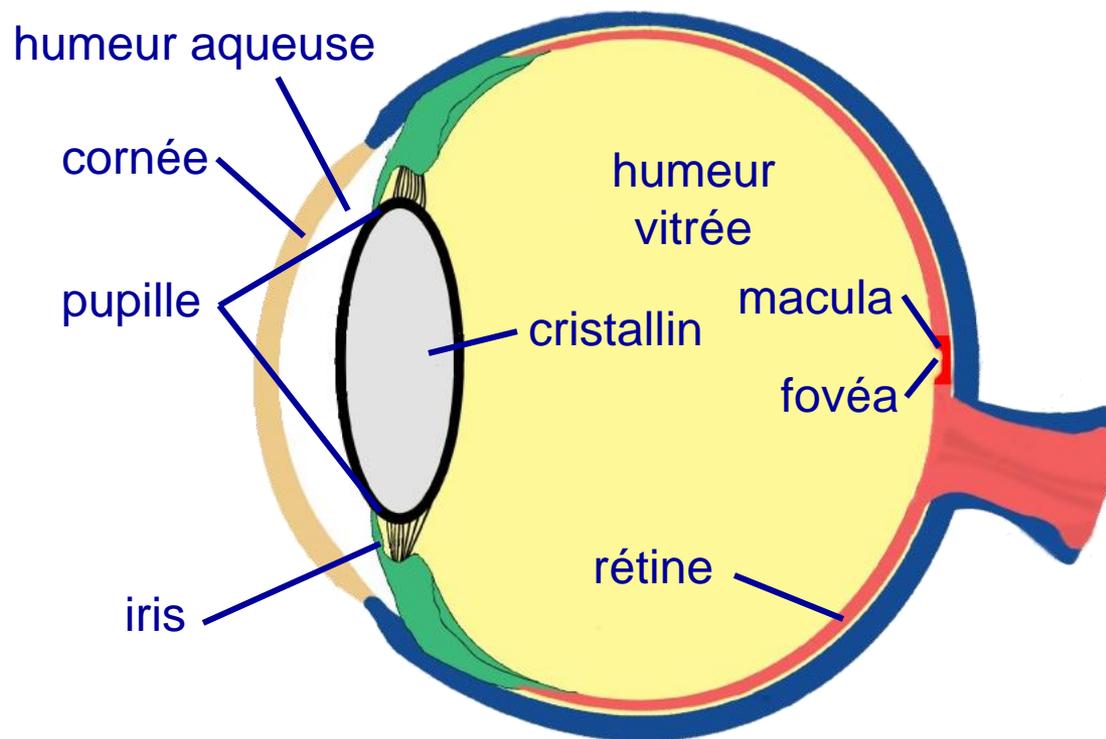
Influence Delacroix, les impressionnistes, etc



Seurat, *Un dimanche après-midi à l'île de la Grand Jatte*

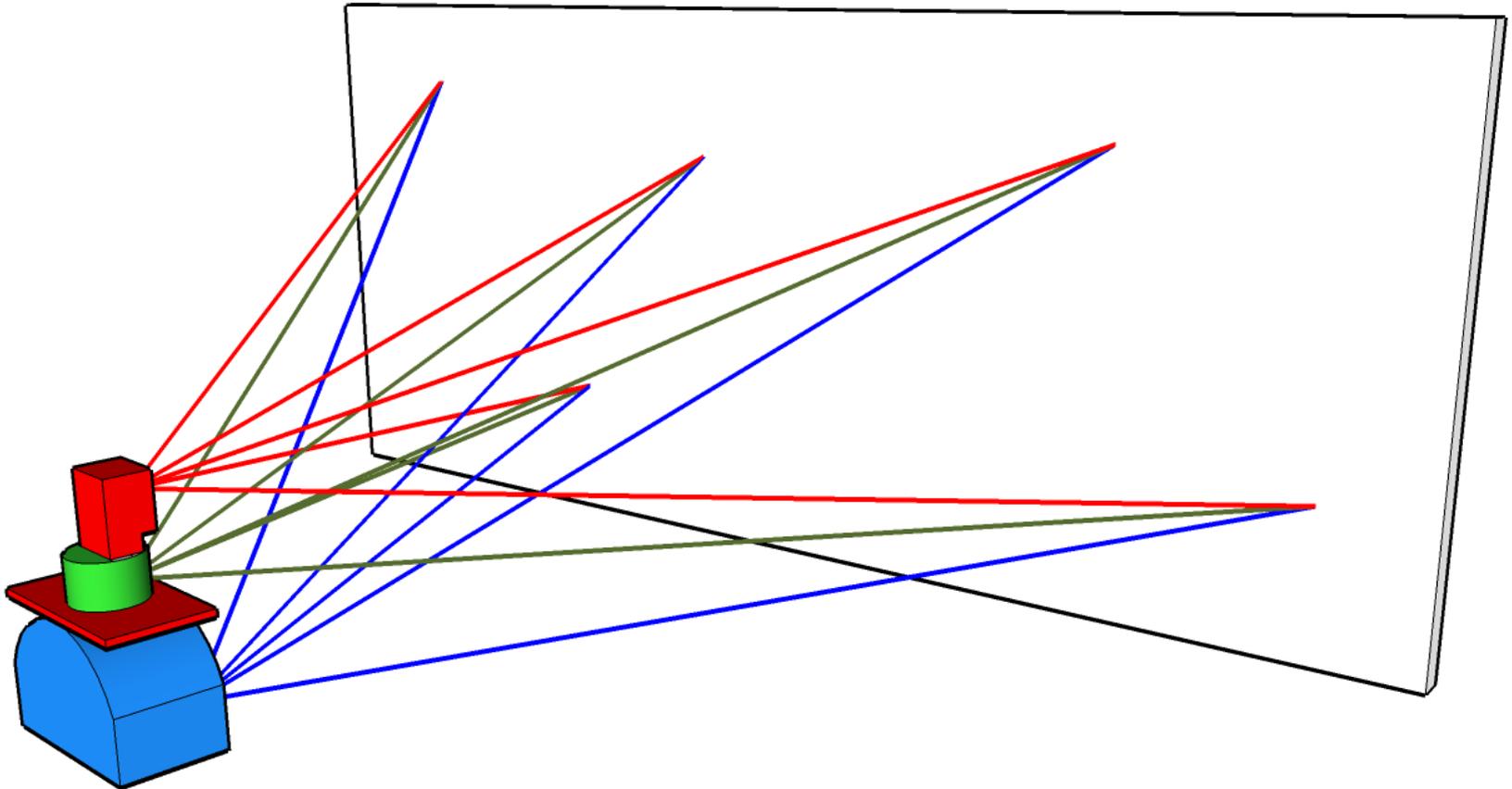
L'œil

Les processus à l'origine de notre perception



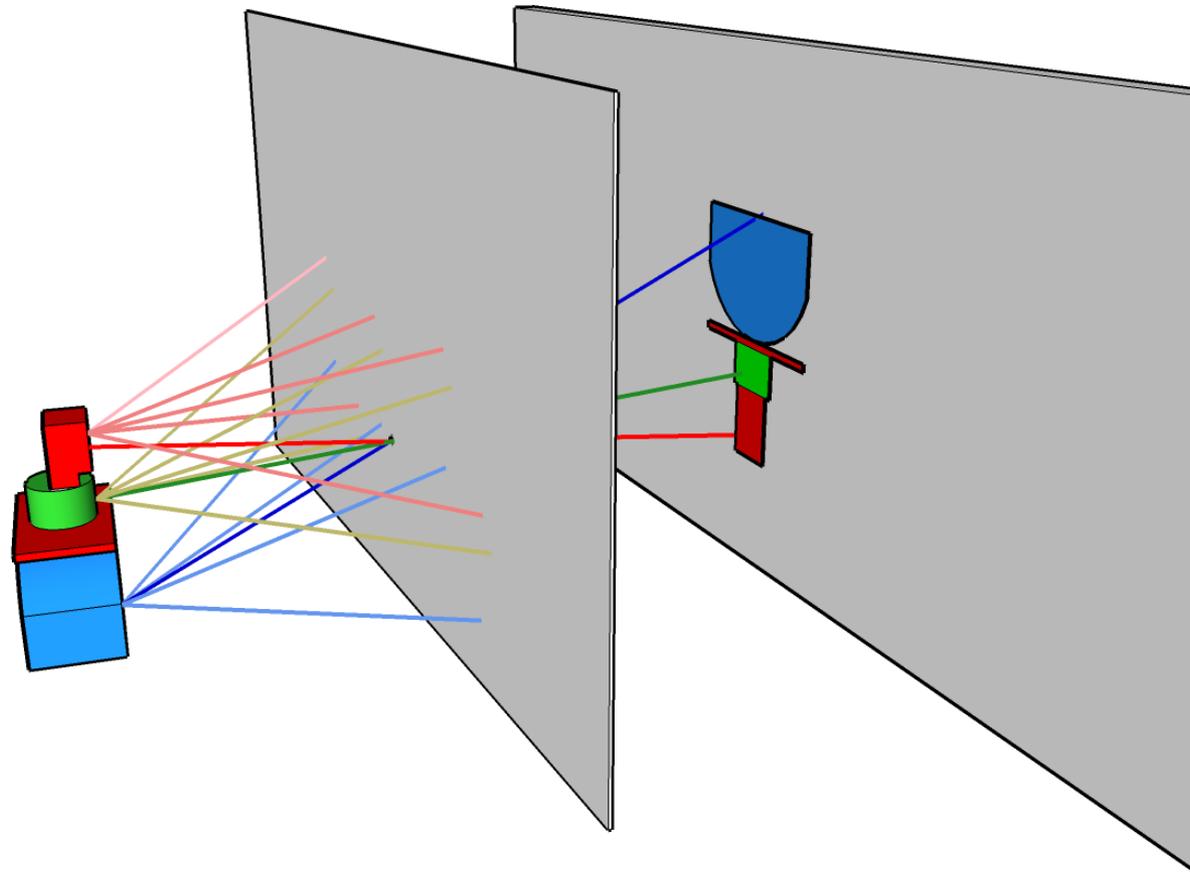
Comment l'œil voit-il ?

Principe de la chambre noire



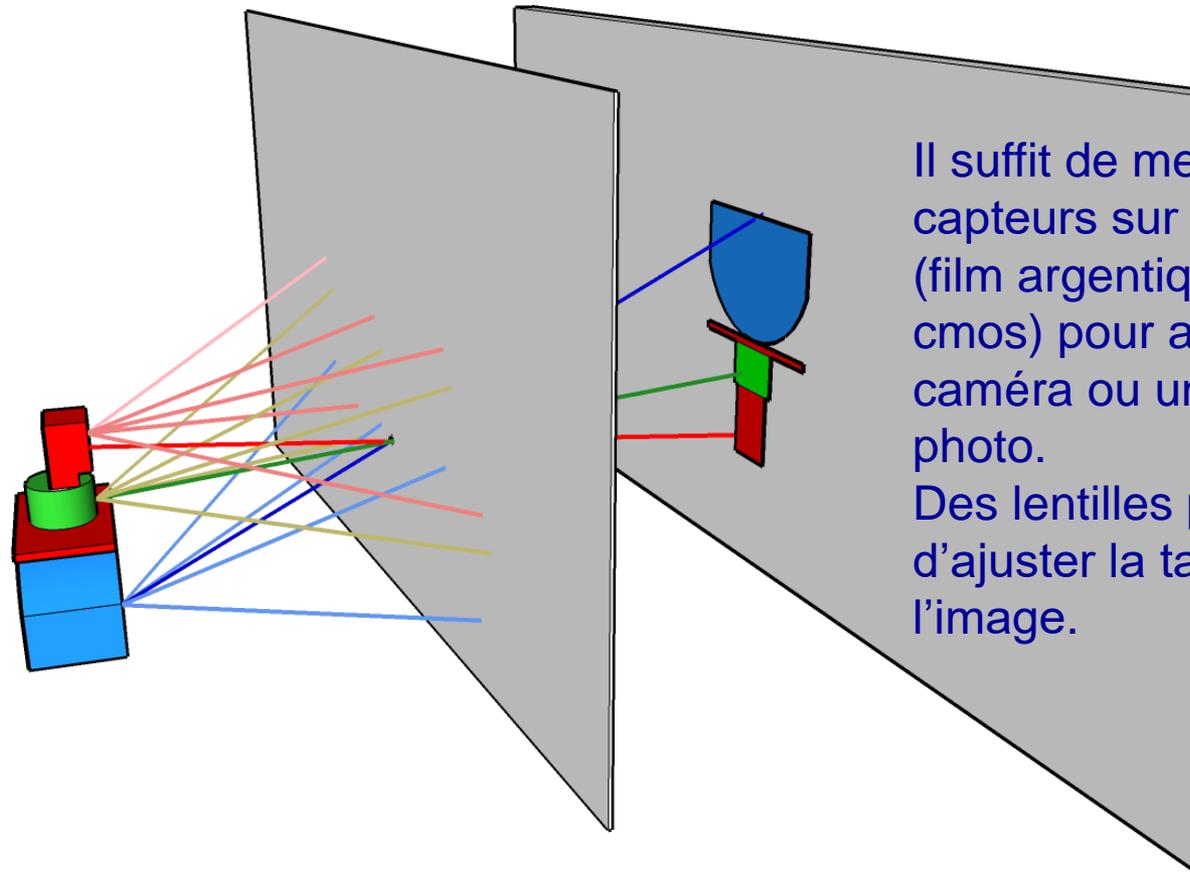
Comment l'œil voit-il ?

Principe de la chambre noire



Comment l'œil voit-il ?

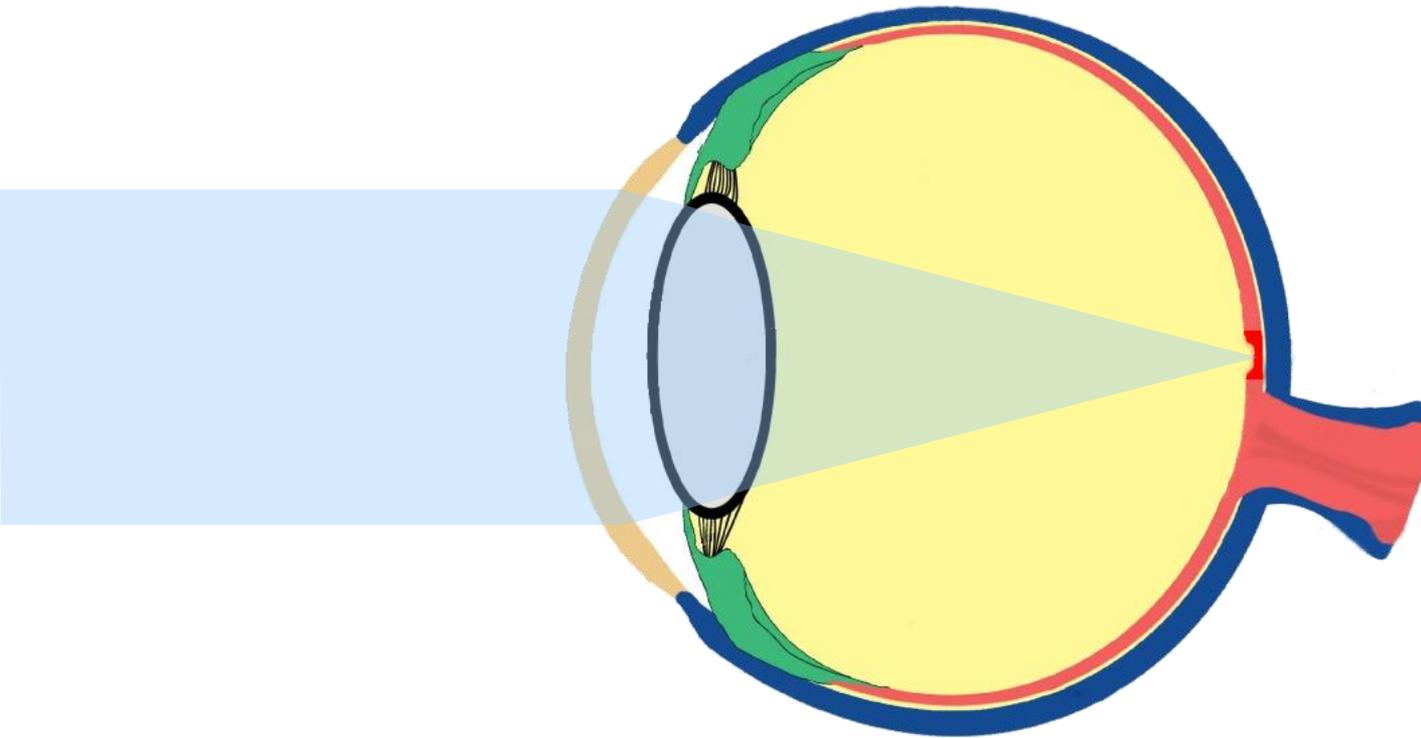
Principe de la chambre noire



Il suffit de mettre des capteurs sur l'écran (film argentique, ccd, cmos) pour avoir une caméra ou un appareil photo. Des lentilles permettent d'ajuster la taille de l'image.

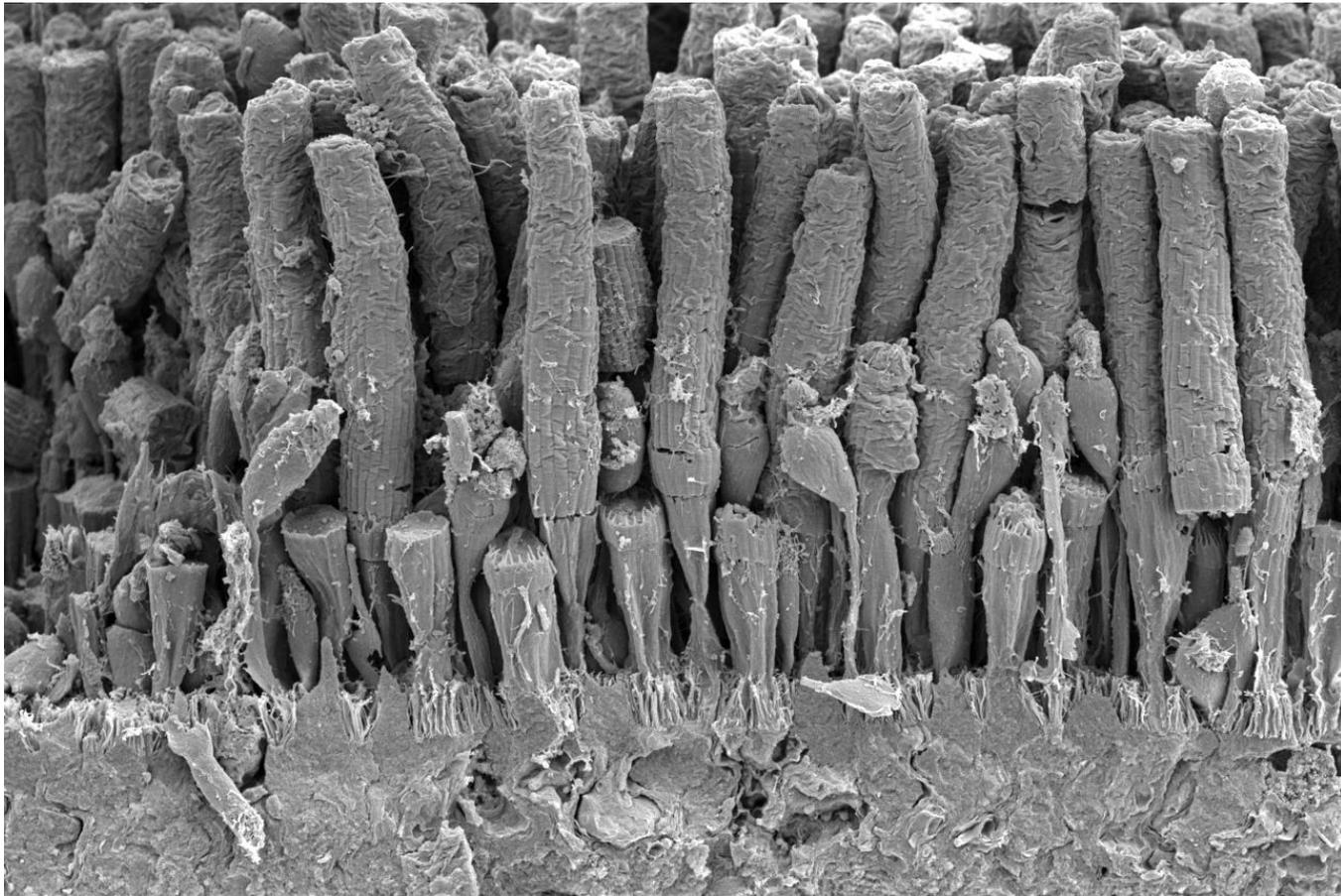
L'œil

Les processus à l'origine de notre perception



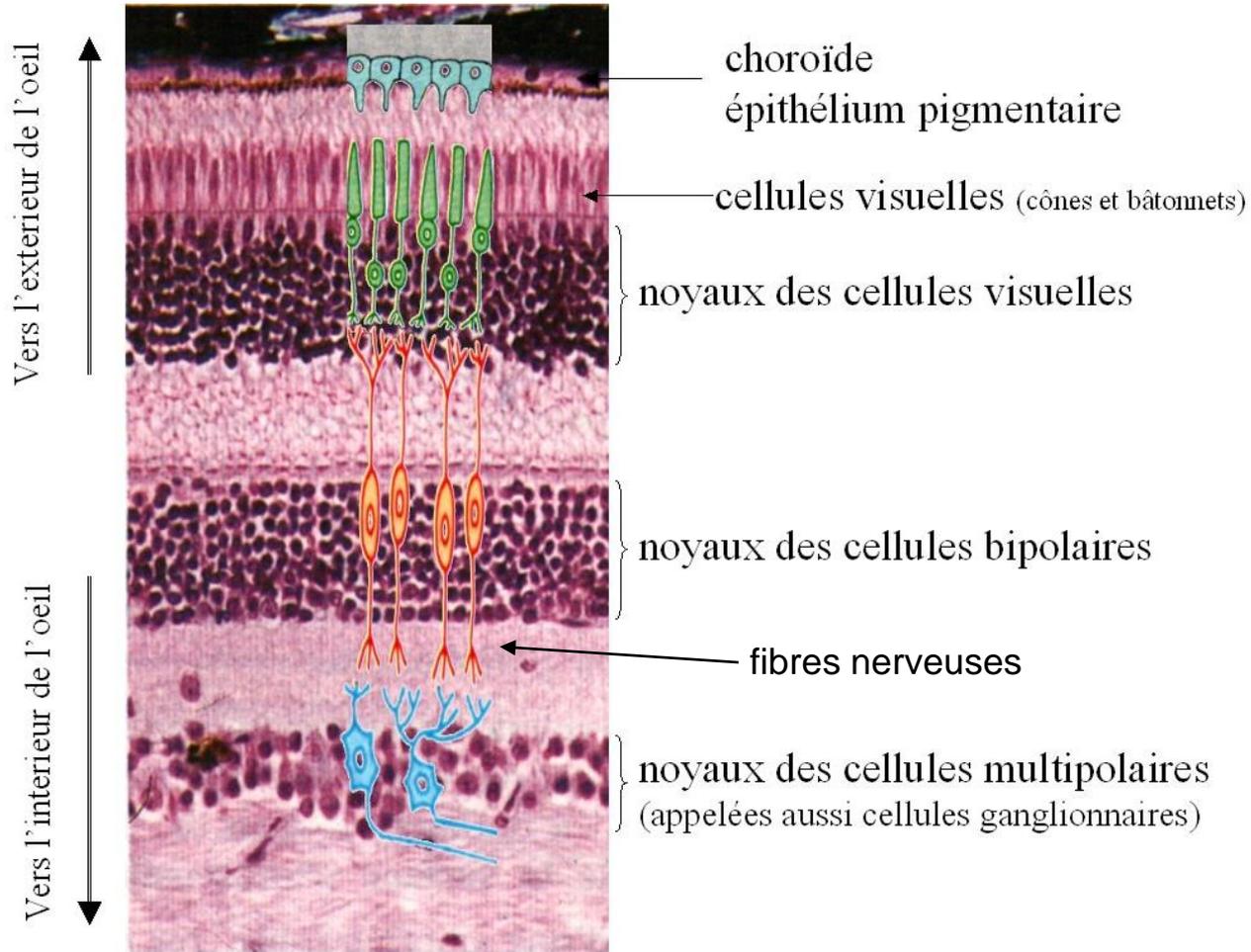
Les capteurs de l'œil

La rétine



Les capteurs de l'œil

La rétine

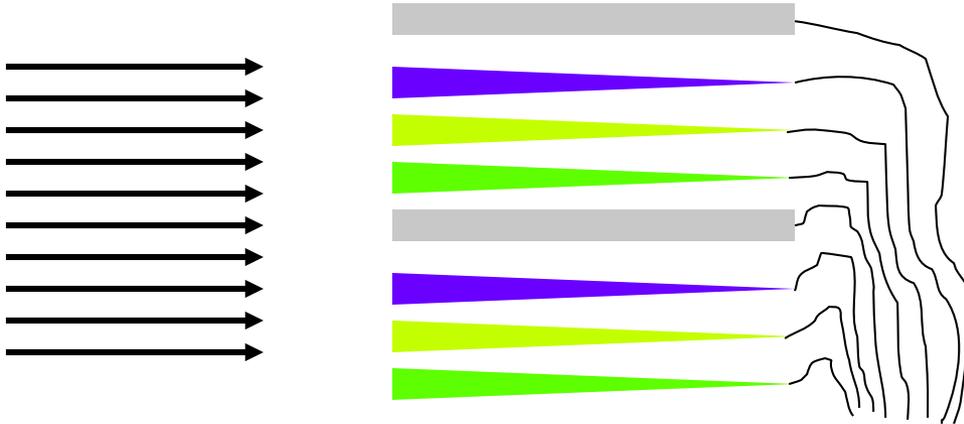


Les capteurs de l'œil

La rétine

lumière

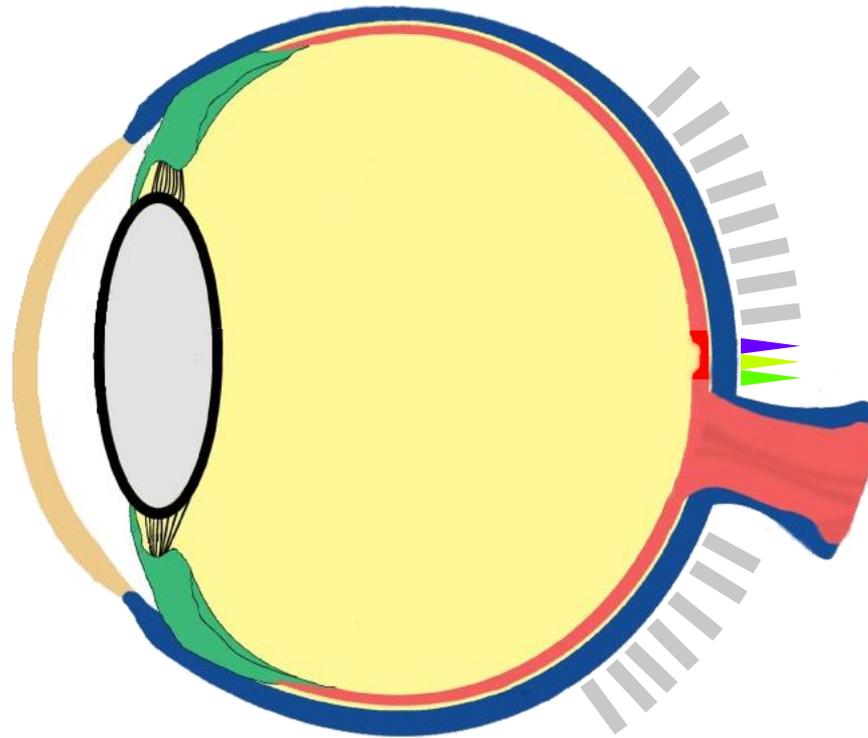
5 millions de cônes
120 millions de bâtonnets



fibres rassemblées en 1
million de fibres formant le
nerf optique

Les capteurs de l'œil

La rétine



Les capteurs de l'œil

La rétine

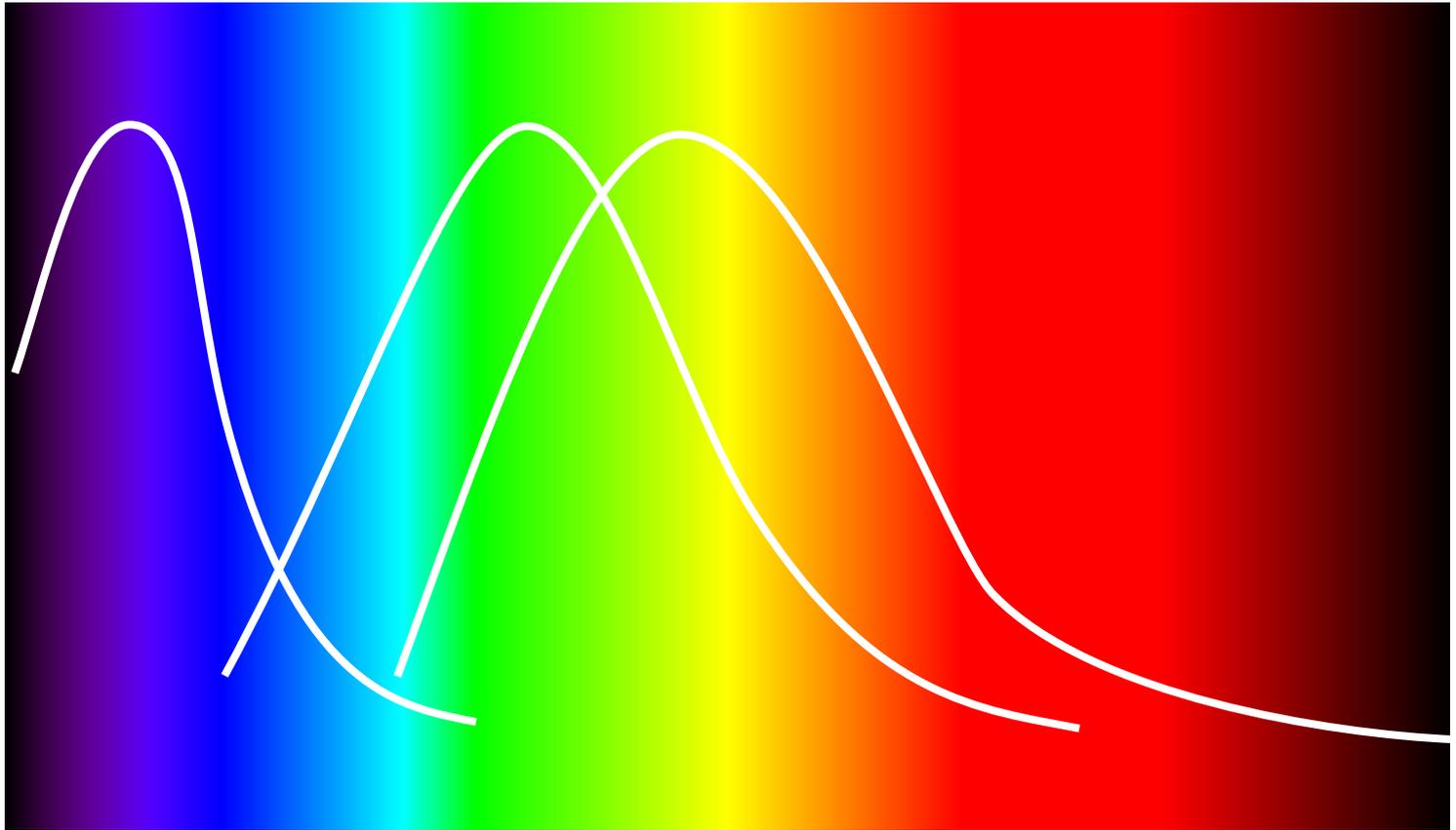
	pic de sensibilité	sensibilité	signal électrique	acuité
	498 nm	1000	faible sature à 1 lux	faible
	420 nm	1	fort	forte
	530 nm	1	fort	forte
	560 nm	1	fort	forte

Forte lumière : le signal électrique délivré par les bâtonnets sature, et on voit donc avec les cônes (en couleur !)

Faible lumière : le signal électrique délivré par les cônes est faible, et on voit donc avec les bâtonnets. Vision monochrome.

Les capteurs de l'œil

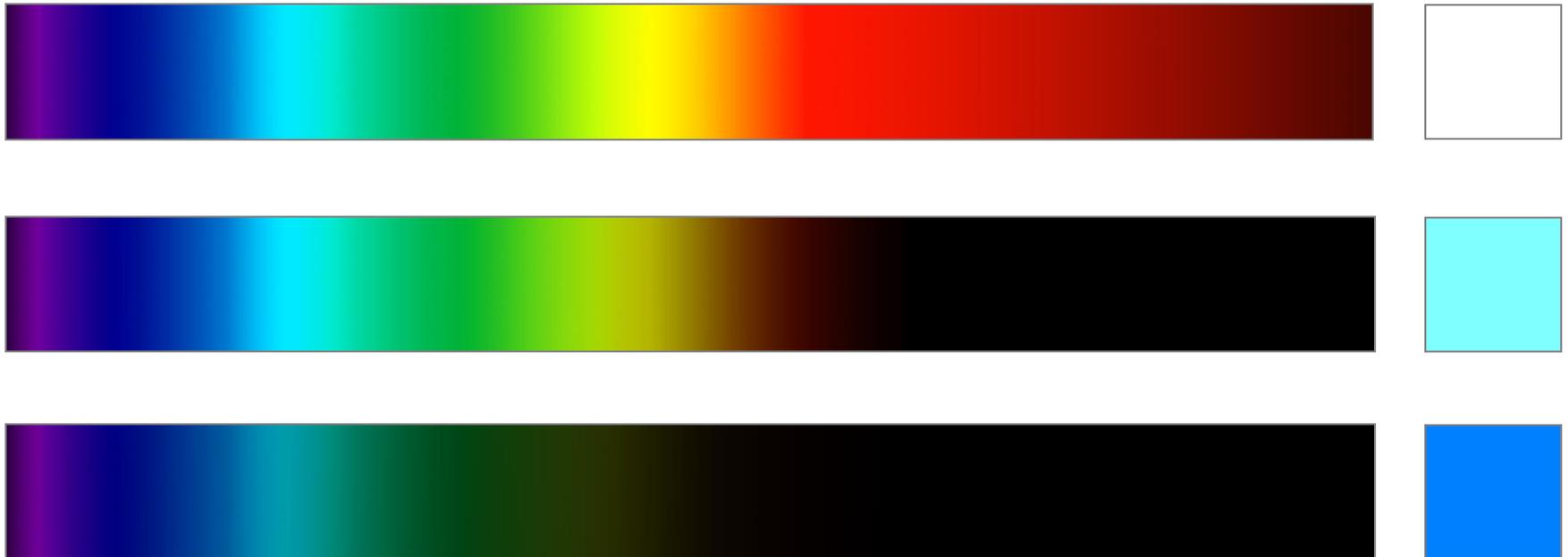
Les cônes



La couleur finale est perçue par un mélange.

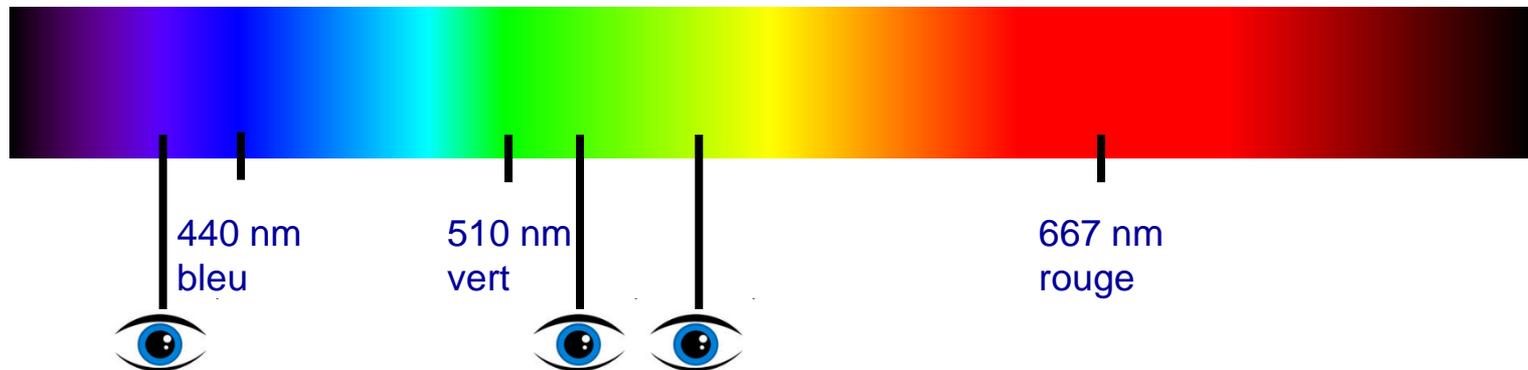
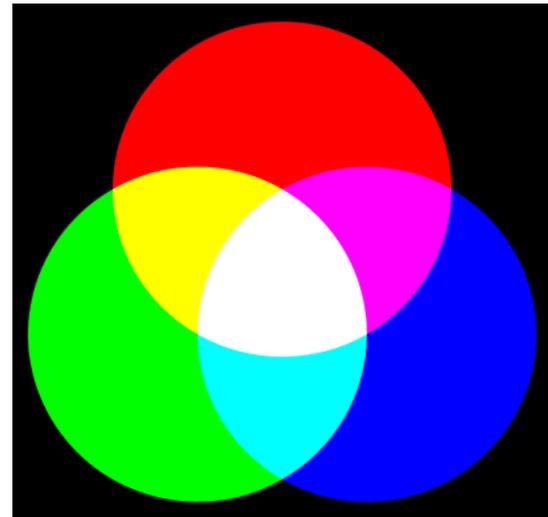
Le cerveau

La couleur finale est perçue par un mélange.

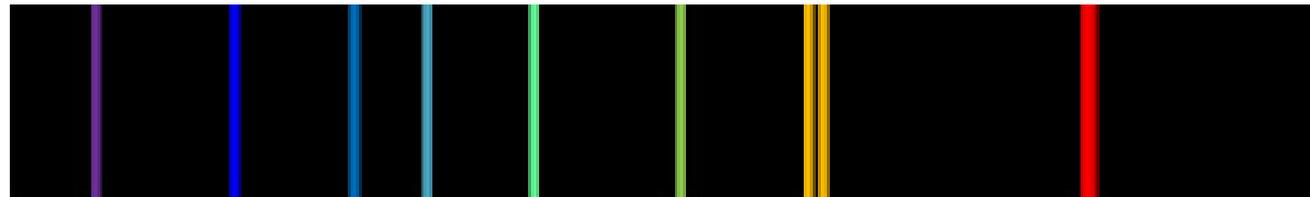
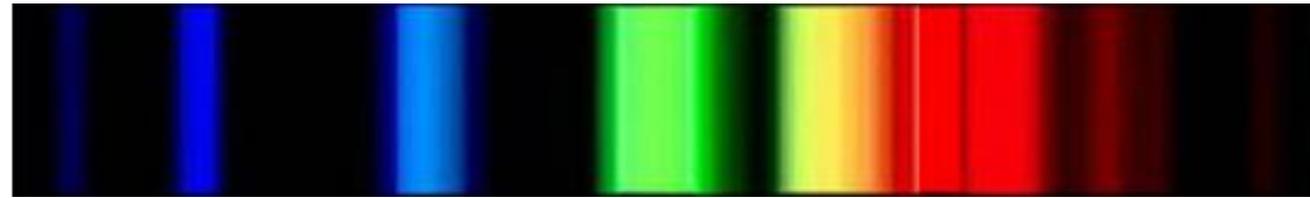
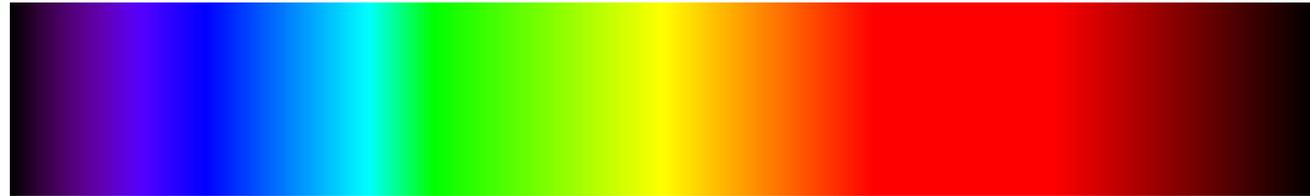


Comment « tromper » l'œil ?

La synthèse additive RVB



Comment tromper l'œil ?



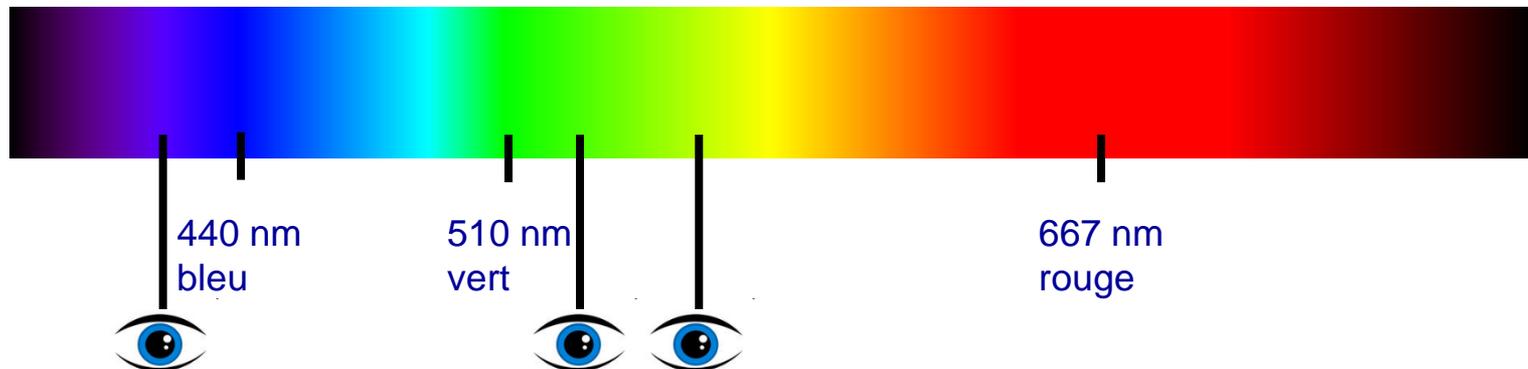
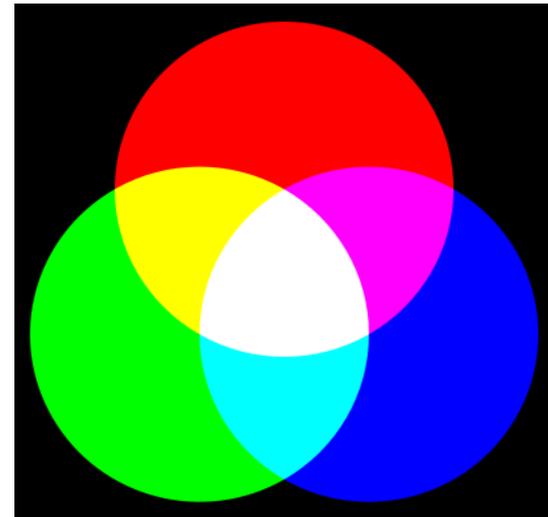
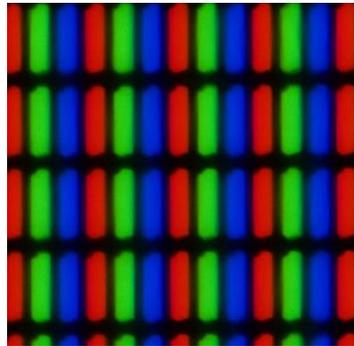
Comment tromper l'œil ?

La synthèse additive RVB

vidéo

sources de lumière

...



Les couleurs du peintre

Pigments

Les artistes prennent ce qu'ils trouvent...

Préhistoire

Noir: charbon de bois, charbon d'os, dioxyde de manganèse (roche)

Rouge au jaune: oxyde de fer (roche comme l'hématite) et ocre (argile)

Égyptiens



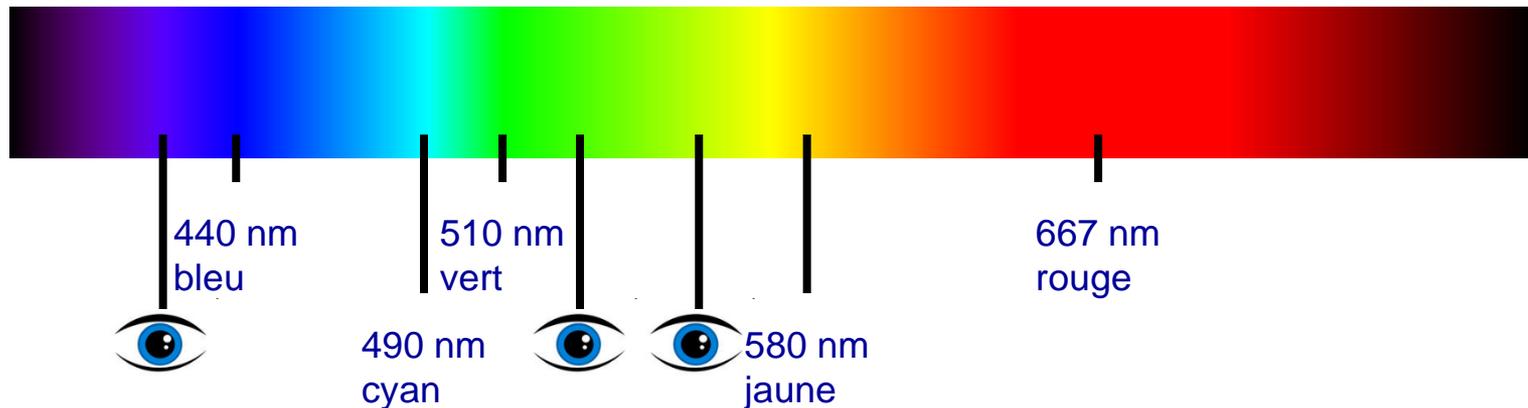
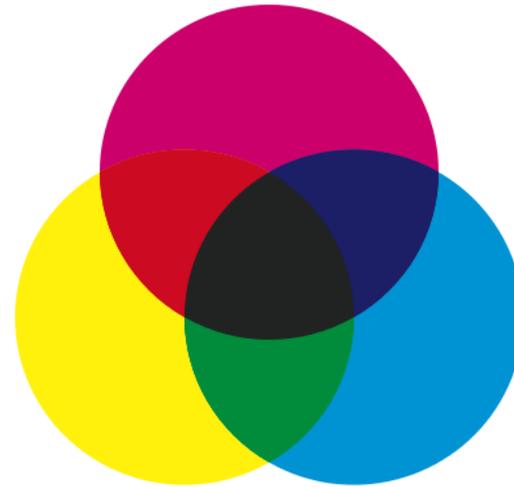
Bleu égyptien (khesbedjiryt = lapis lazuli fabriqué): premier pigment de synthèse (3000 av. JC), dont la technique de fabrication a été retrouvée en 2011 (cuisson d'un mélange spécifique de composés renfermant du silicium, du calcium et du cuivre avec un fondant sodique, dans des conditions très contrôlées)

Le cerveau

Synthèse soustractive

couleurs des sources secondaires

encre
peinture
pigments
...



Le cerveau

Magenta

pigment (goudron, 1859)

imprimerie (1890)

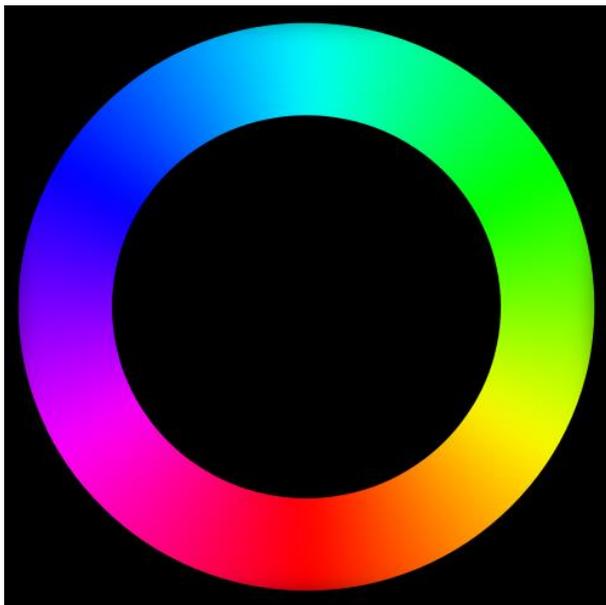
écrans (1980)



primaire soustractive CMJN

secondaire additive RVB

pas de conversion officielle entre CMJN et RVB.



Le pointillisme



Le cerveau



Le cerveau



Autour de la lumière

Les processus à l'origine de notre perception



Interactions matière-lumière

Interactions lumière-œil

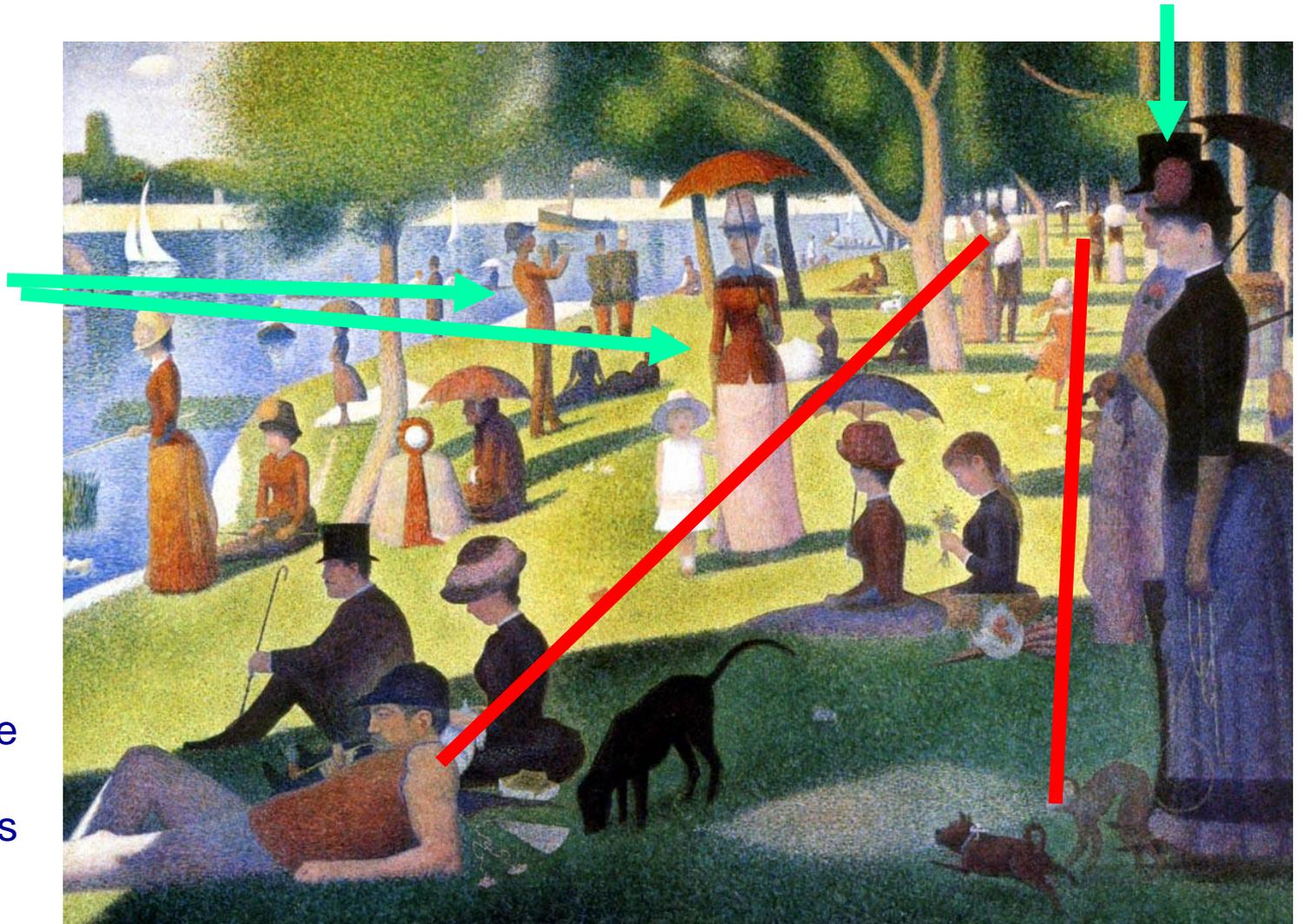
Interactions œil-cerveau

Le cerveau

Le relief : vision monoculaire

Le recouvrement

La taille
apparente



La perspective

Les ombres

Le cerveau

Le relief : vision monoculaire

Le recouvrement

La taille apparente

La perspective

Les ombres

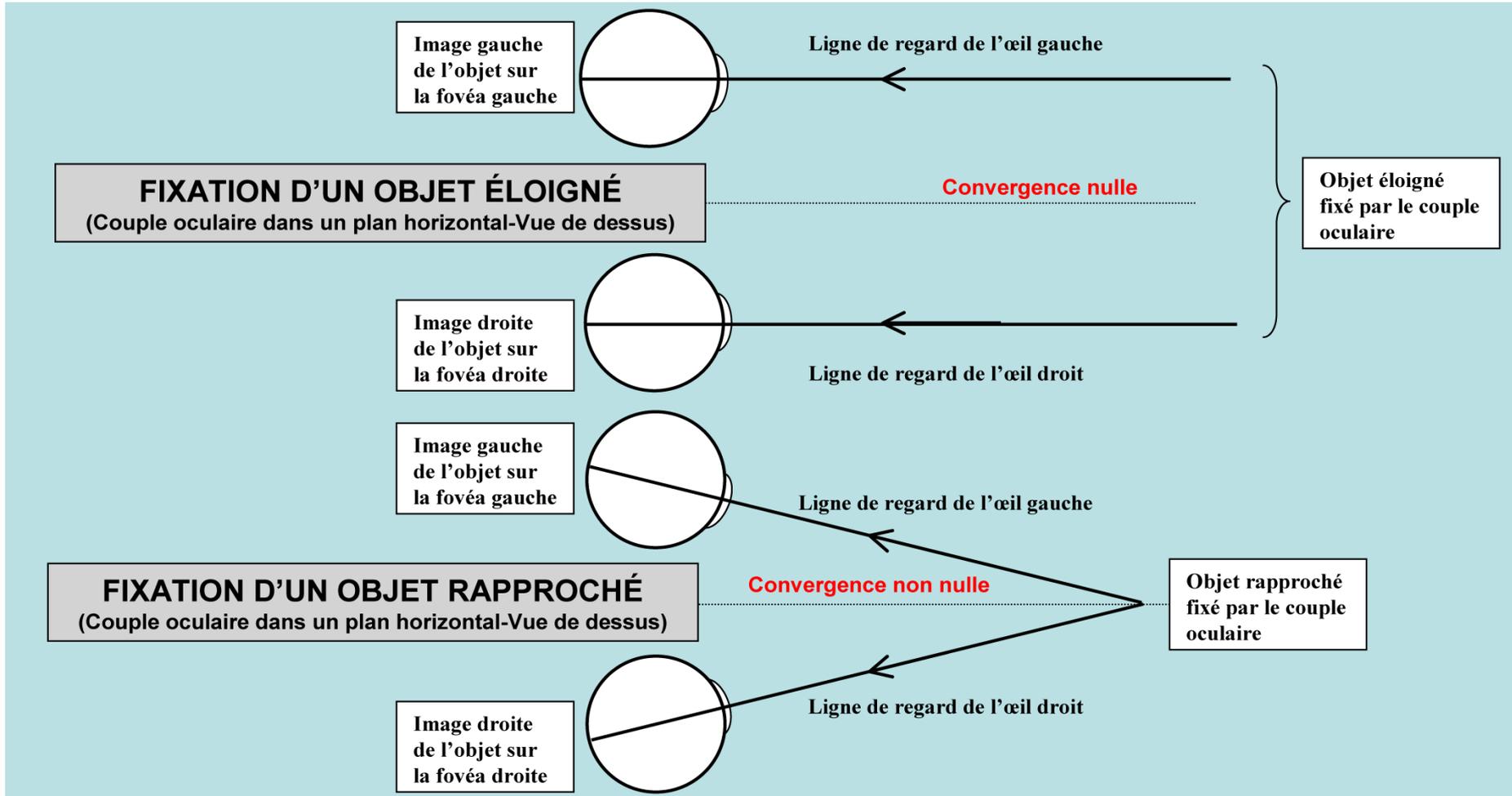
La diffusion par l'atmosphère



Le cerveau

Le relief : vision binoculaire

La convergence binoculaire



Le cerveau

Le relief : vision binoculaire

La vision stéréoscopique



Le cerveau

Le relief : vision binoculaire

La vision stéréoscopique



Le cerveau

Le mouvement

La rétine intègre en permanence les signaux lumineux

Persistance rétinienne: environ 50 ms

Fréquence critique de fusion: 54 Hz (→ 18 ms) Expérience des flashes

Un objet en mouvement est vu flou (puisque intégré pendant 50 ms)

Si deux images successives sont légèrement différentes, le cerveau est capable d'interpoler un mouvement (temps max entre les deux images de l'ordre de 125 ms, 8 im/s) → effet phi.