

Biophysique sensorielle de la vision

Dioptrique oculaire - Acuité visuelle



Frédéric Patat - Faculté de Médecine de Tours

La vision dépend des sources lumineuses



La sensation visuelle

Paramètre psycho-visuel : importance de la sensation lumineuse ressentie (S) en fonction de la luminance ou brillance visuelle (I)

la brillance est exprimée en candela.m⁻² (1 cd.m⁻² = 1 nit)

Loi de Weber-Flechner

$$\text{Sensation} = k \cdot \log(\text{luminance})$$

$$\text{Soit } S = k \cdot \log(I)$$

$$\text{Ou encore } \Delta I / I = k \cdot \Delta S$$

La sensation varie comme la variation relative d'intensité

Loi de Weber-Flechner

$$\text{Sensation} = k \cdot \log(\text{luminance})$$

$$\text{Soit} \quad S = k \cdot \log(I)$$

$$\text{Ou encore} \quad \Delta I / I = k \cdot \Delta S$$

La sensation varie comme la variation relative d'intensité :

Les variations de luminosité suivantes sont équivalentes :

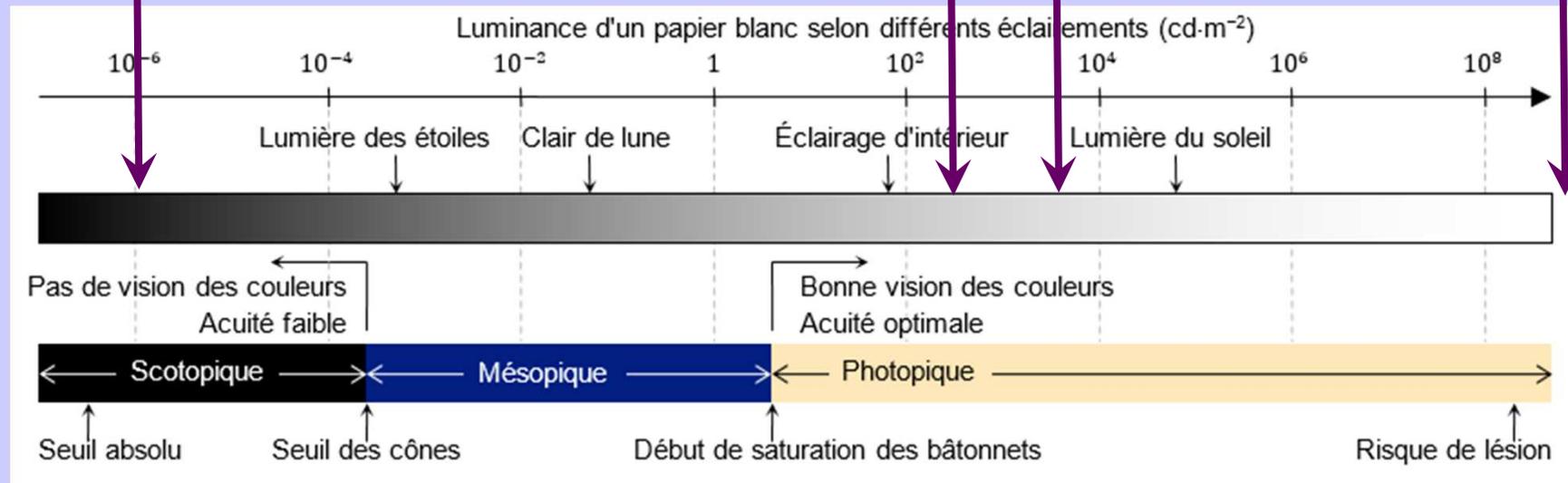
I_0 vers $10 I_0$; $10 I_0$ vers $100 I_0$; $100 I_0$ vers $1000 I_0$ etc ...

Gamme de luminosité perceptible par l'œil humain

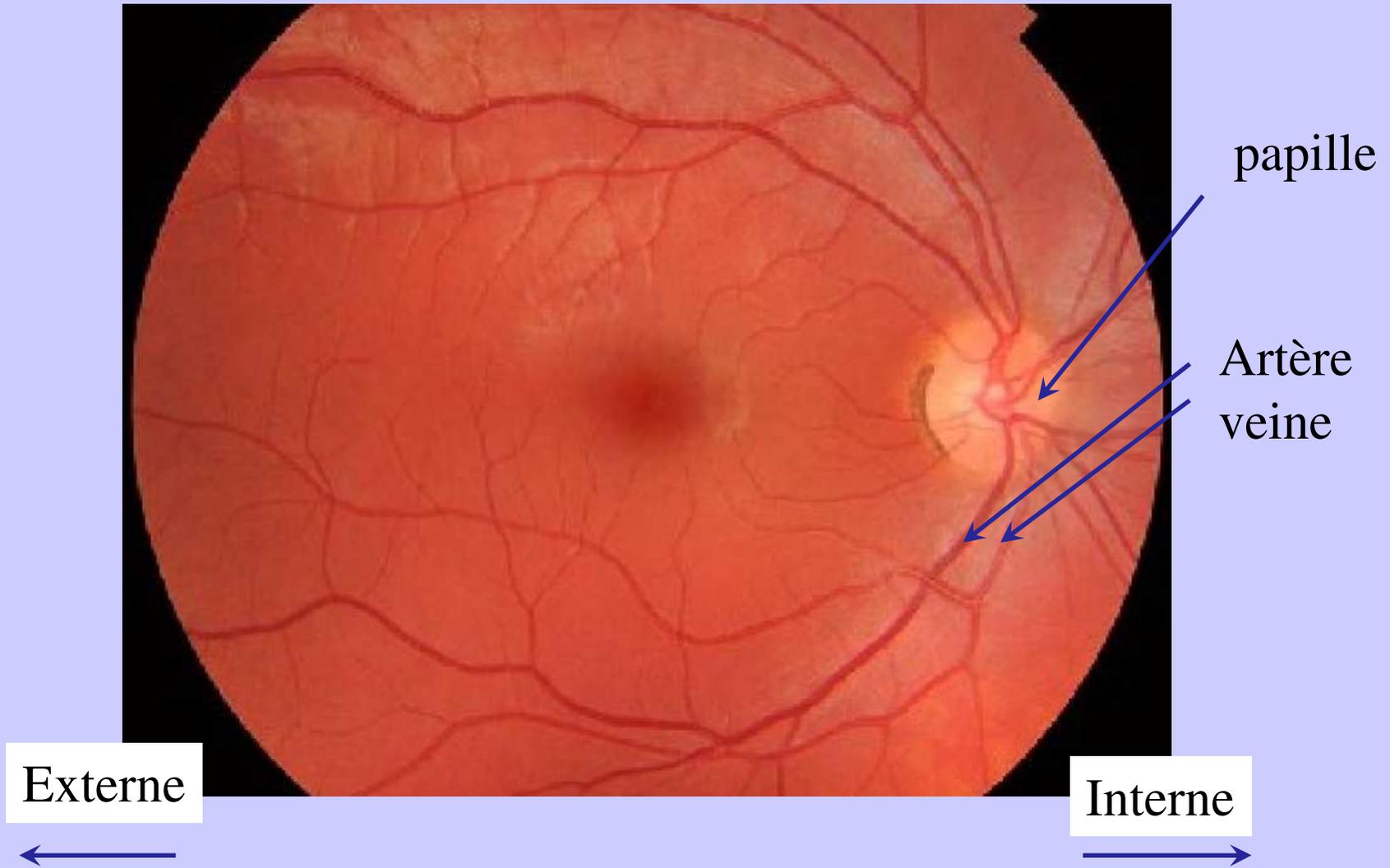
10 photons

Ecran plat / S. Lune

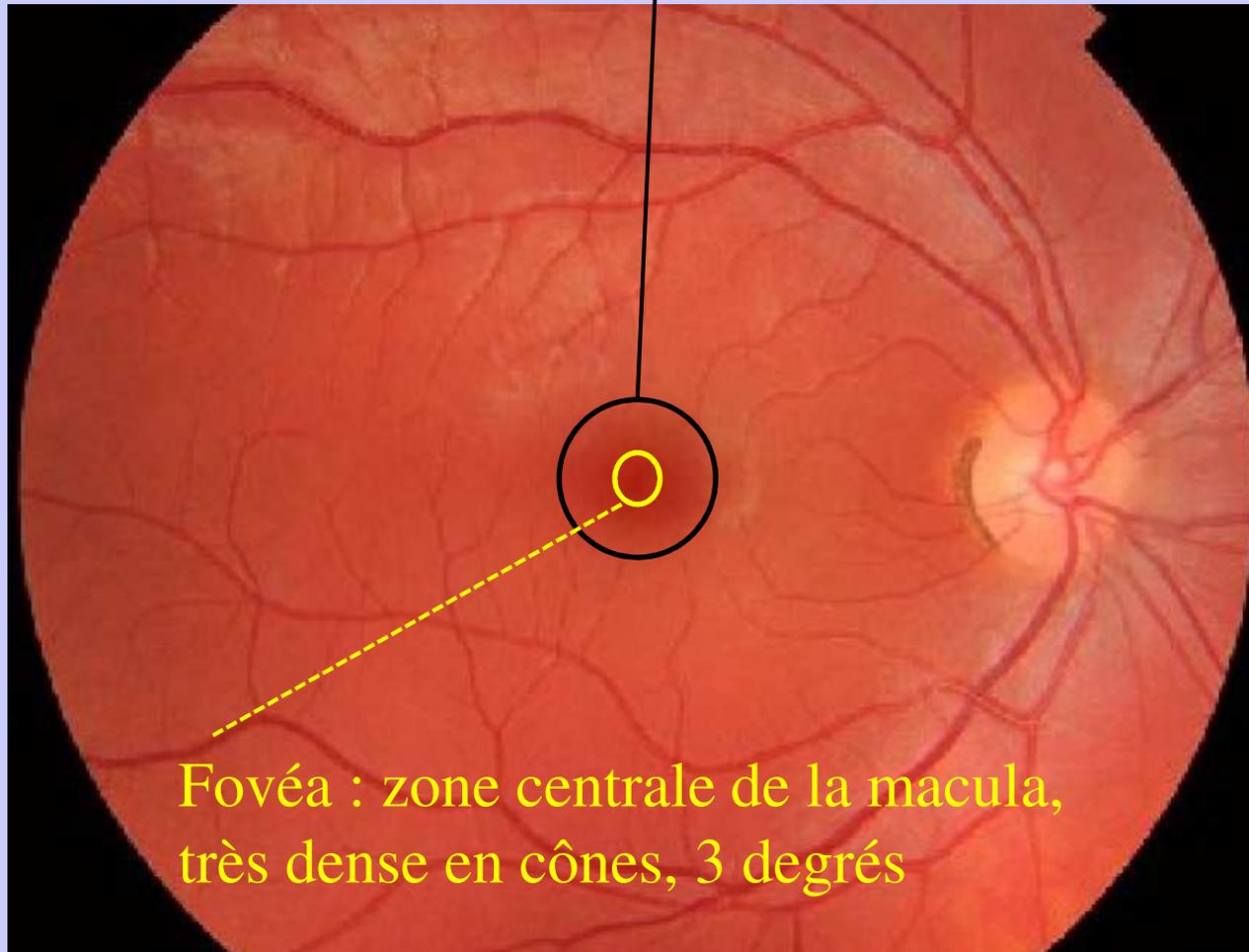
S. Soleil



La rétine : Image du fond d'oeil

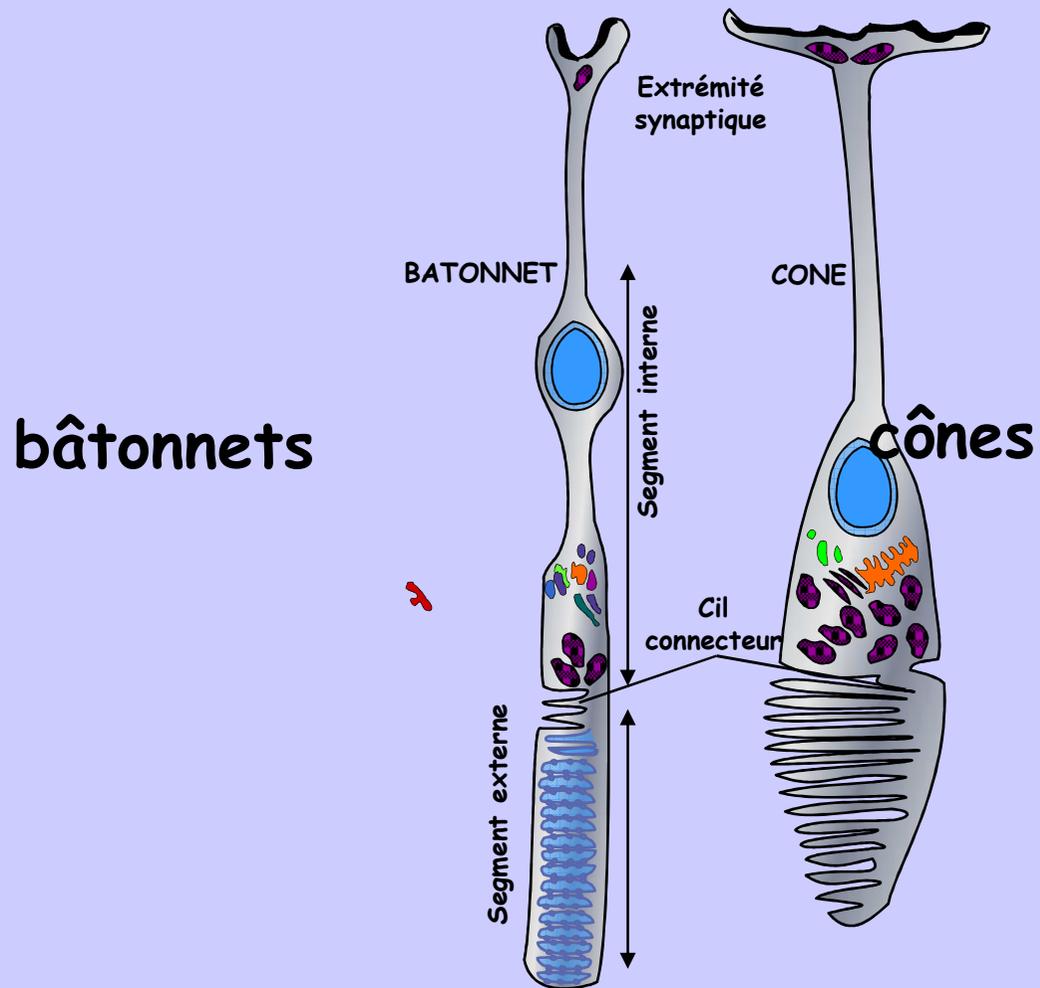


Macula : zone avasculaire



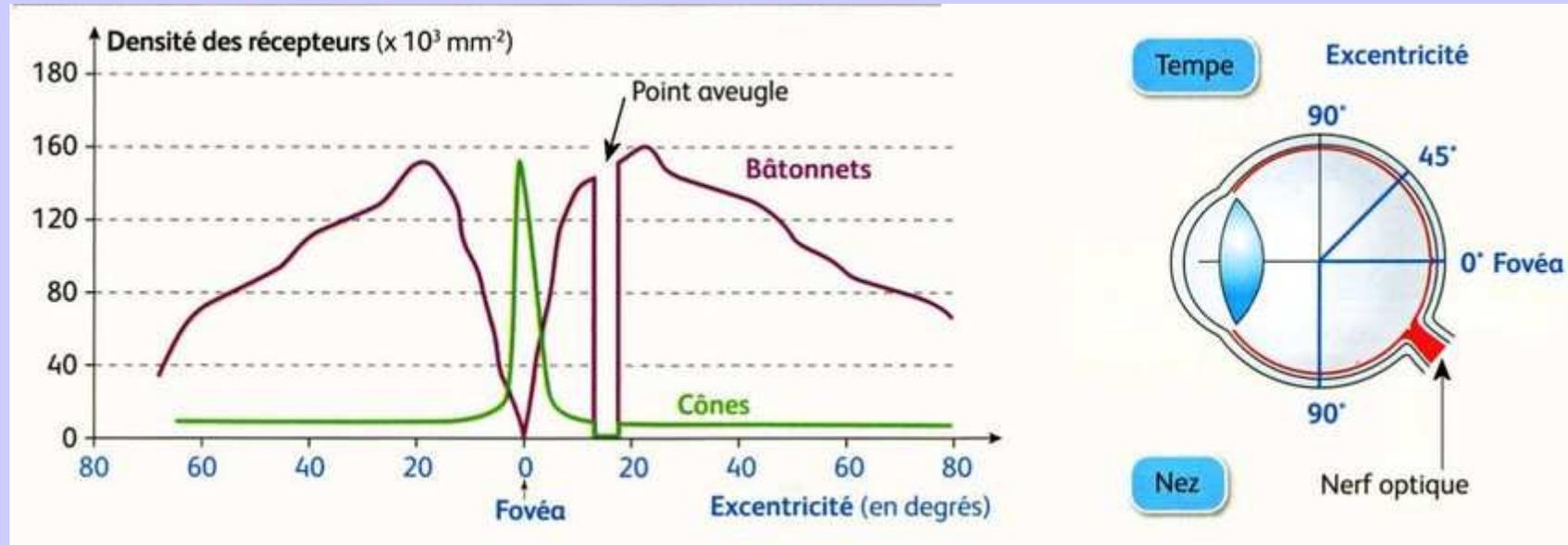
Fovéa : zone centrale de la macula,
très dense en cônes, 3 degrés

Les cellules sensorielles ou réceptrices :



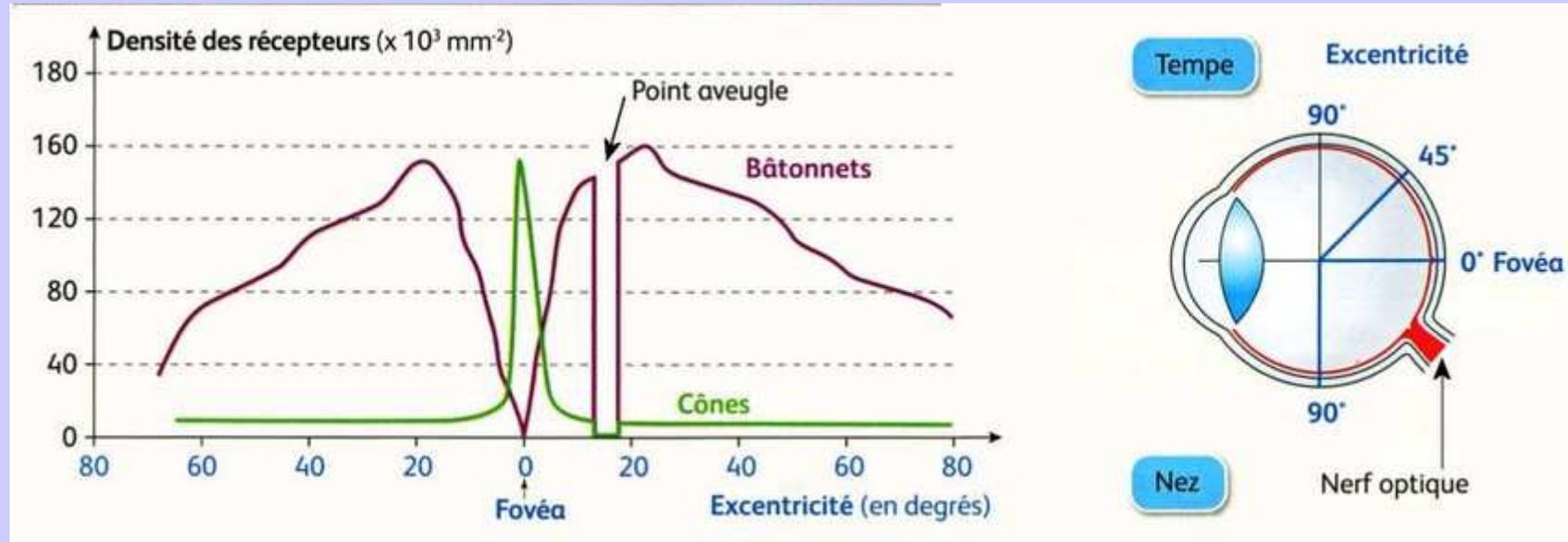
Il existe une substance photosensible dans le segment ou article externe de ces cellules

Distribution des récepteurs sur la rétine



Au total : 120 millions de bâtonnets
 6 millions de cônes

Distribution des récepteurs sur la rétine



Zone centrale : haute densité de cônes : vision des couleurs, vision des détails très fins (ex la lecture), mauvaise vision basse lumière

Zone périphérique : essentiellement des bâtonnets : vision en noir et blanc, pas de vision détaillée, excellente vision nocturne

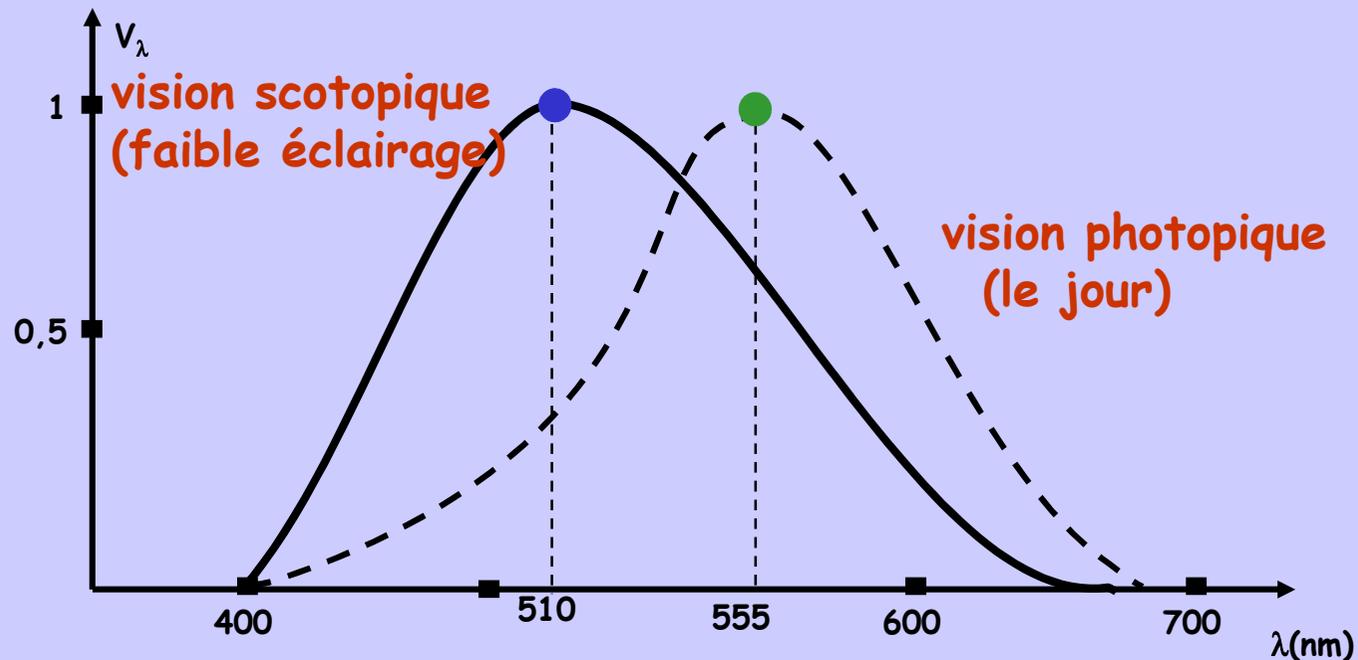
Zone aveugle : émergence du nerf optique, pas de photorécepteur

vision diurne ou photopique : $L > 10$ nits :

- courbe d'efficacité lumineuse dont le maximum est à 555 nm (dans le **vert**)
- **sensations chromatiques** : vision **trivariante** (cônes)

vision nocturne ou scotopique : $L < 10^{-3}$ nits :

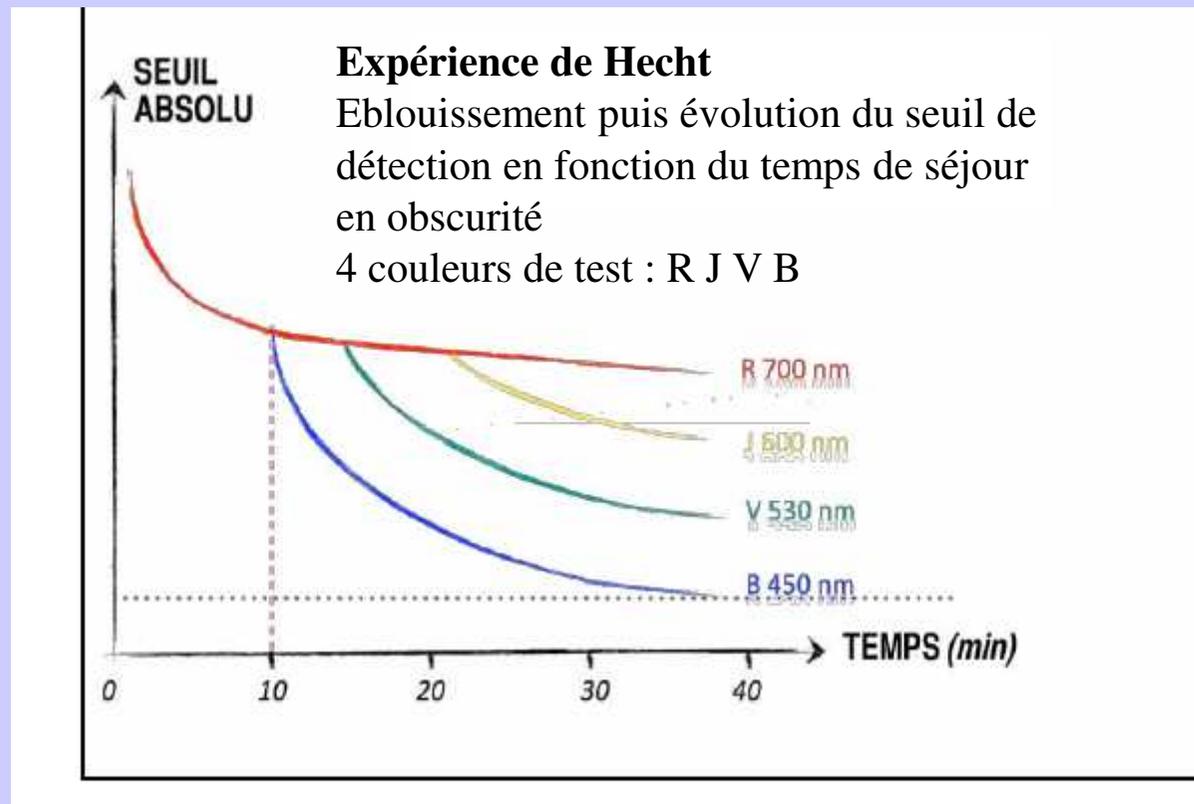
- courbe d'efficacité lumineuse dont le maximum est à 510 nm (limite **bleu-vert**)
- **sensations achromatiques** : vision **univariante** (bâtonnets)



Adaptation à l'obscurité :

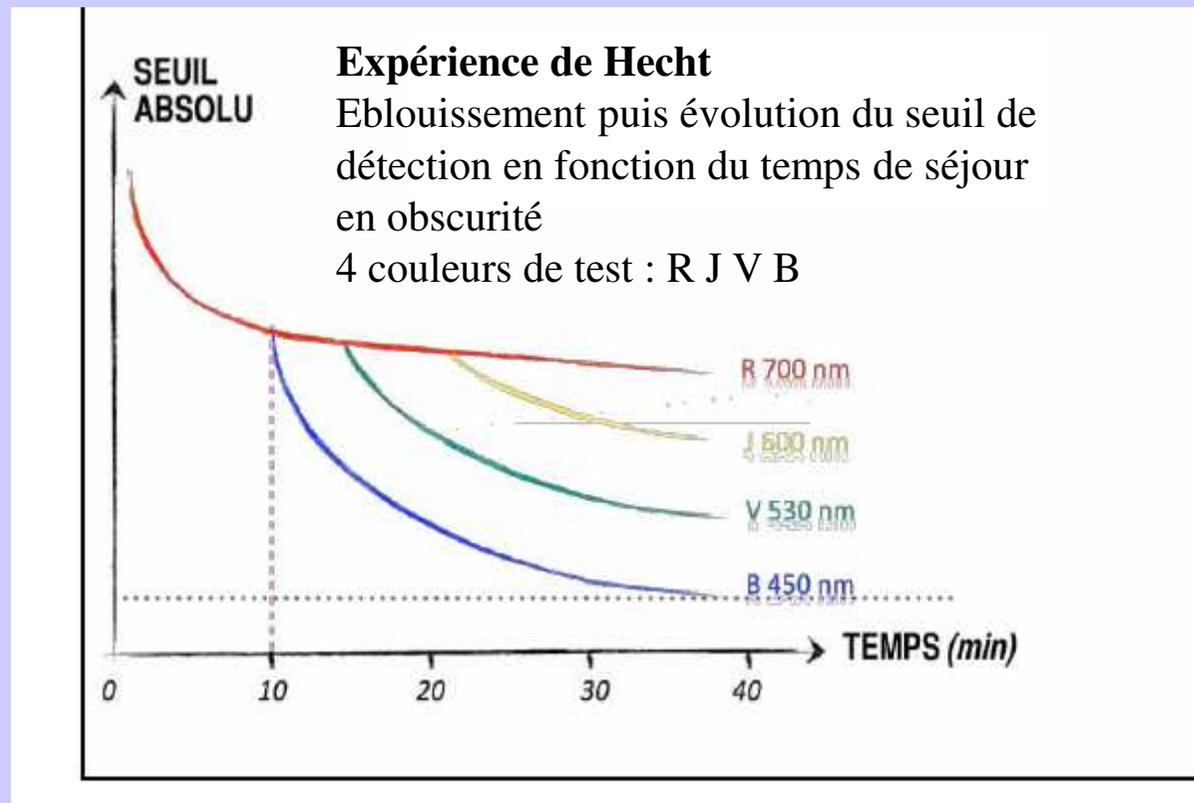
En réduisant la quantité de lumière, les performances visuelles baissent, l'acuité visuelle en particulier

En séjournant à l'obscurité : les performances visuelles s'améliorent lentement : adaptation à l'obscurité



Adaptation à l'obscurité :

La cassure à 10 minutes montre que les bâtonnets prennent le relais des cônes.
Les bâtonnets ne sont pas sensibles au rouge et très sensibles au bleu.
Ils sont beaucoup plus sensibles que les cônes : vision nocturne.



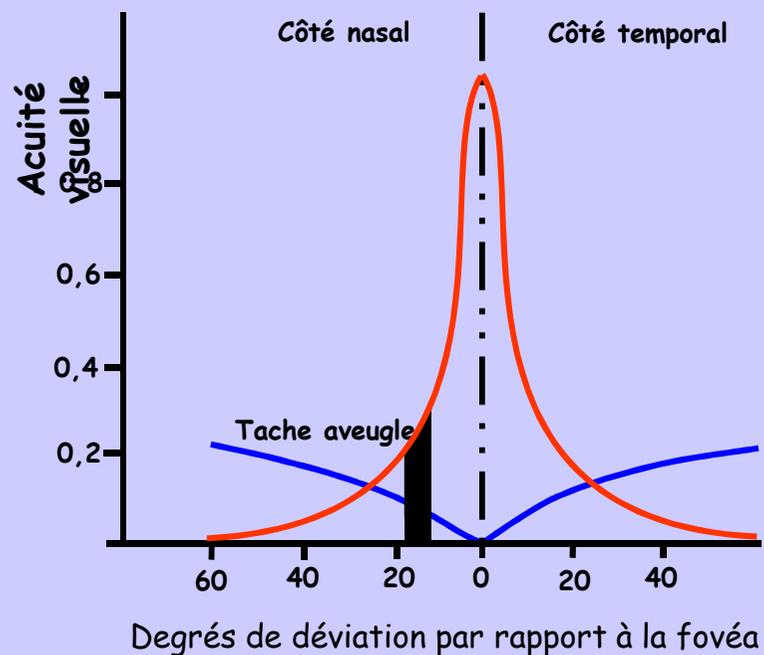
Facteurs physiologiques de variation de l'AV :

Conditions d'éclairément :

diurnes=photopiques : AV=10/10^{ièmes} (cônes)

nocturnes=scotopiques : AV=2/10^{ièmes} (bâtonnets)

Topographie de l'image rétinienne :



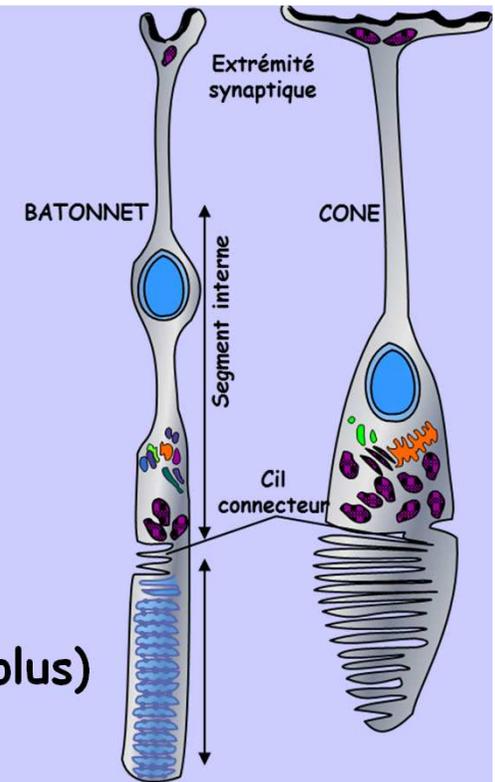
rétine centrale : cellules en cônes ($6 \cdot 10^6$, en particulier au niveau de la fovéa), vision diurne AV = 10/10^{ièmes}, décroît vers la périphérie

rétine périphérique : cellules en bâtonnets ($120 \cdot 10^6$), vision nocturne : AV = 3/10^{ièmes}, décroît vers la fovéa

Pour simplifier

- La vision centrale permet une acuité de 10/10 et plus
 - La vision centrale est basée sur des cônes
 - La vision centrale est photopique
 - La vision périphérique ne permet pas une acuité meilleure que 2 ou 3 /10
 - La vision périphérique est plus sensible : scotopique
 - La vision périphérique perçoit pas ou mal les couleurs
 - La vision périphérique détecte bien les mouvements
- "on voit avec la rétine (les bâtonnets), on regarde avec la fovéa (les cônes)"

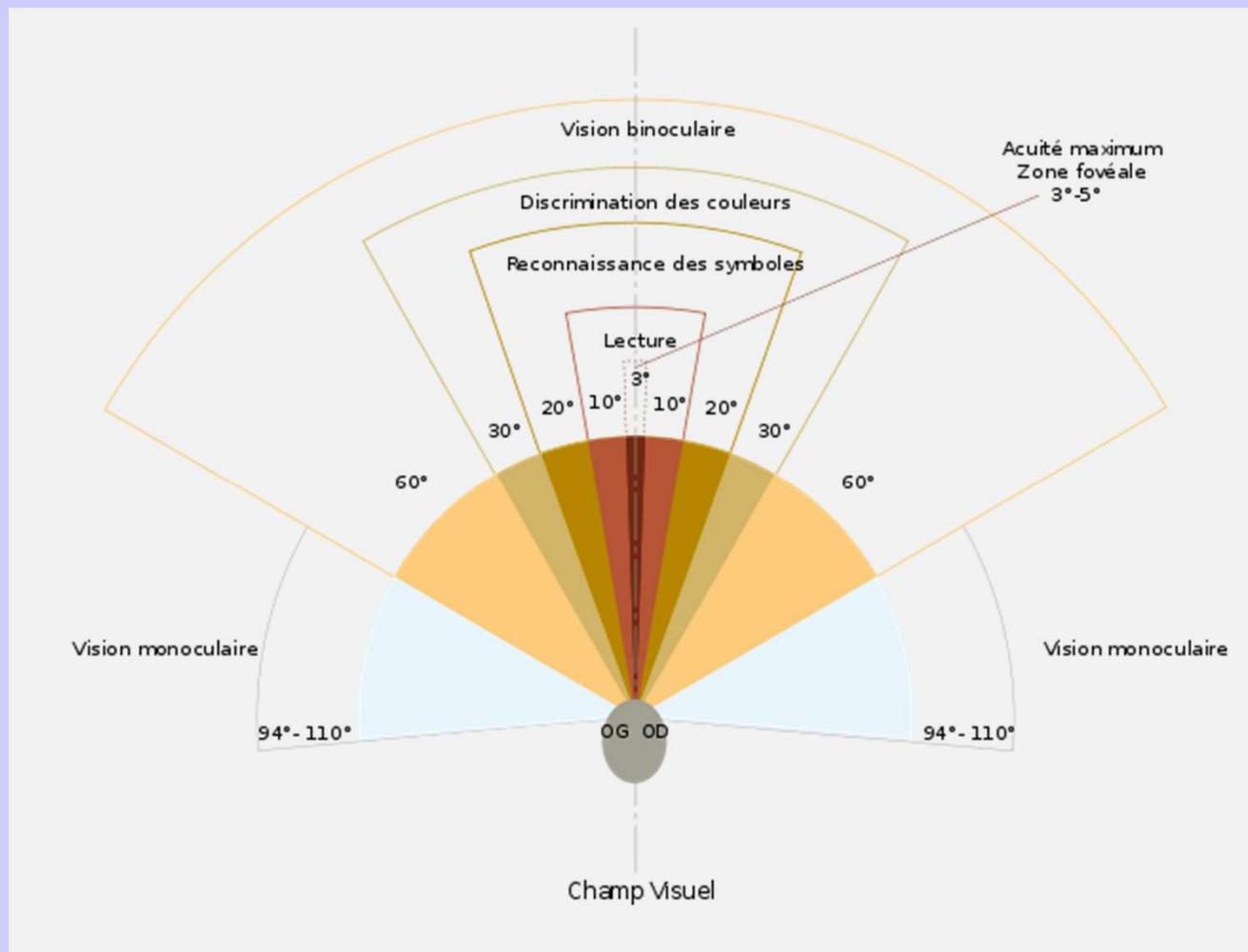
La dualité cônes-bâtonnets



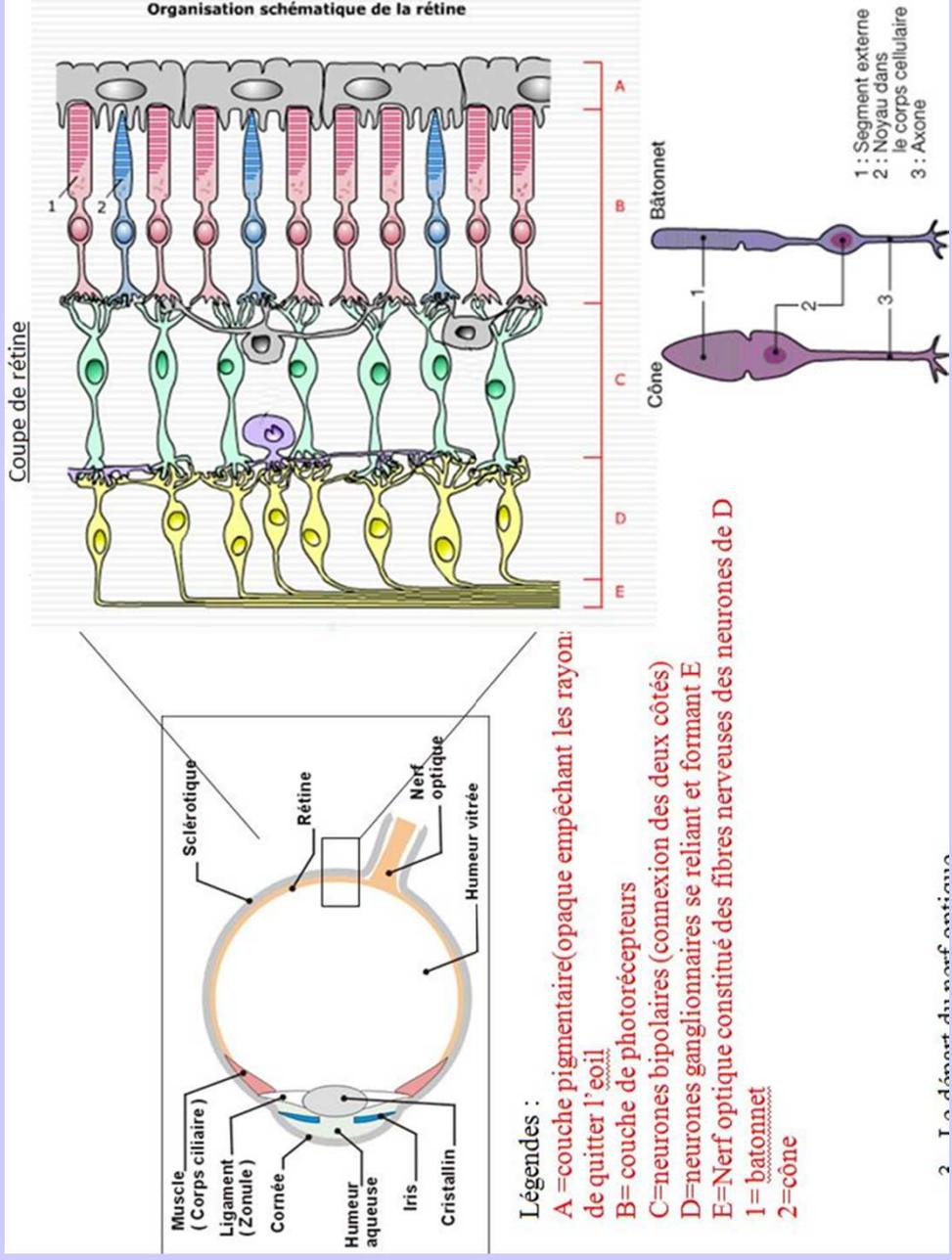
- cônes :**
- performants aux fortes luminances
 - bon pouvoir séparateur (AV : 10/10^{ièmes} ou plus)
 - perception des couleurs : vision trivariante

- bâtonnets :**
- performants aux faibles luminances
 - mauvais pouvoir séparateur (AV : 2 à 3/10^{ièmes})
 - absence de perception des couleurs : vision univariante

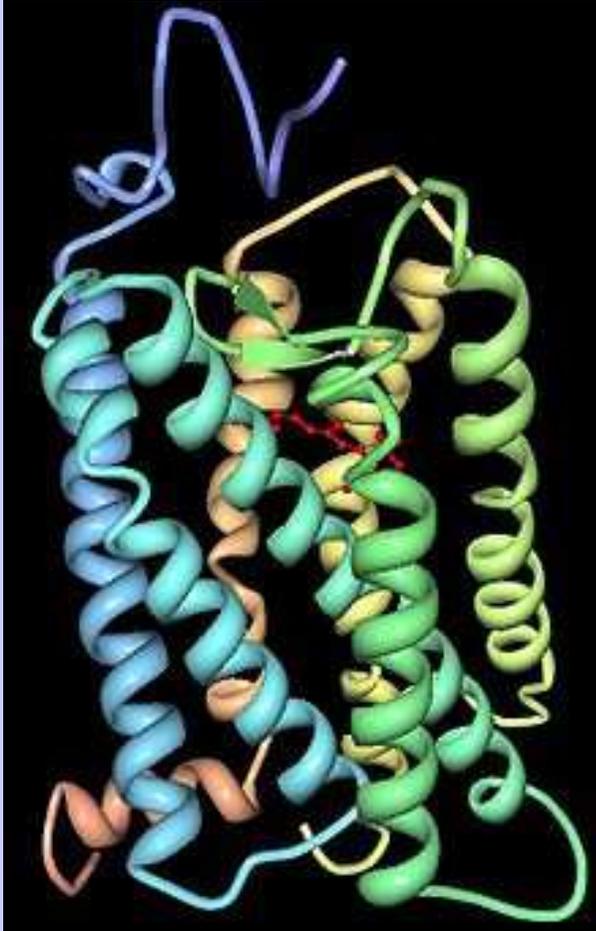
Extension horizontale du champ visuel humain



Phénomènes rétinien



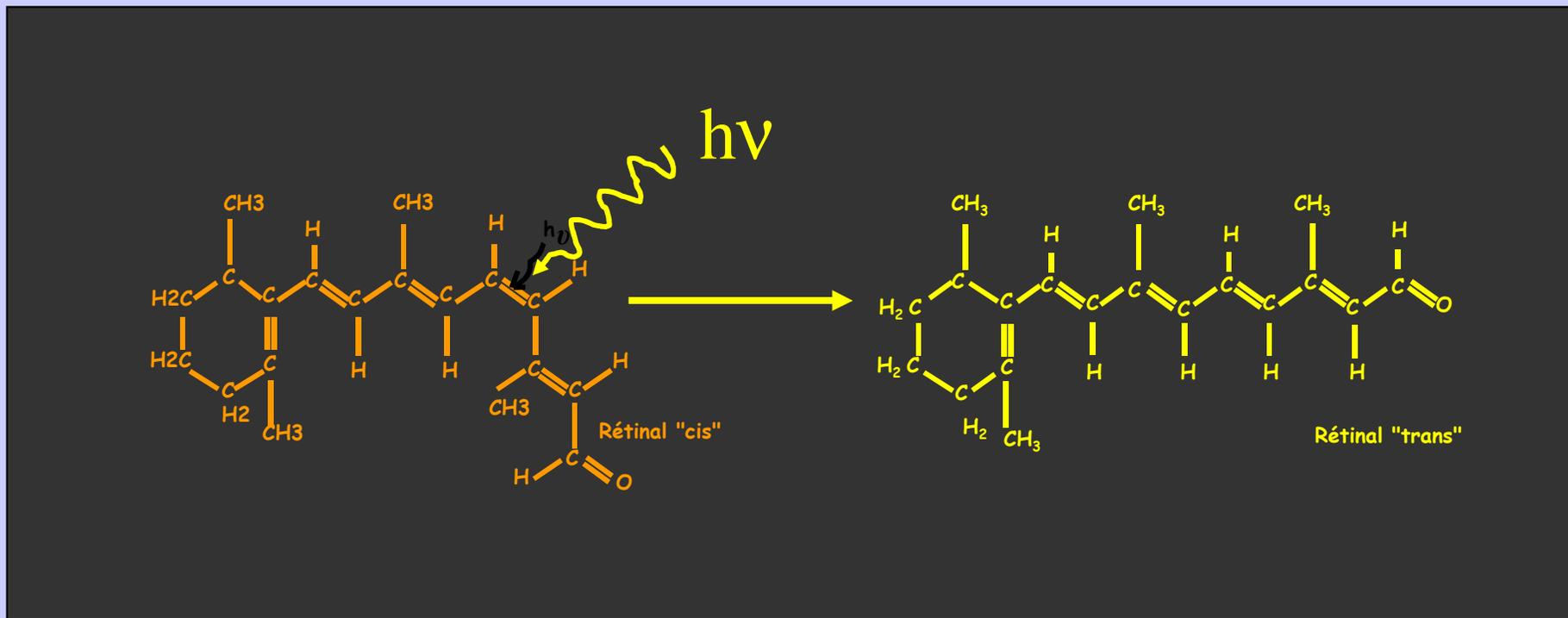
Photochimie rétinienne



Un chromophore : le rétinal
C'est un aldéhyde de la vitamine A

Une protéine à 7 hélices

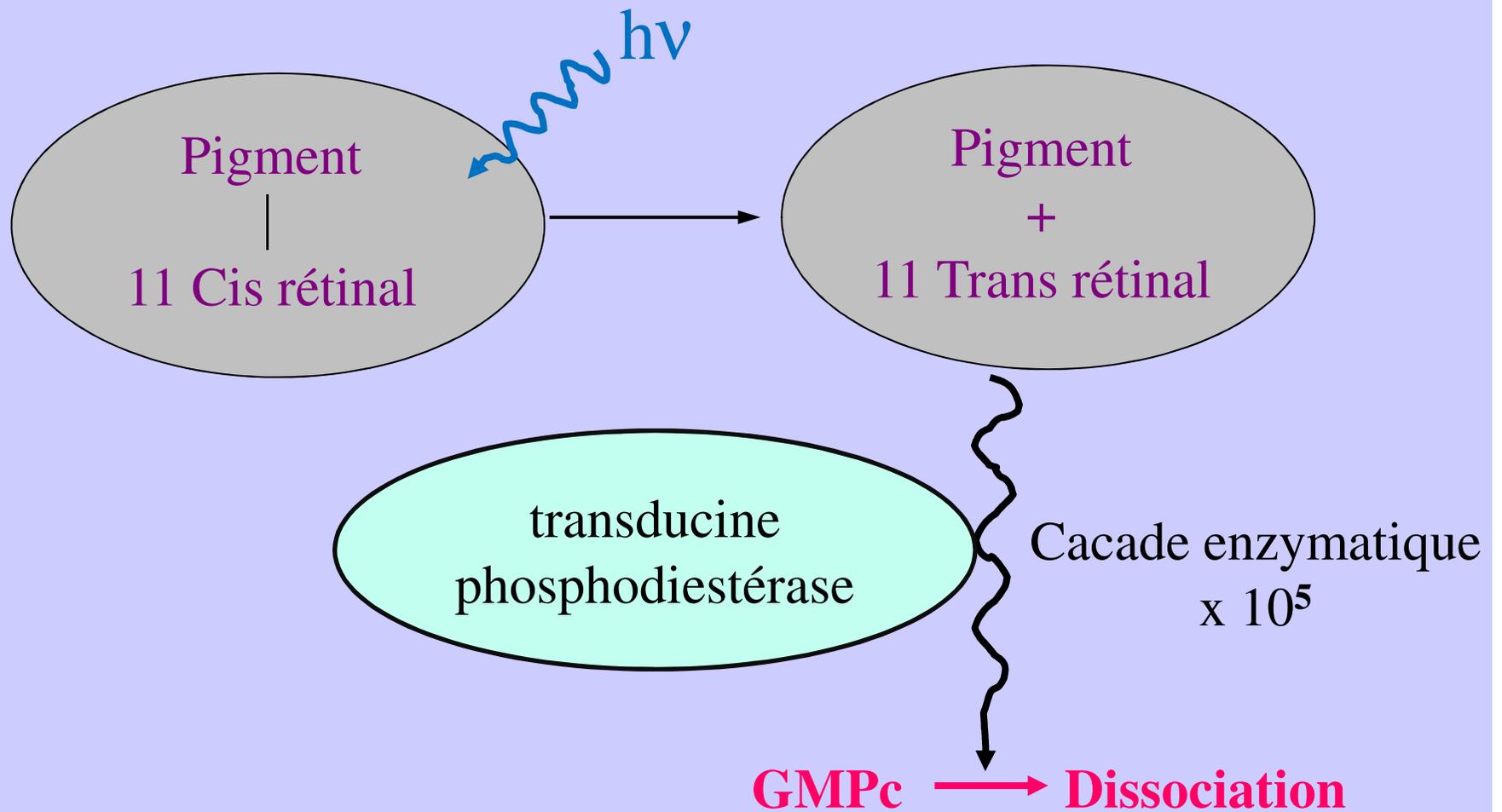
- Rhodopsine pour les bâtonnets
- Opsines S, M ou L pour les cônes
- S : max absorption à 420 nm **bleu**
- M: max absorption à 530 nm **vert**
- L: max absorption à 560 nm **rouge**



la lumière agit sur la Δ 11 du rétinal :

11 cis rétinal \longrightarrow 11 trans rétinal

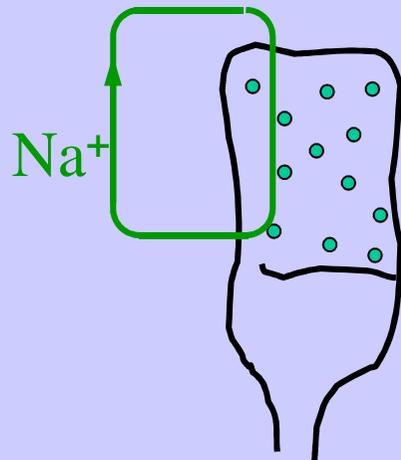
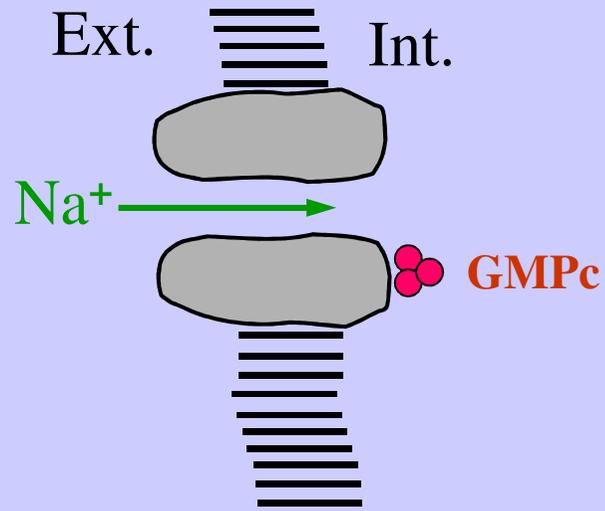
Dissociation Opsine - Rétinal



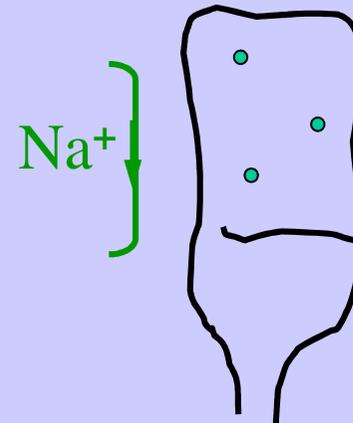
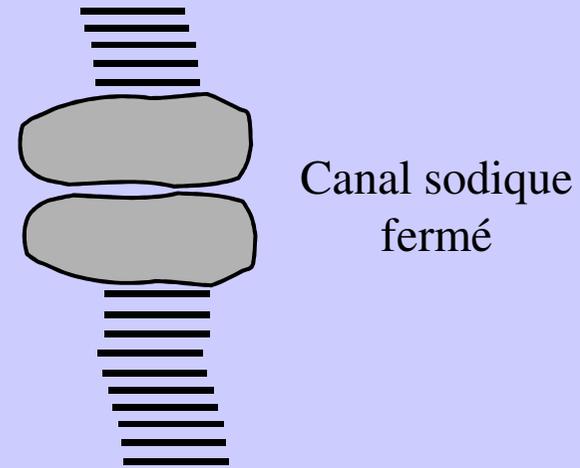
1 photon transforme

10^5 molécules de GMPc en GMP

OBSCURITE



LUMIERE

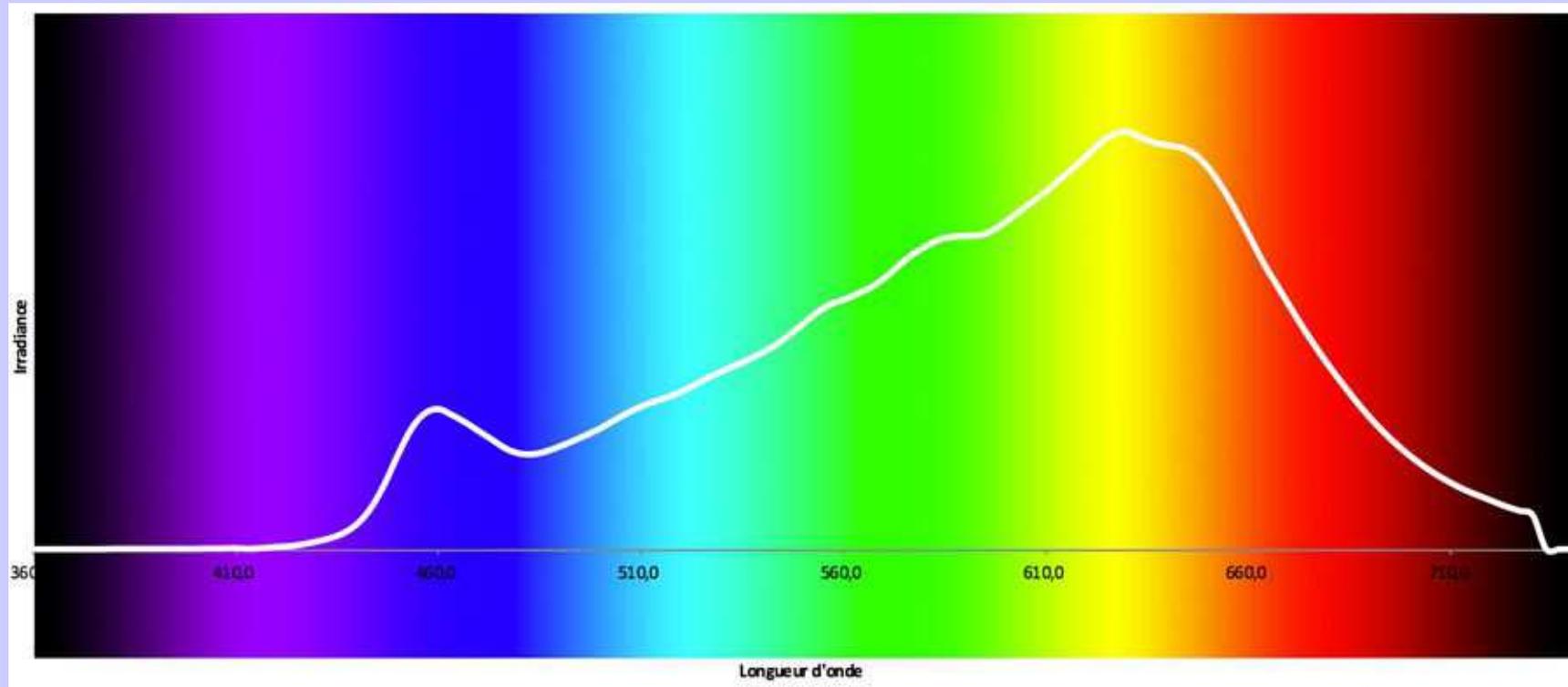


Potentiel négatif → Potentiel d'action
Cellules relais puis nerf optique

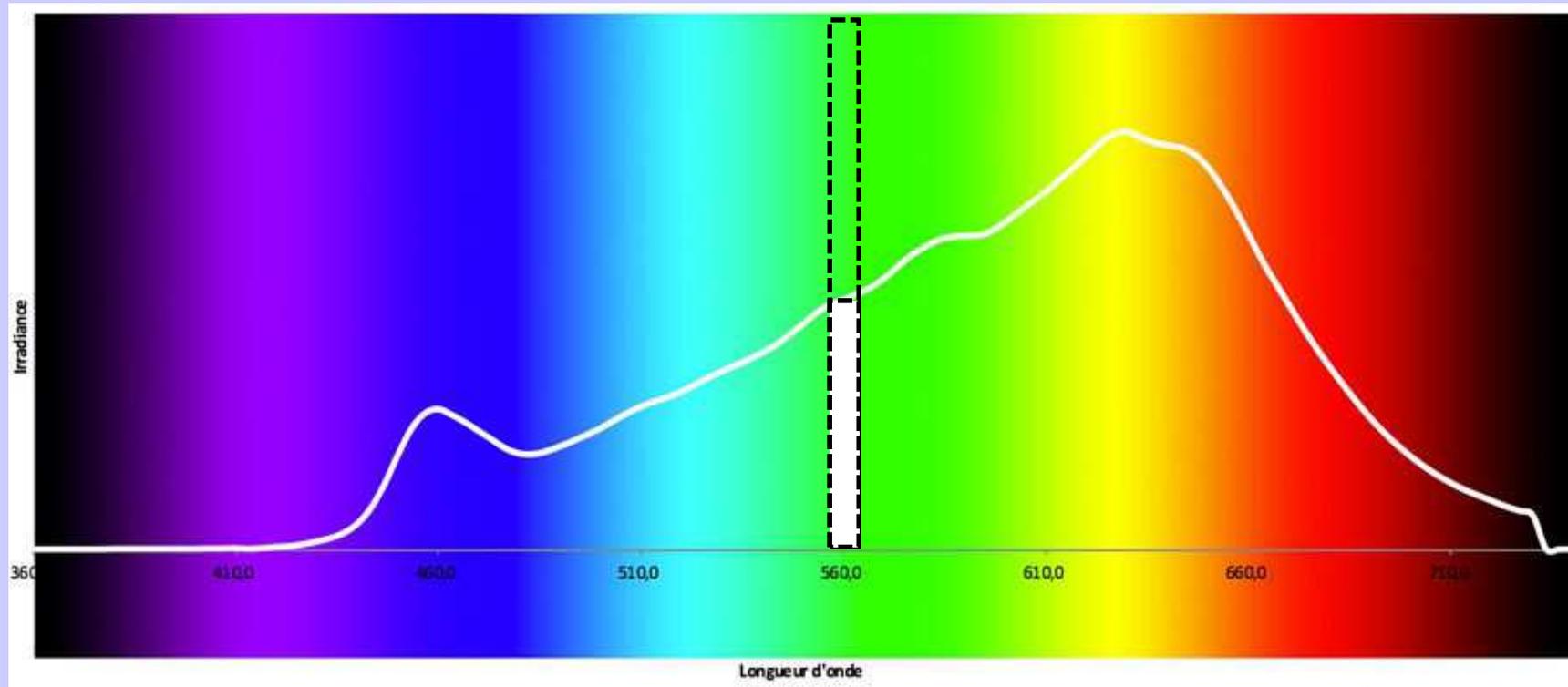
La vision des couleurs

Trivariance visuelle

Comment rendre compte du spectre de fréquences lumineuses d'une source ?

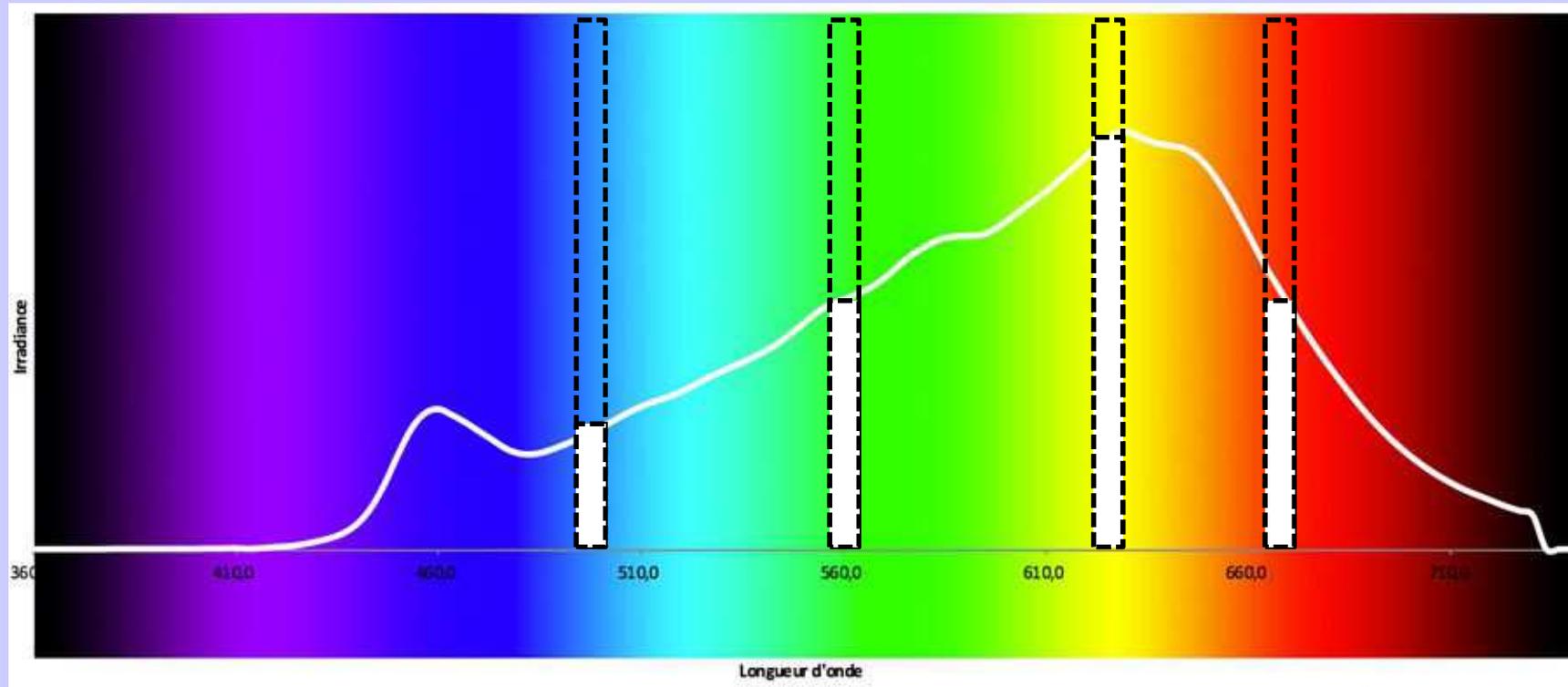


Comment rendre compte du spectre de fréquences lumineuses d'une source ?



Mesure à une fréquence ?

Comment rendre compte du spectre de fréquences lumineuses d'une source ?



Mesures à quatre fréquences ? A une infinité de fréquences ?

Nombres de photorécepteurs

La biochimie des photorécepteurs est assez constante dans le vivant.

L'évolution a conduit certaines espèces à posséder pour la vision colorée

1 récepteur : mammifères marins

2 récepteurs : la plupart des mammifères

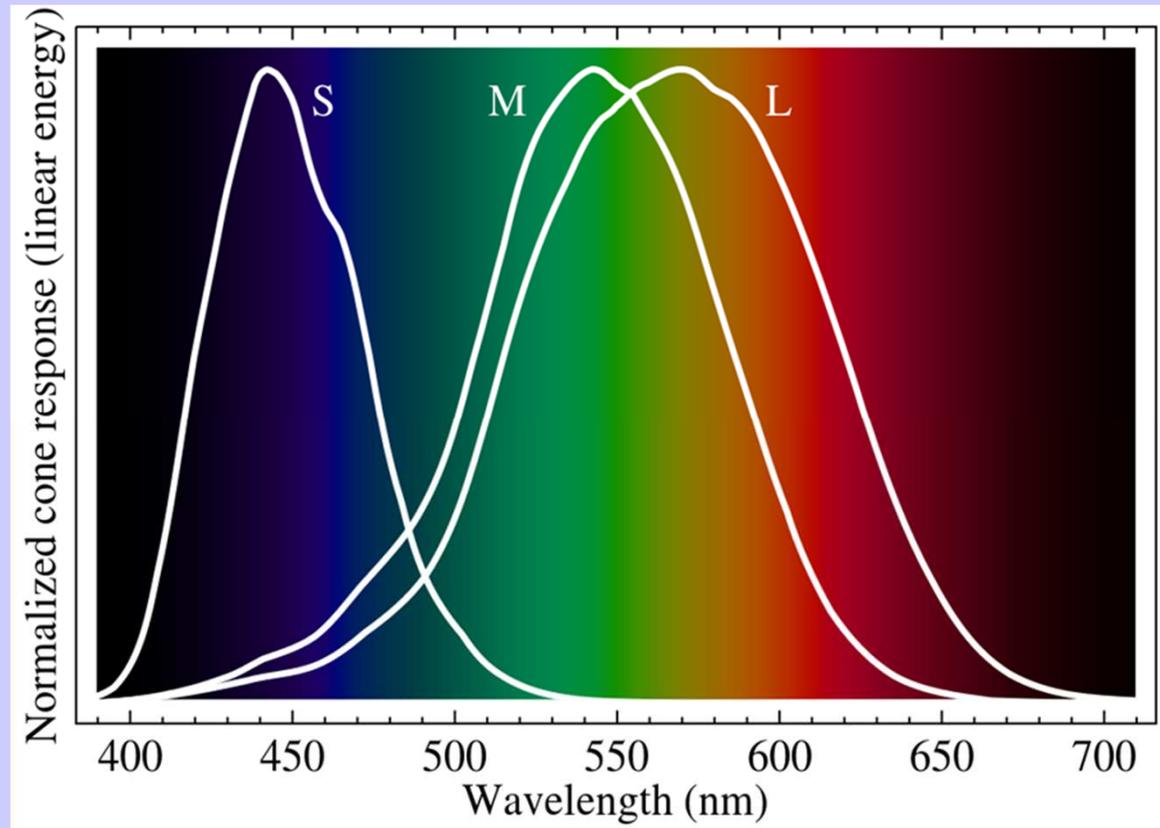
3 récepteurs : la plupart des primates, marsupiaux

4 récepteurs : reptiles, amphibiens, oiseaux, papillons,

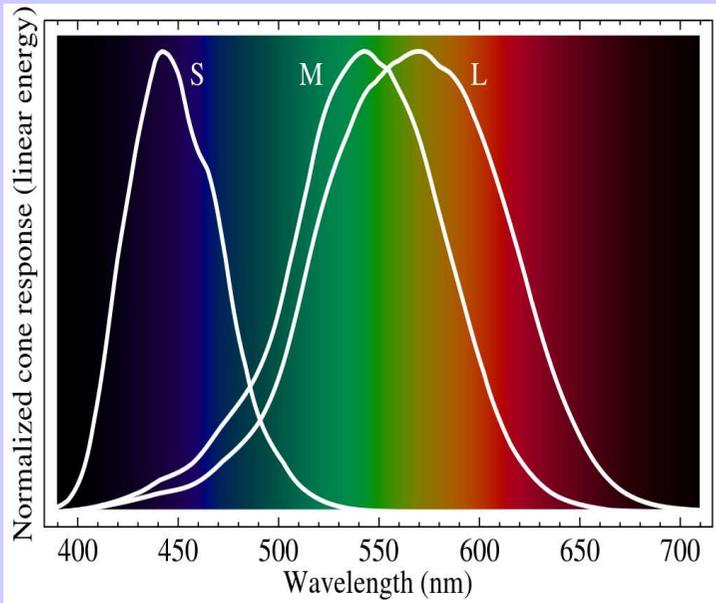
5 récepteurs : certains papillons, certains insectes ...

Photorécepteurs chez l'homme

Nous habitons un espace coloré de dimension 2 :
Luminance + 2D de couleur



Ce sont les proportions relatives de cônes excités qui déterminent la sensation colorée.

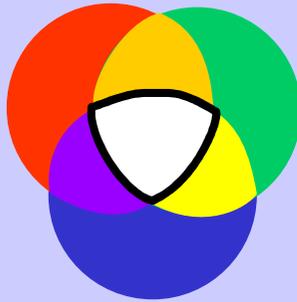


- cônes sensibles au bleu (max : 420 nm) = cônes S (Small wavelength)
- cônes sensibles au vert (max : 530 nm) = cônes M (Middle wavelength)
- cônes sensibles au rouge (max : 565 nm dans le jaune, dont l'absorption se poursuit dans le rouge) = cônes L (Long wavelength)
- courbe d'efficacité lumineuse photopique = somme de ces 3 courbes

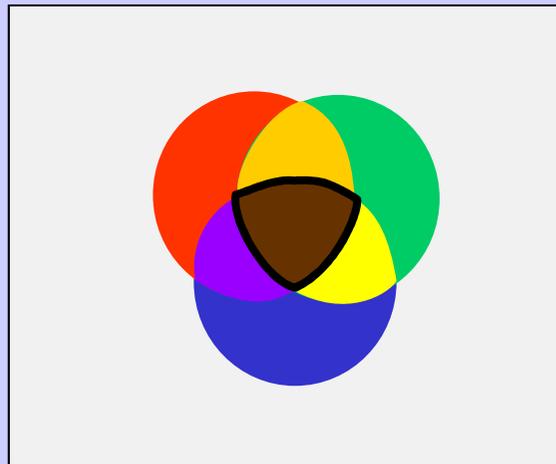
spectre d'adsorption des 3 types de cônes et de pigments :

Trios de couleurs primaires :

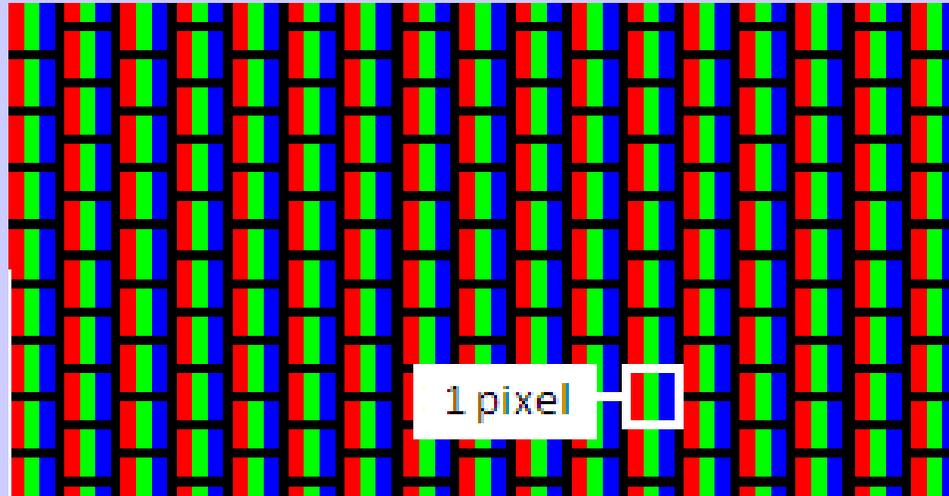
- bleu 465 nm, vert 520 nm, rouge 650 nm (synthèse additive) Ecrans video



- cyan, jaune, magenta, (synthèse soustractive) Imprimerie



Vue grossie d'un écran couleur ordinateur

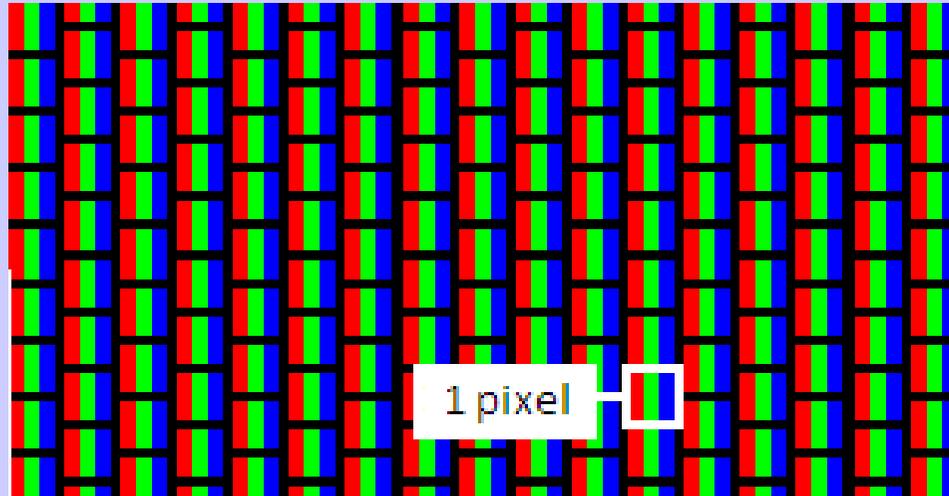


3 type de cônes sur la rétine : 3 couleurs pour un pixel
Codage numérique sur 3 fois 256 donc 256^3 couleurs
= 16 777 216 nuances possibles.

Zone avec
Rouge = +3
Vert = -3



Vue grossie d'un écran couleur ordinateur



3 type de cônes sur la rétine : 3 couleurs pour un pixel
Codage numérique sur 3 fois 256 donc 256^3 couleurs
= 16 777 216 nuances possibles.



Couleurs

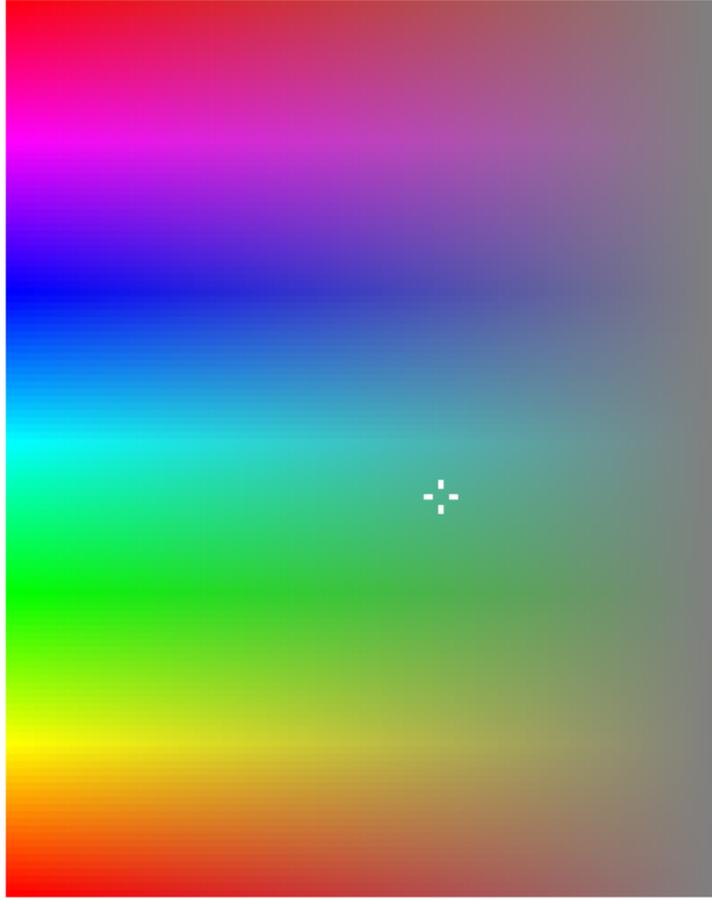
?

x

Standard

Personnalisées

Couleurs :



Palette de couleurs : RVB

Rouge : 79

Vert : 177

Bleu : 147

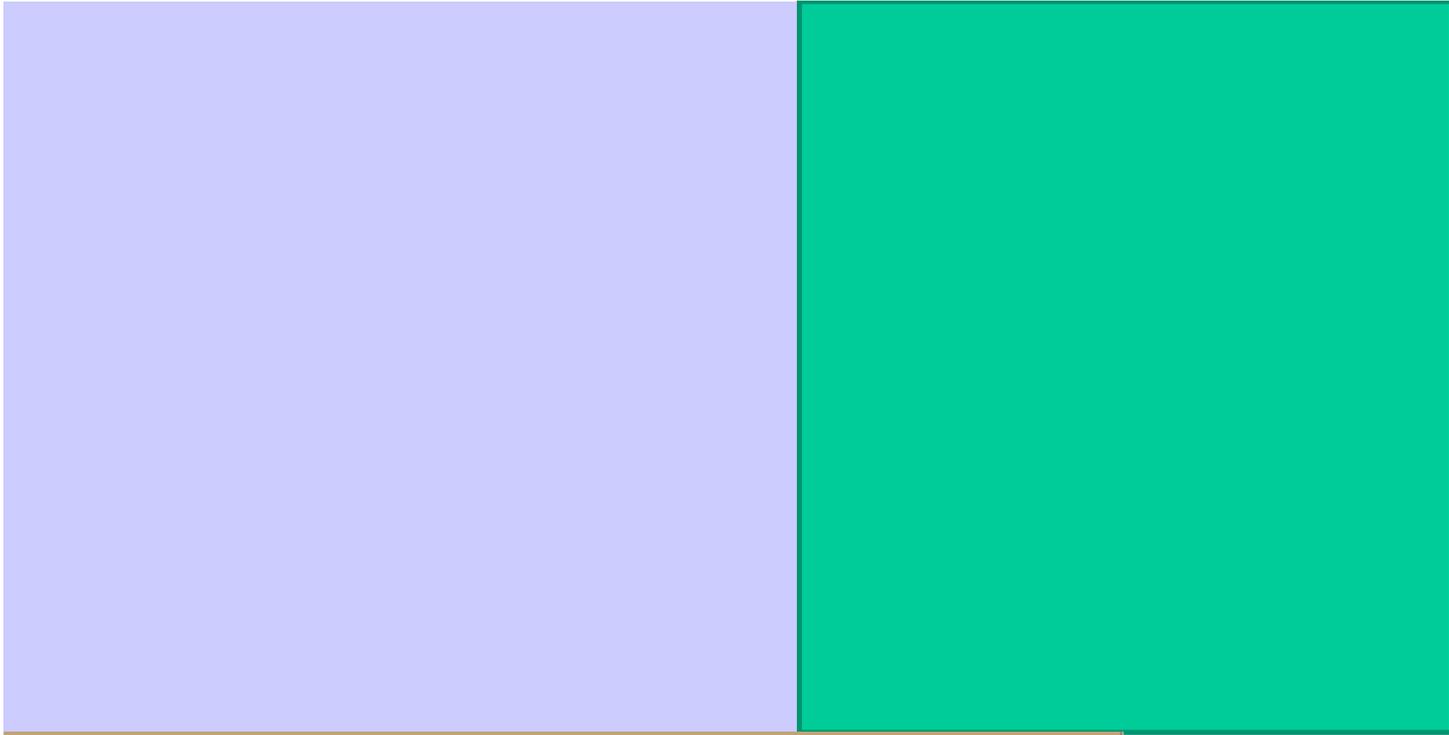
Nouvelle



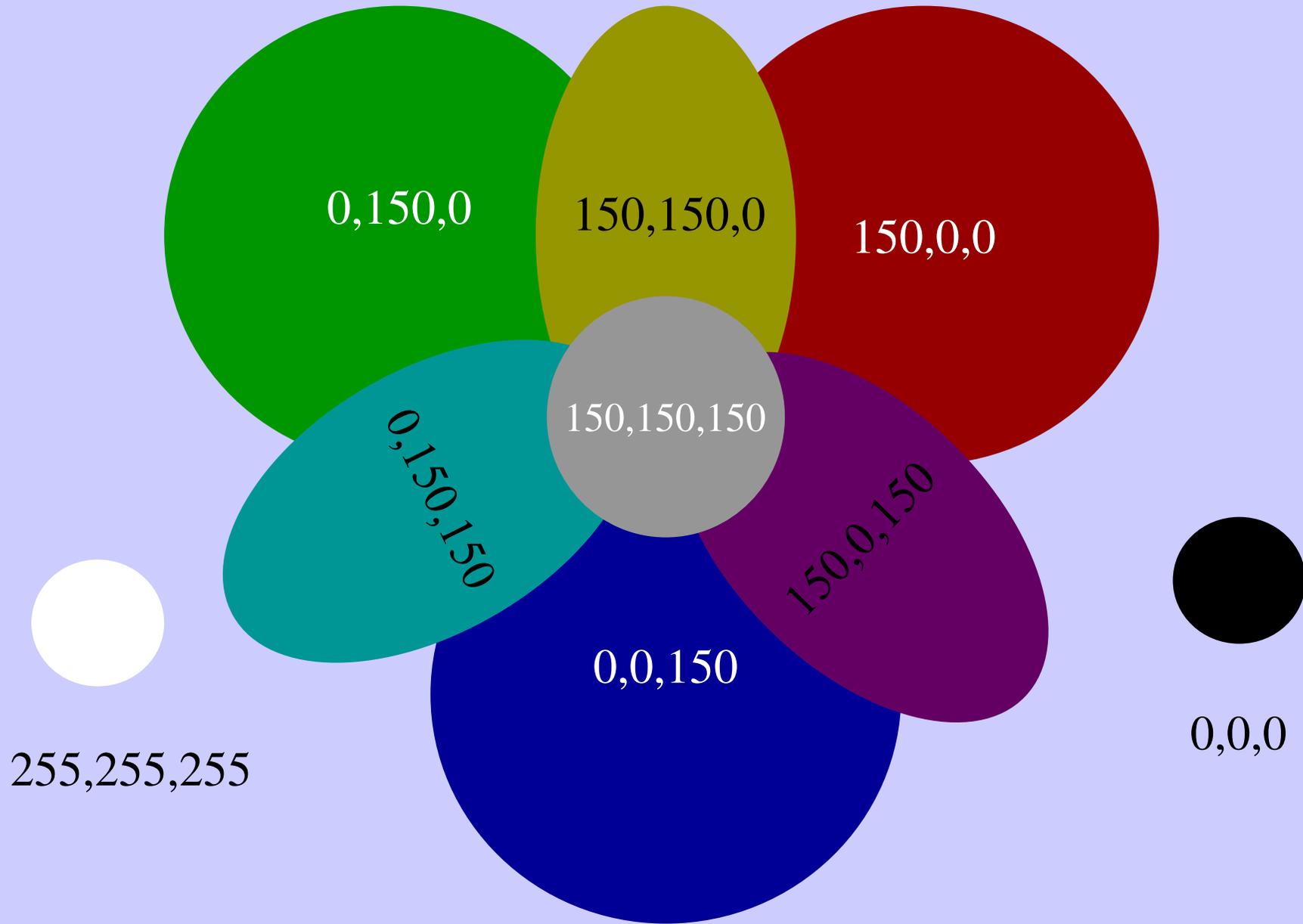
Actuelle

OK

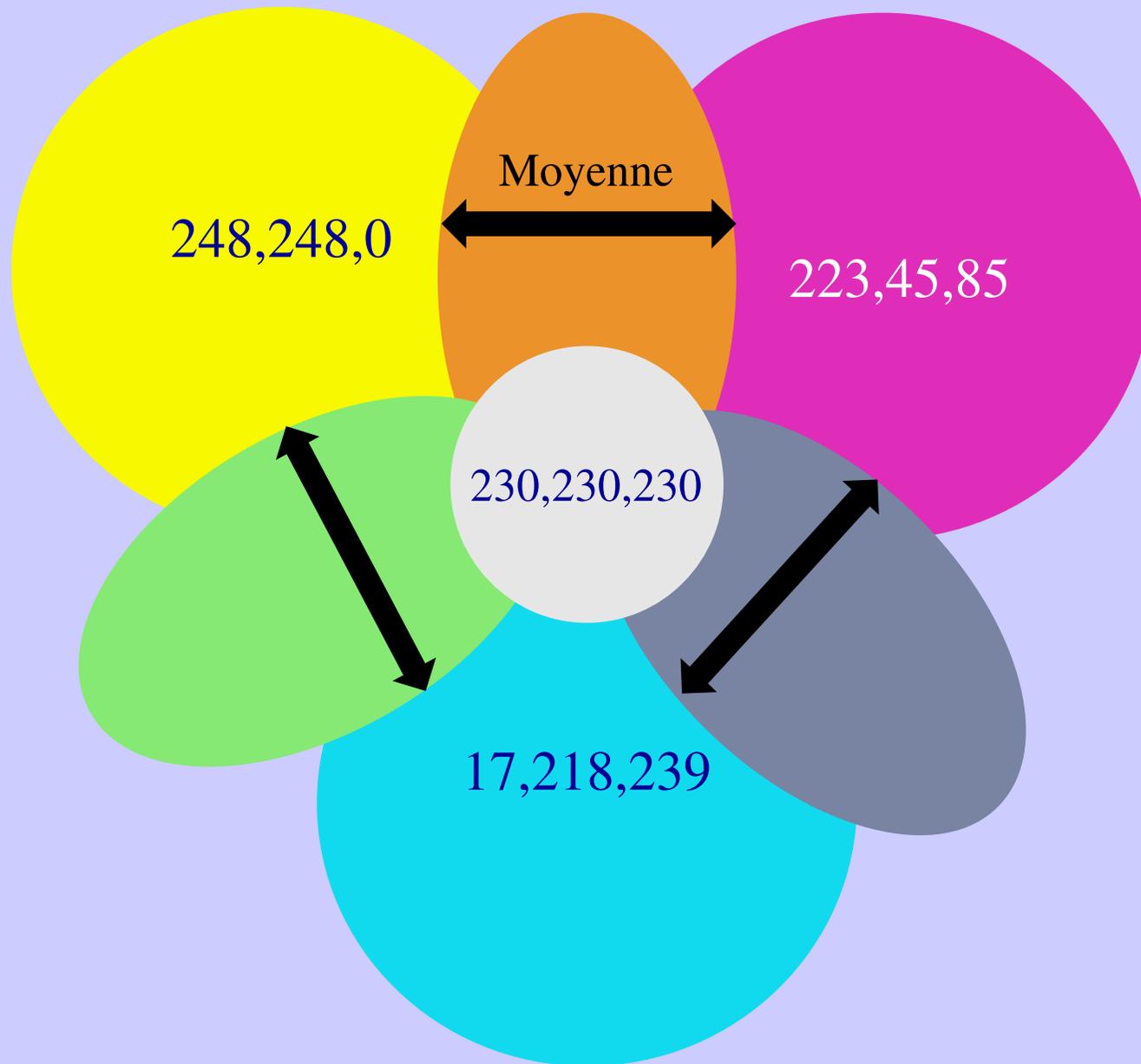
Annuler



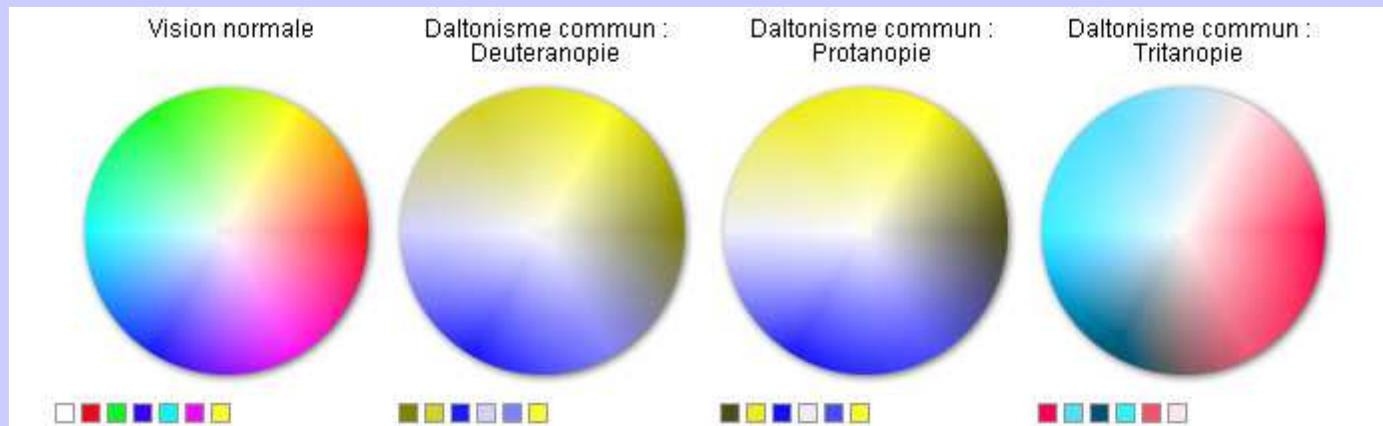
Les pixels de l'écran : R V B de 000 à 255



Les pixels de l'écran : R V B de 000 à 255



Les dyschromatopsies
Anomalies de vision des couleurs
Souvent liées à anomalie génétique dans la constitution
d'un pigment

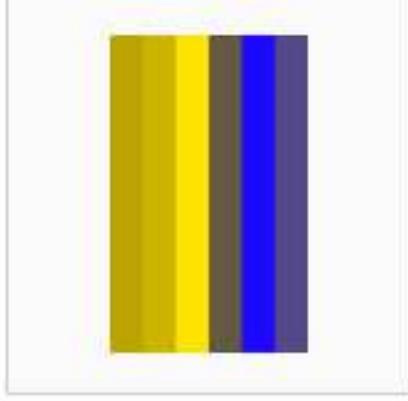




Drapeau multicolore vu
par une personne sans
daltonisme.



Le même drapeau vu par
une personne souffrant de
protanopie.



Le drapeau multicolore vu
par une personne
souffrant de deutéranopie.



Le drapeau multicolore vu
par une personne
souffrant de tritanopie.

Le groupe présentant deux alignements de couleurs semblables, indique le type de daltonisme

Test n°7

				
=	=	=	=	=
				

groupe deutéranopie

				
=	=	=	=	=
				

groupe protanopie

				
=	=	=	=	=
				

groupe tritanopie

© copyright Jean Jouannic 2010



Anomalie vision des couleurs de type protan



NORMAL VISION



DEUTERANOMALY

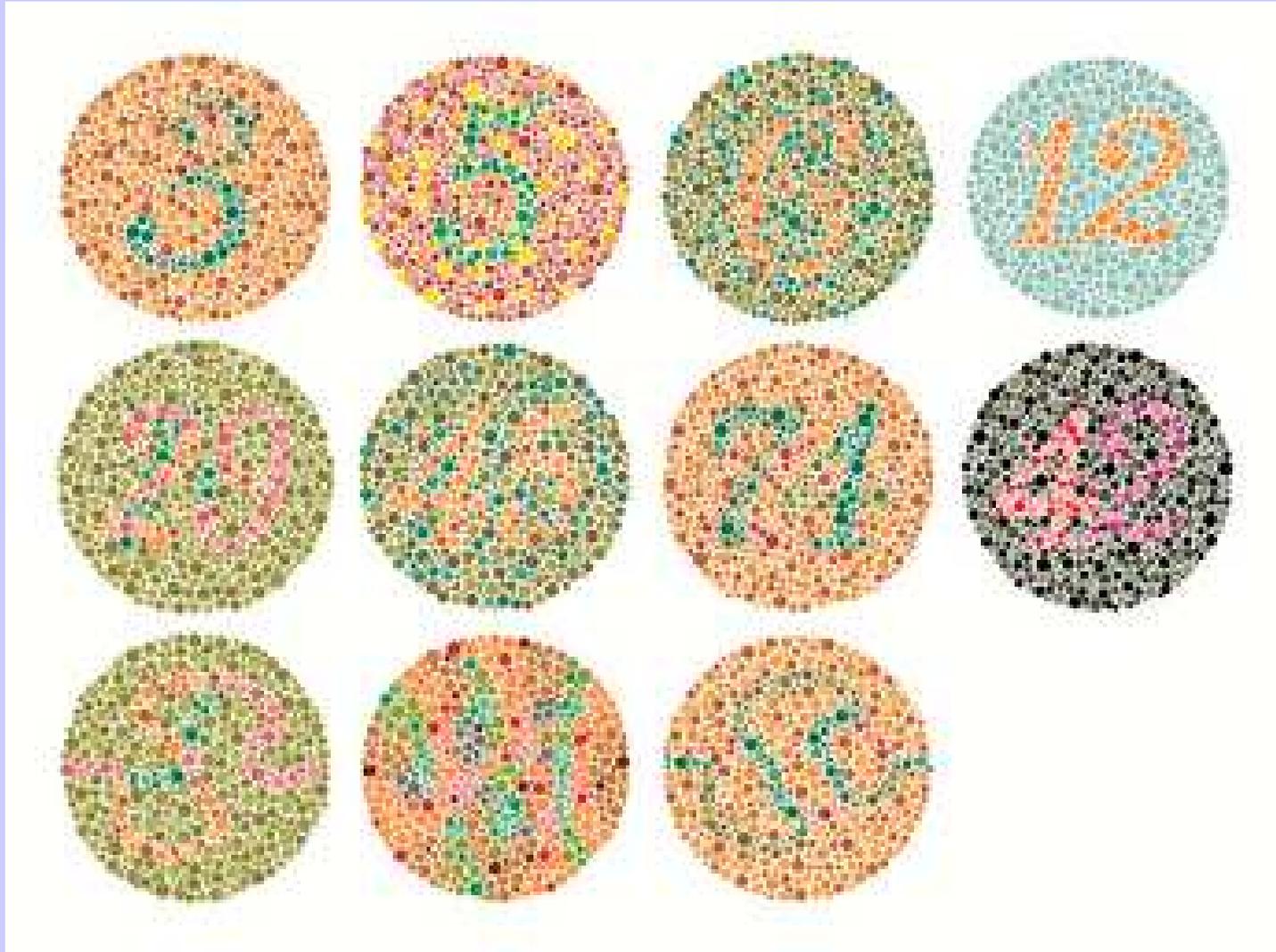


PROTANOPIA



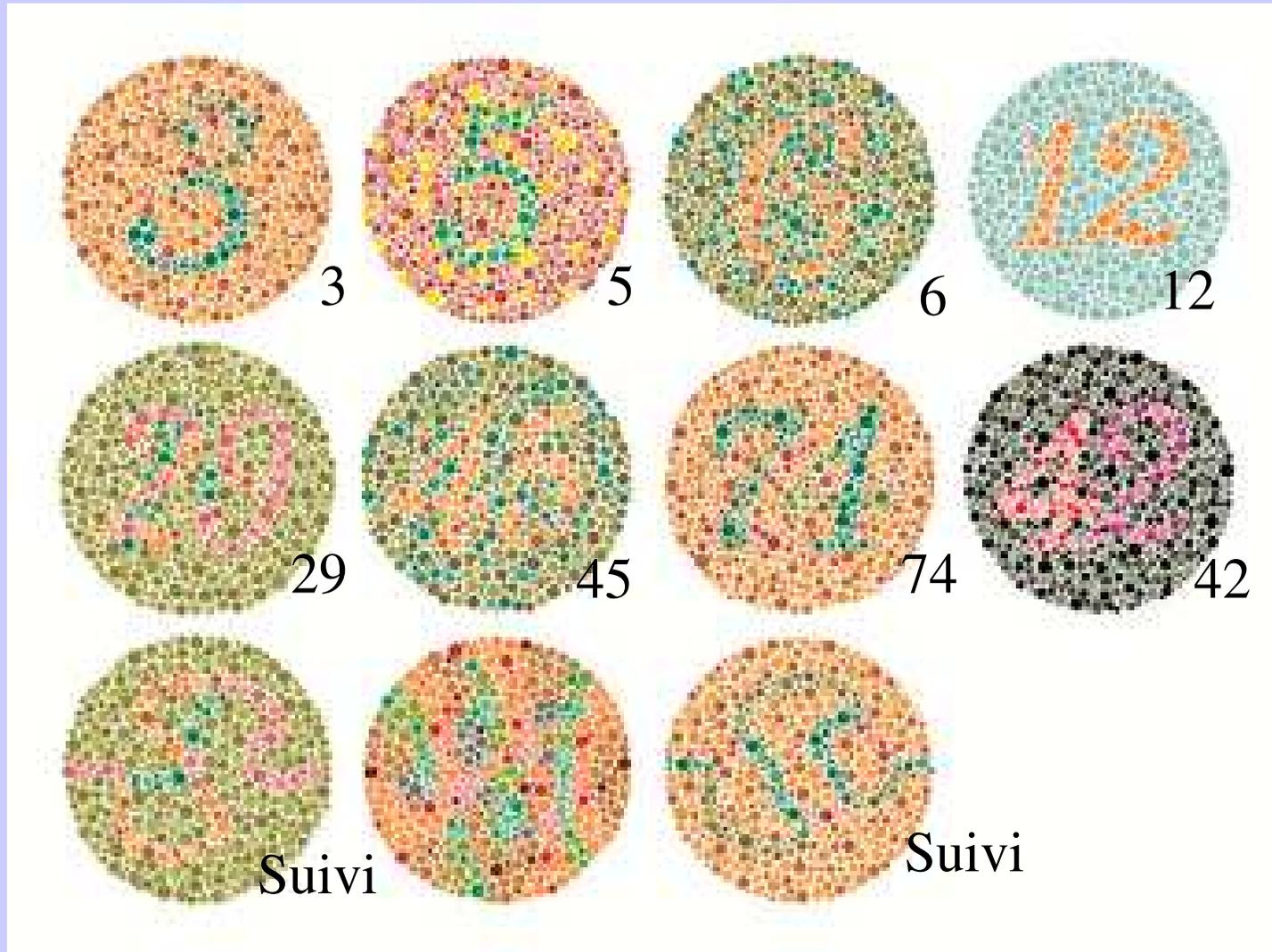
TRITANOPIA

Vision des couleurs : test d'Ishihara



Vision des couleurs : test d'Ishihara

Attention : pas de valeur diagnostique car projecteur non étalonné





**Merci de votre attention
et à très bientôt ...**



the 1990s, the number of people in the world who are under 15 years of age is expected to increase from 1.1 billion to 1.5 billion.

As a result of the demographic changes, the number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

The number of people in the world who are 65 years of age and older is expected to increase from 200 million in 1990 to 500 million in 2020.

