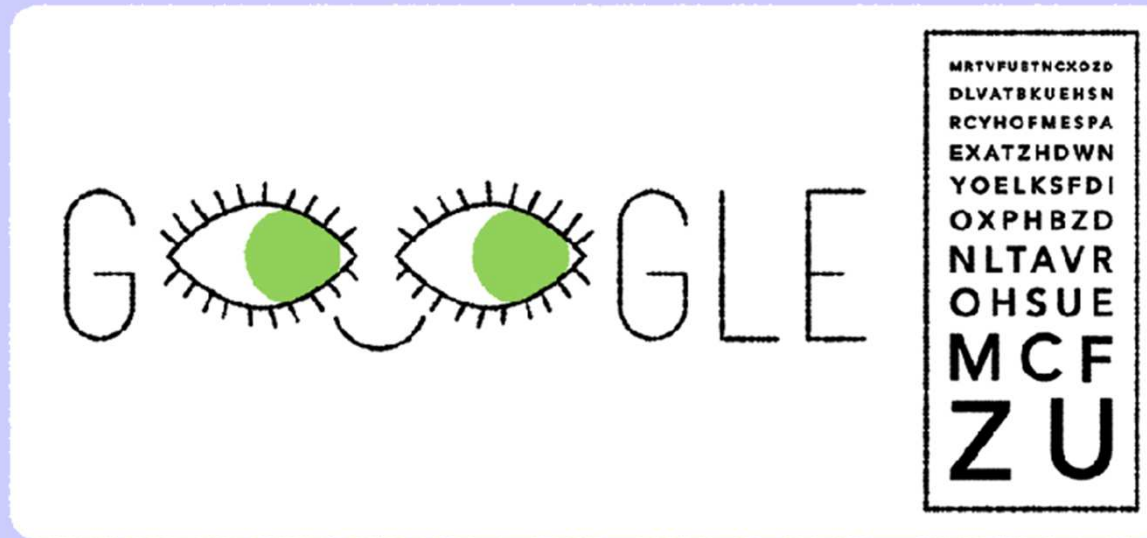


# Biophysique sensorielle de la vision

## 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<sup>-2</sup> ( 1 cd.m<sup>-2</sup> = 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 :

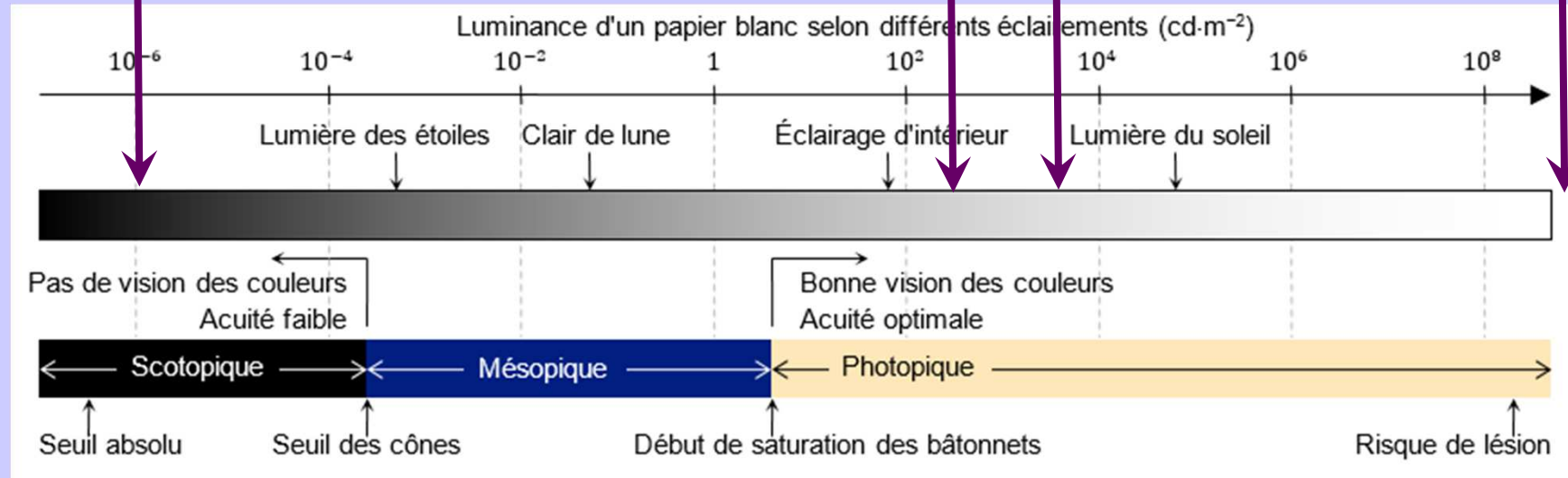
$I_0$  vers  $10 I_0$  ;  $10 I_0$  vers  $100 I_0$  ;  $100 I_0$  vers  $1000 I_0$  etc ...

# Gamme de luminosité perceptible par l'œil humain

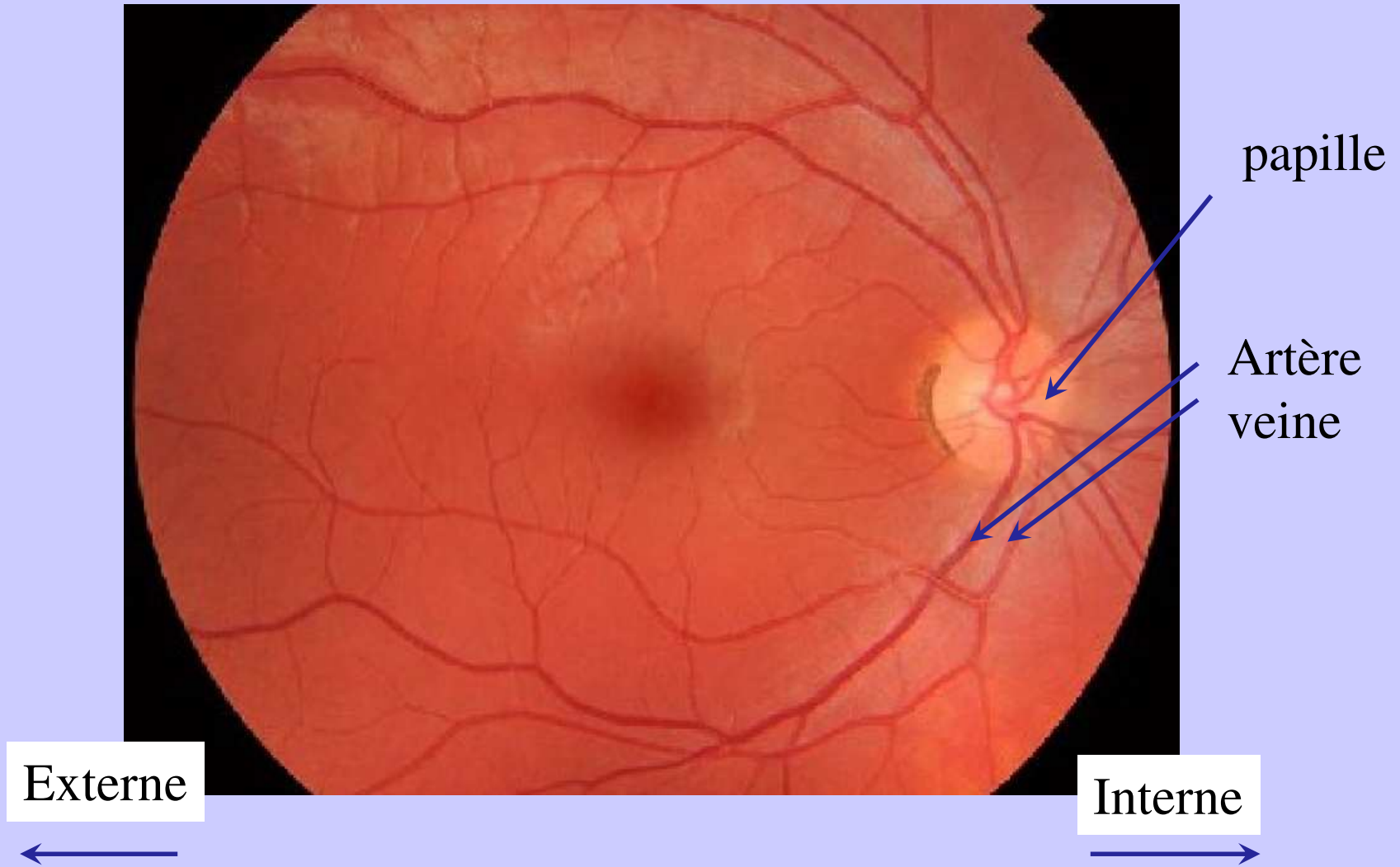
10 photons

Ecran plat / S. Lune

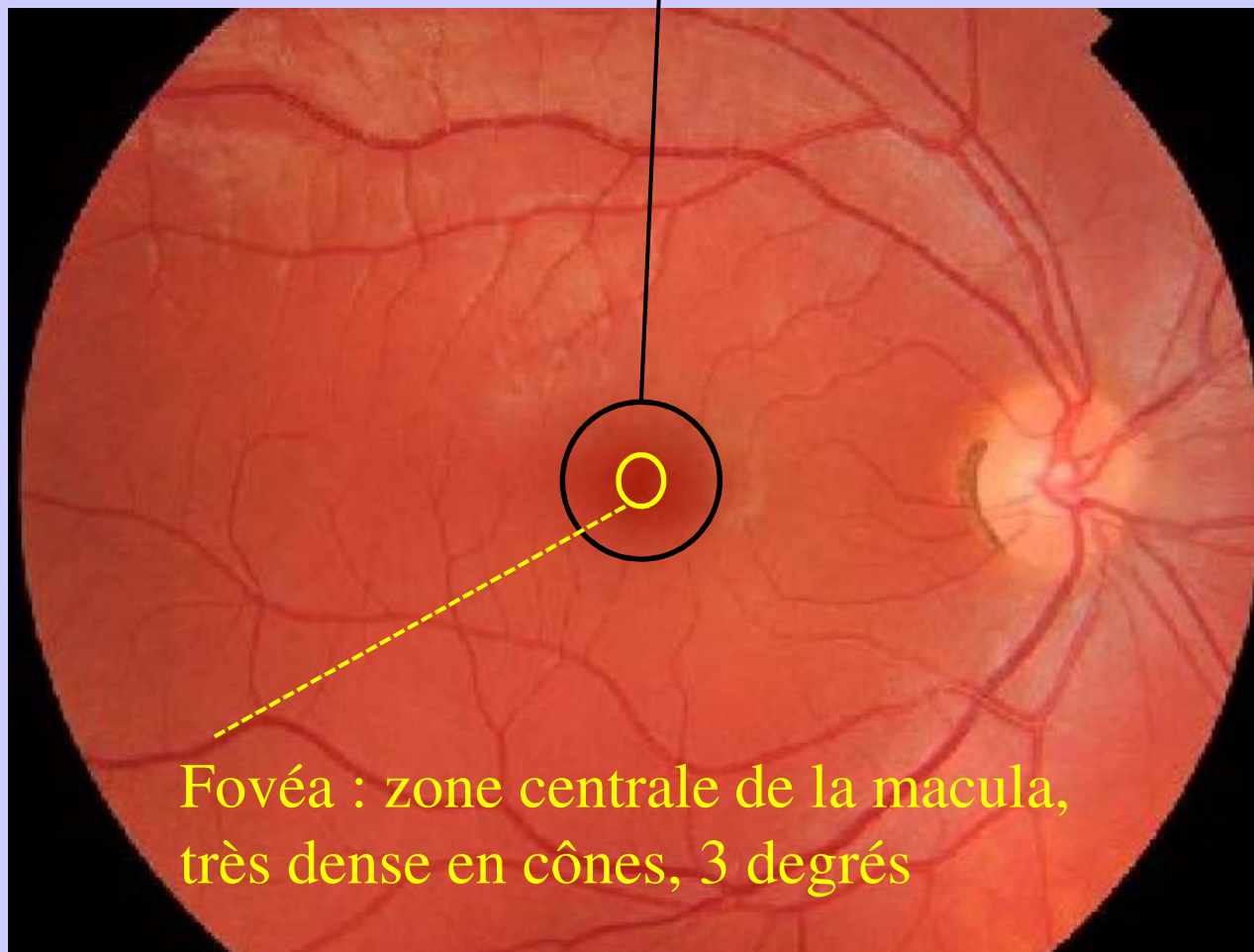
S. Soleil



## La rétine : Image du fond d'oeil

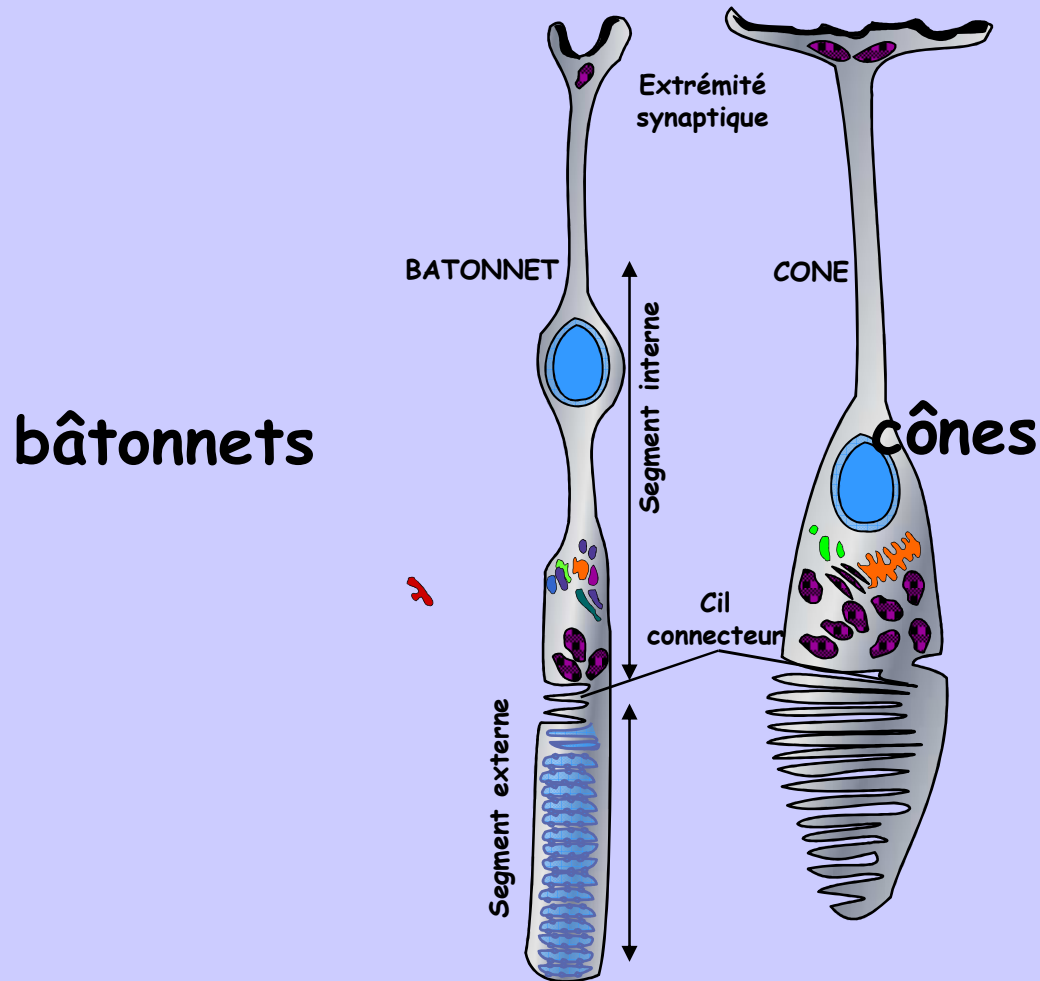


Macula : zone avasculaire



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

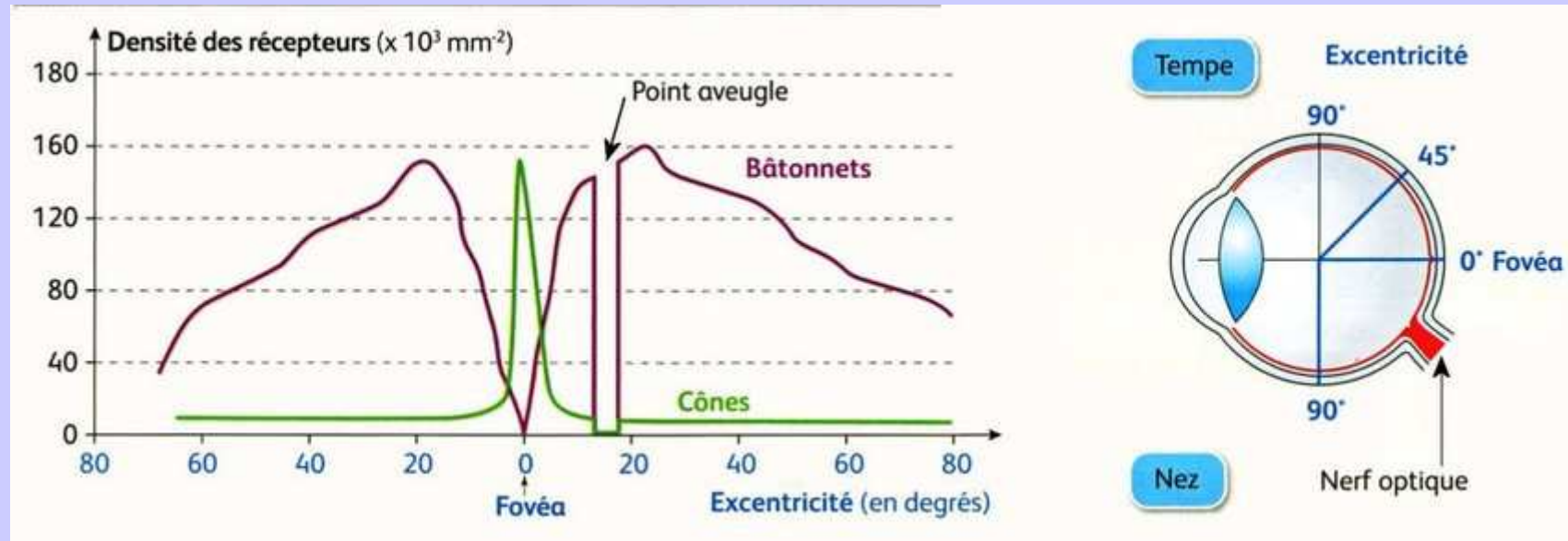
# Les cellules sensorielles ou réceptrices :



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

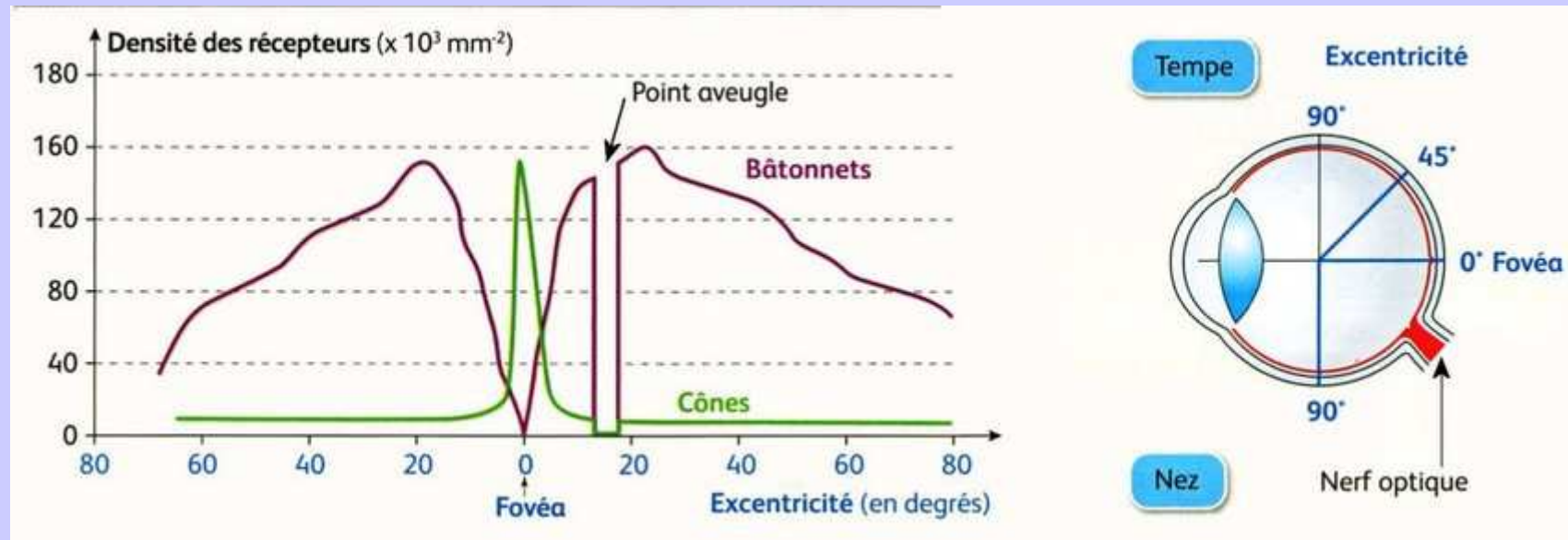


# Distribution des récepteurs sur la rétine



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

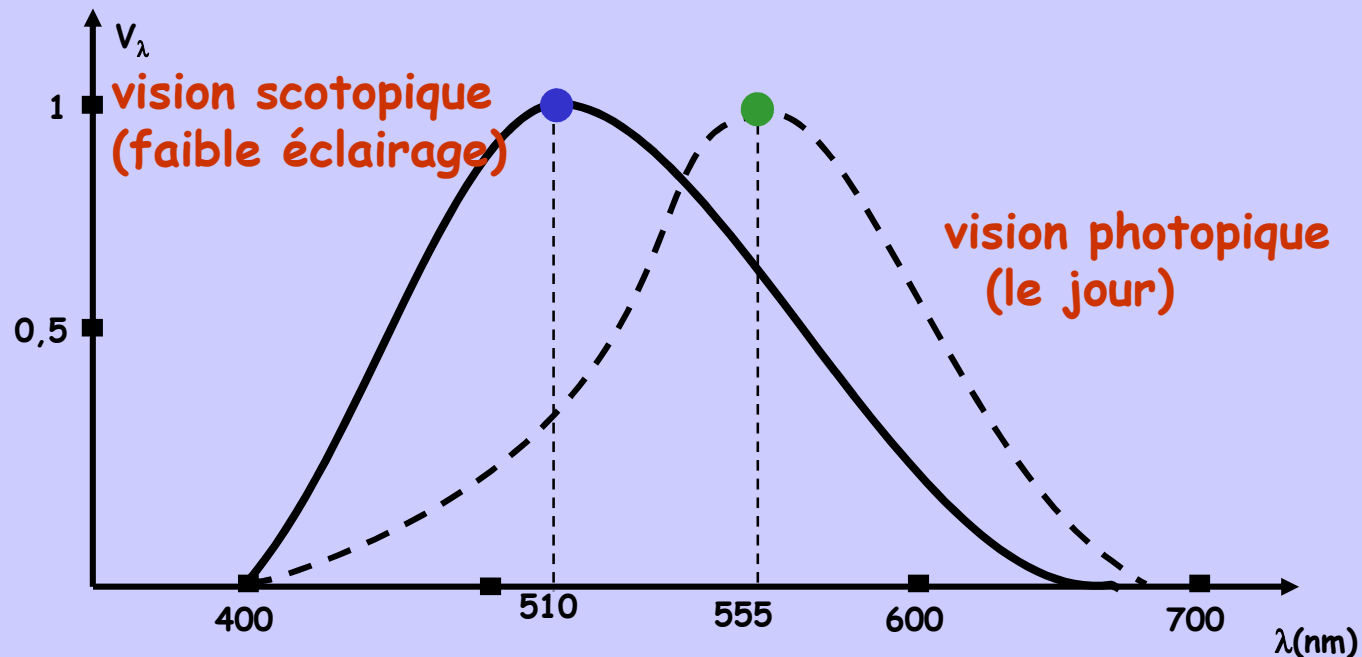
**Zone aveugle** : émergence du nerf optique, pas de photorécepteur

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 :

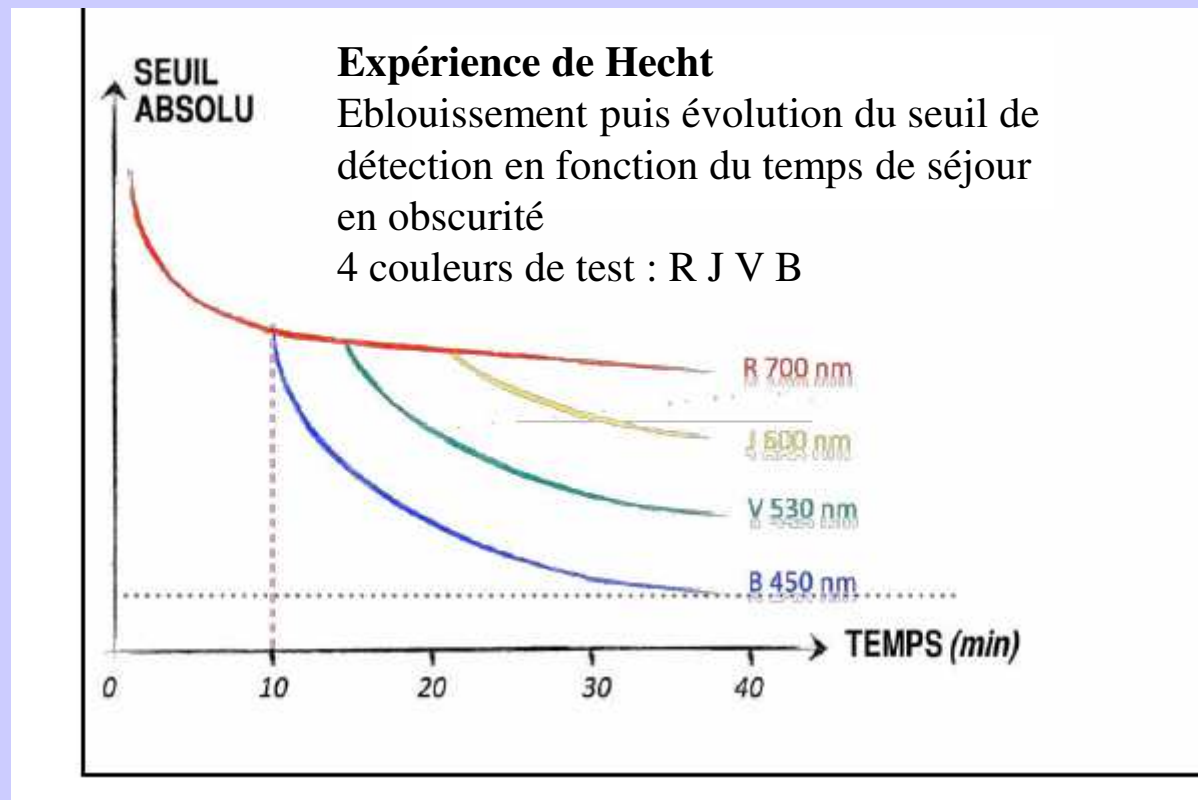
- courbe d'efficacité lumineuse dont le maximum est à 510 nm (limite **bleu-vert**)
- **sensations achromatiques** : vision **univariante** (bâtonnets)



## Adaptation à l'obscurité :

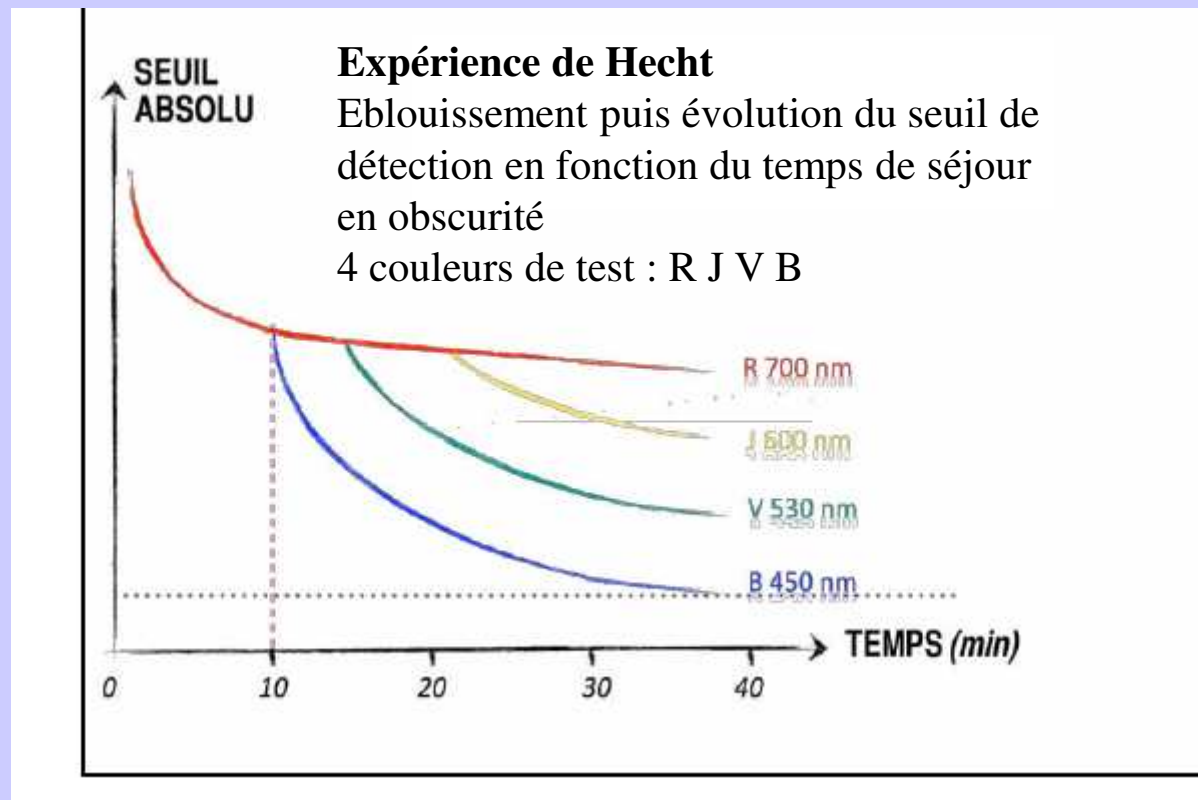
En réduisant la quantité de lumière, les performances visuelles baissent, l'acuité visuelle en particulier

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.



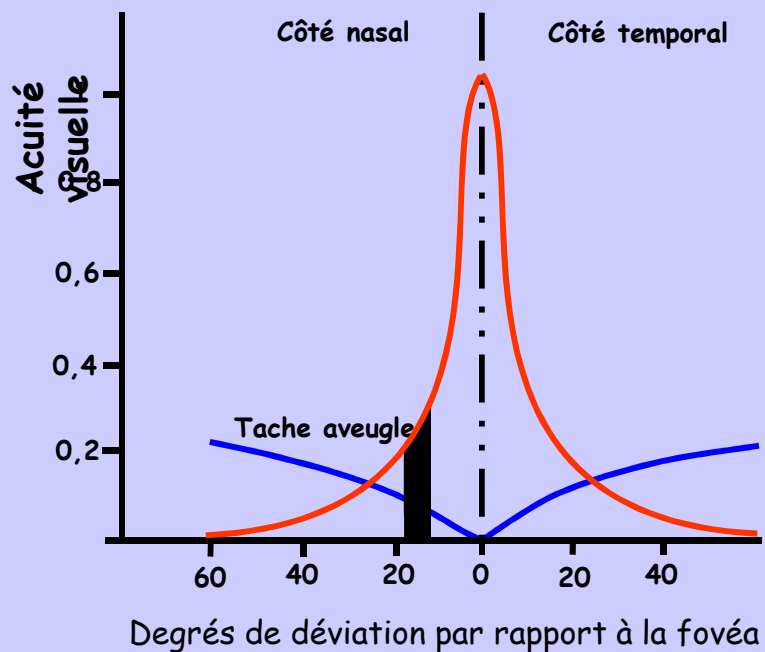
## Facteurs physiologiques de variation de l'AV :

Conditions d'éclairément :

diurnes=photopiques : AV=10/10<sup>ièmes</sup> (cônes)

nocturnes=scotopiques : AV=2/10<sup>ièmes</sup> (bâtonnets)

Topographie de l'image rétinienne :



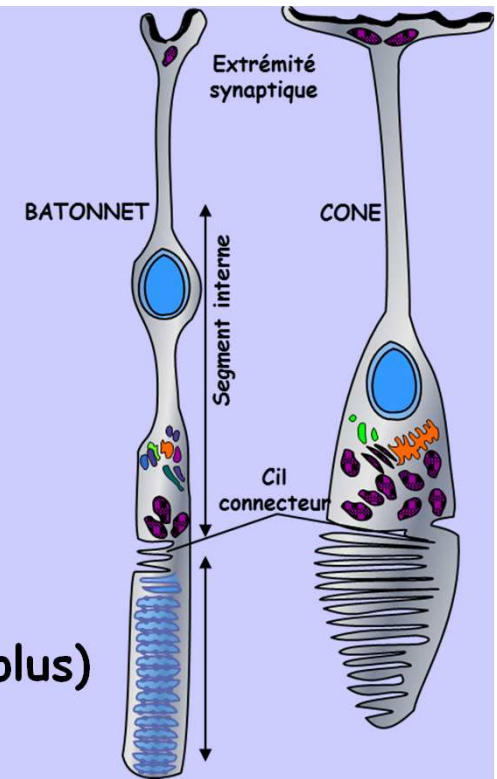
rétine centrale : cellules en cônes ( $6 \cdot 10^6$ , en particulier au niveau de la fovéa), vision diurne AV = 10/10<sup>ièmes</sup>, décroît vers la périphérie

rétine périphérique : cellules en bâtonnets ( $120 \cdot 10^6$ ), vision nocturne : AV = 3/10<sup>ièmes</sup>, 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 :**

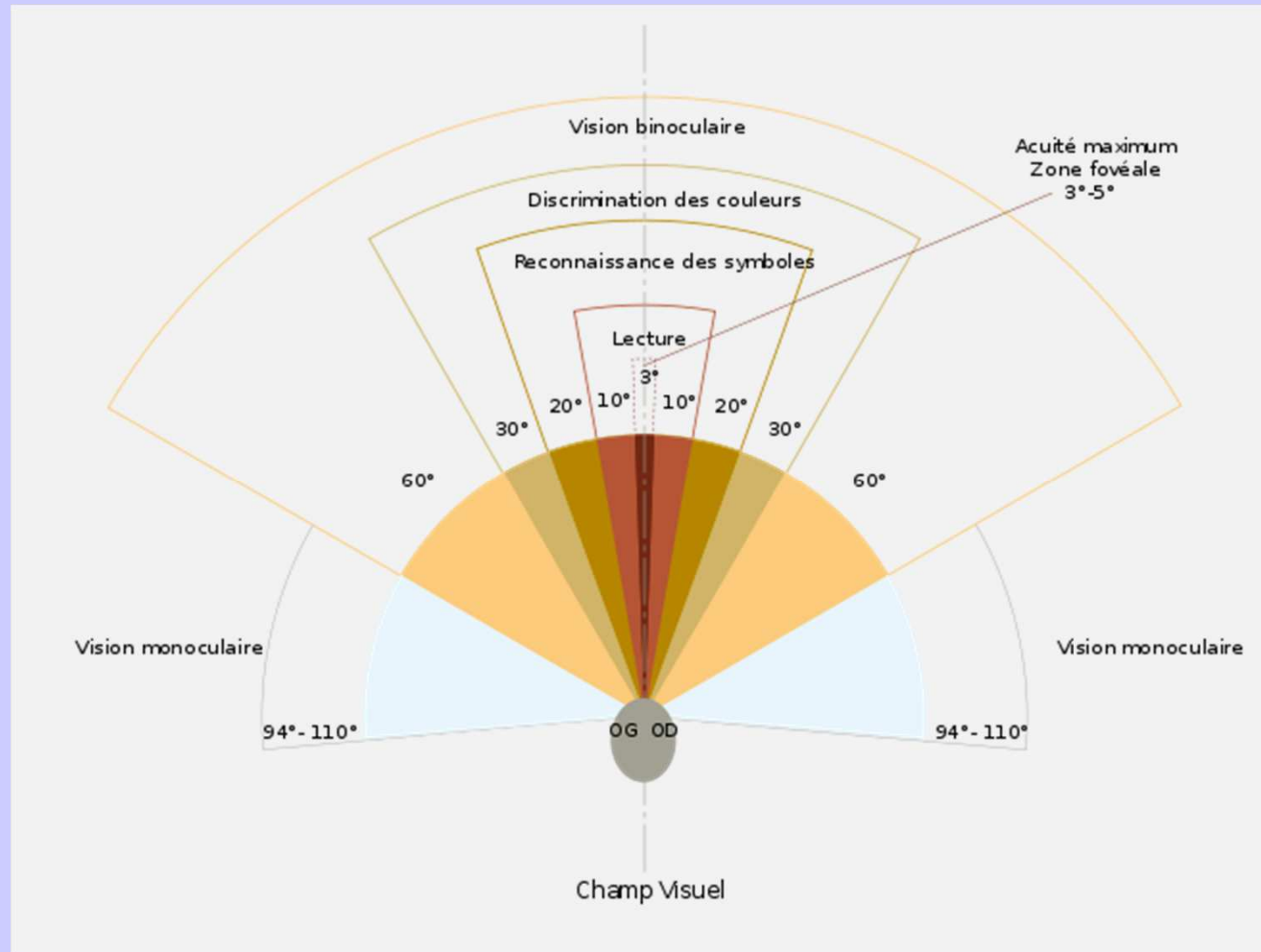
- performants aux fortes luminances
- bon pouvoir séparateur (AV : 10/10<sup>ièmes</sup> ou plus)
- perception des couleurs : vision trivariante

**bâtonnets :**

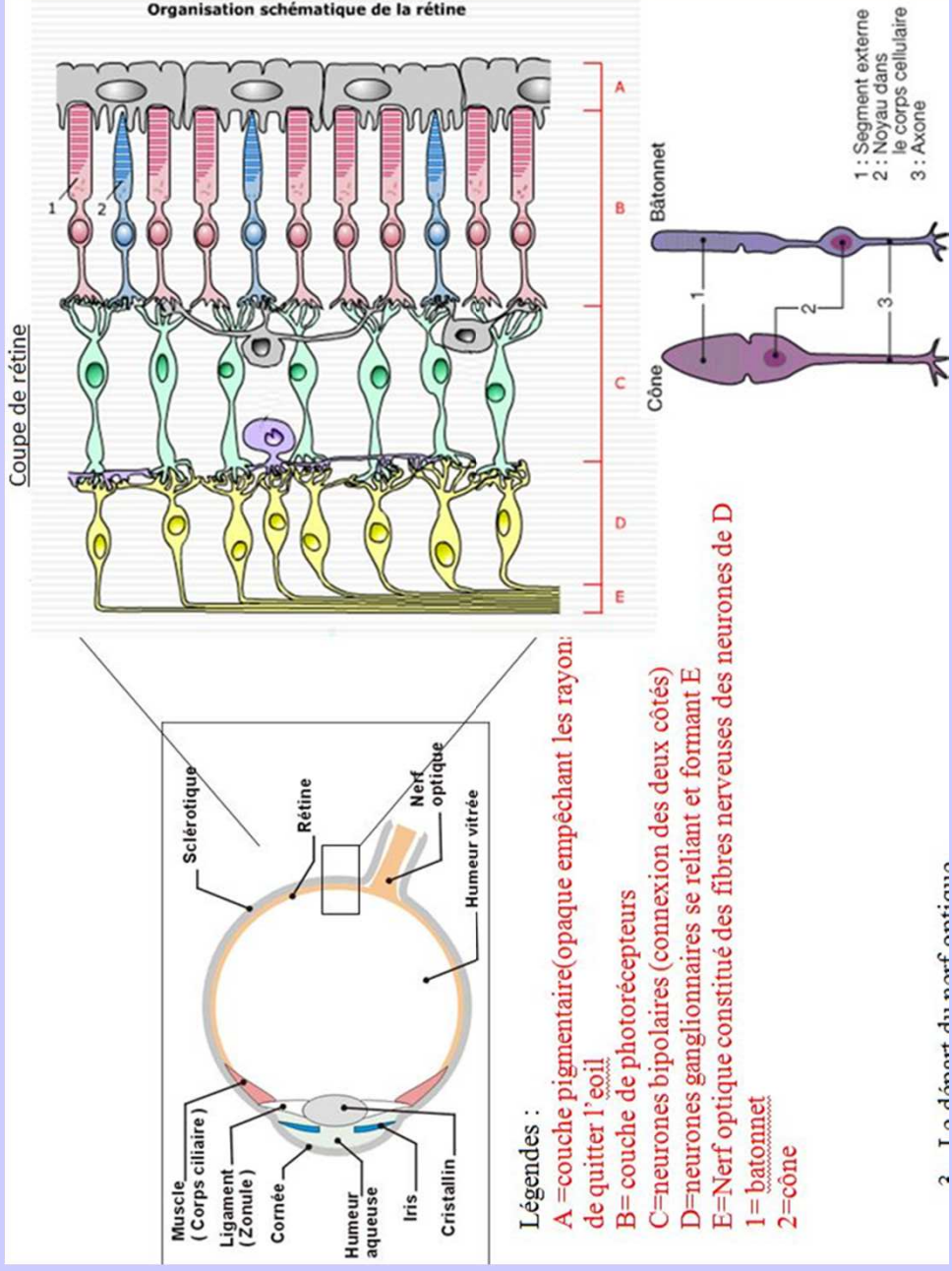
- performants aux faibles luminances
- mauvais pouvoir séparateur (AV : 2 à 3/10<sup>ièmes</sup>)
- absence de perception des couleurs : vision univariante



# Extension horizontale du champ visuel humain



# Phénomènes rétiniens



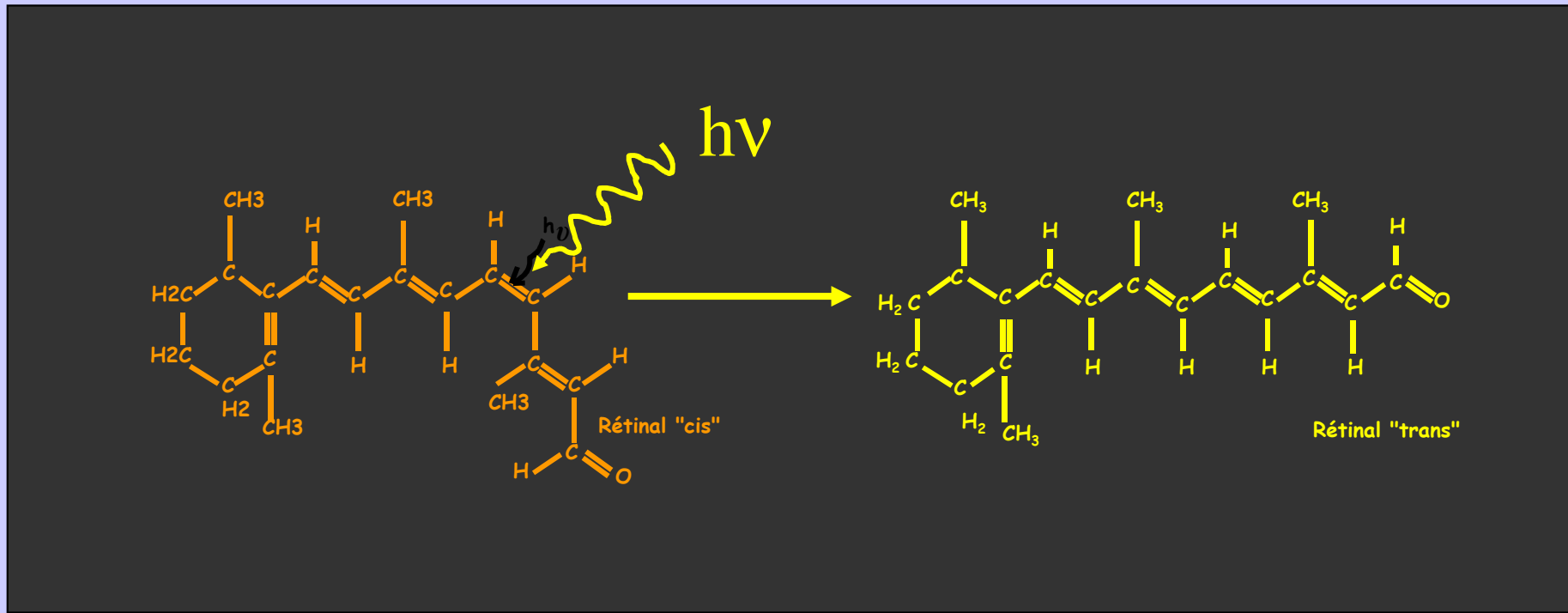
## Photochimie rétinienne



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

Une protéine à 7 hélices

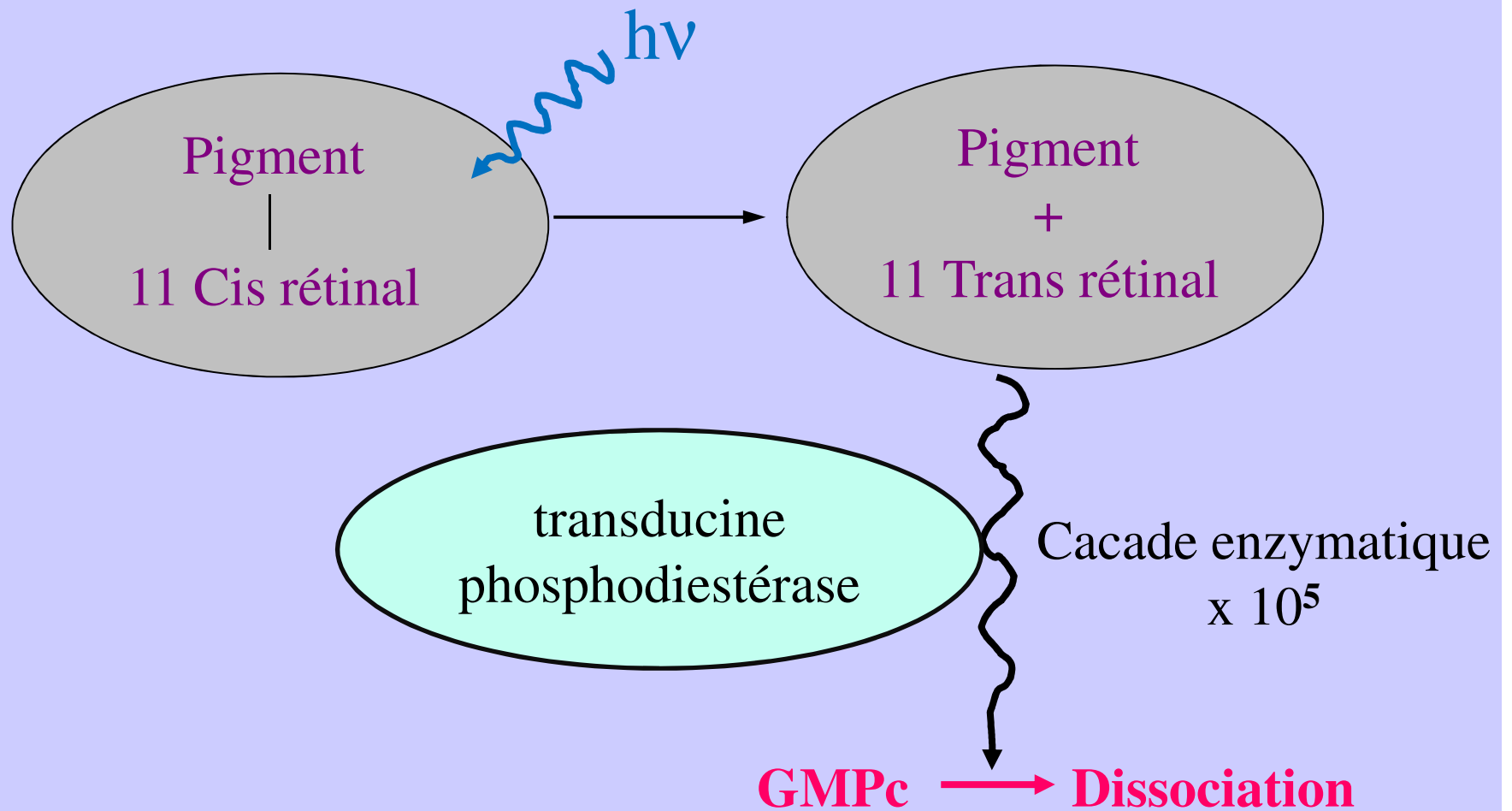
- Rhodopsine pour les bâtonnets
- Opsines S, M ou L pour les cônes
- S : max absorption à 420 nm **bleu**
- M: max absorption à 530 nm **vert**
- L: max absorption à 560 nm **rouge**



la lumière agit sur la  $\Delta 11$  du rétinol :

11 cis rétinol  $\longrightarrow$  11 trans rétinol

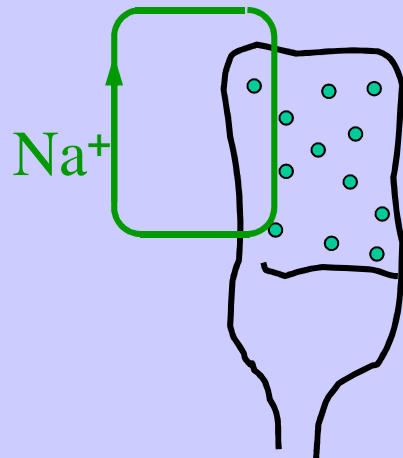
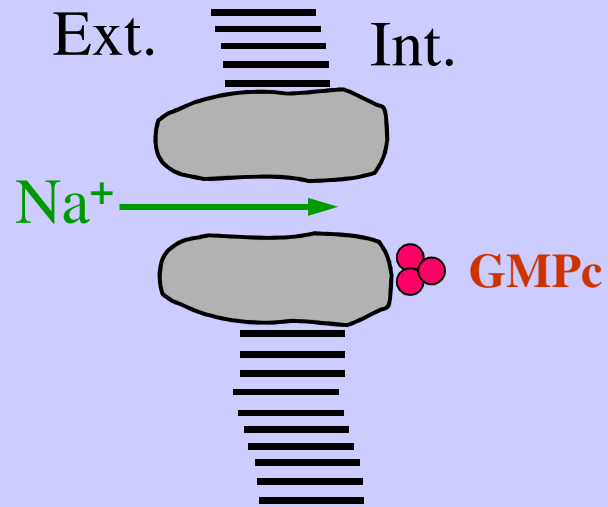
**Dissociation Opsine - Rétinal**



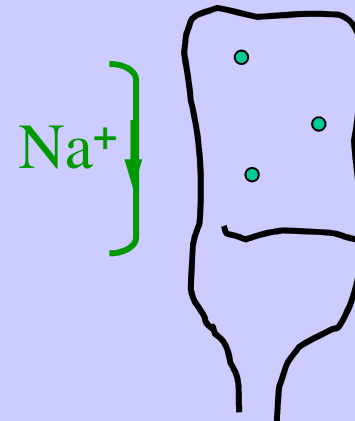
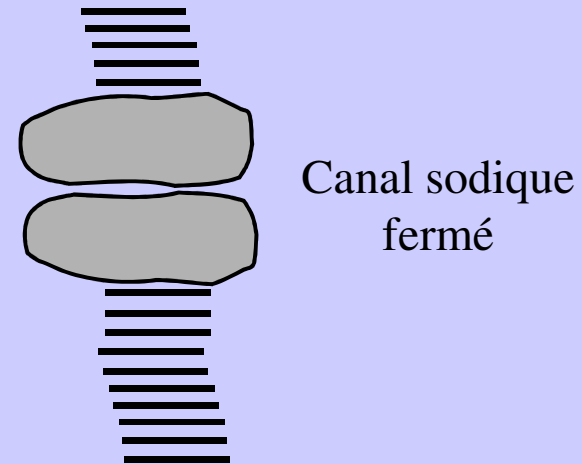
**1 photon transforme**

**$10^5$  molécules de GMPc en GMP**

**OBSCURITE**



**LUMIERE**



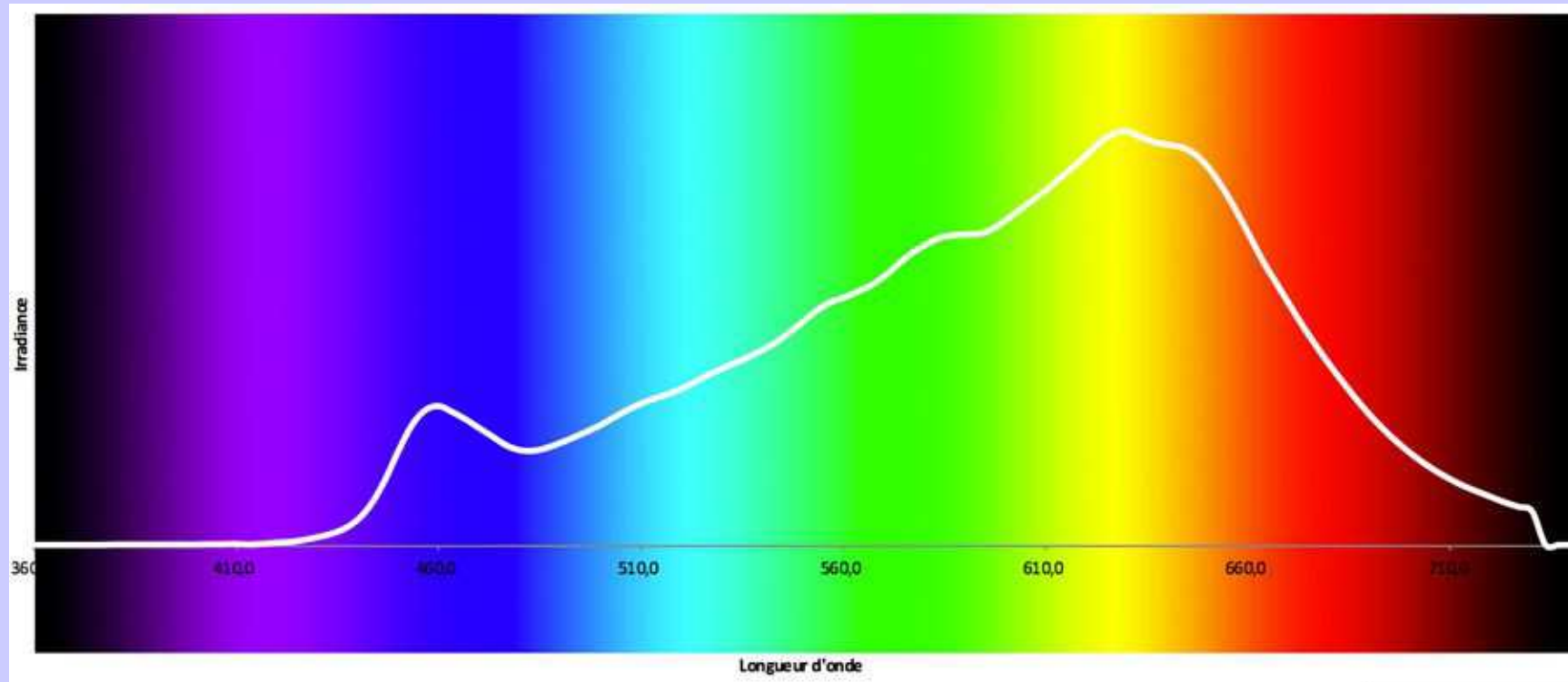
**Potentiel négatif → Potentiel d'action**  
**Cellules relais puis nerf optique**

# **La vision des couleurs**

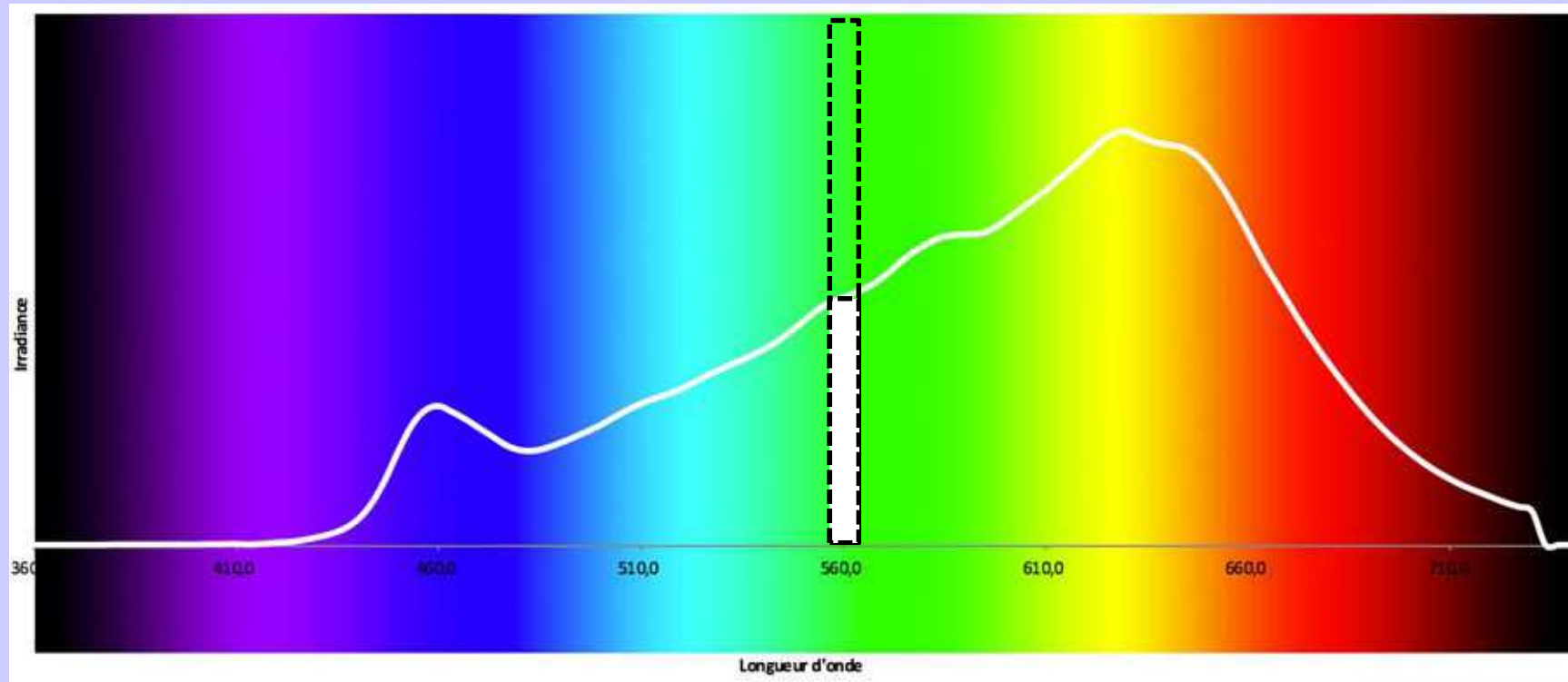
## **Trivariance visuelle**



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

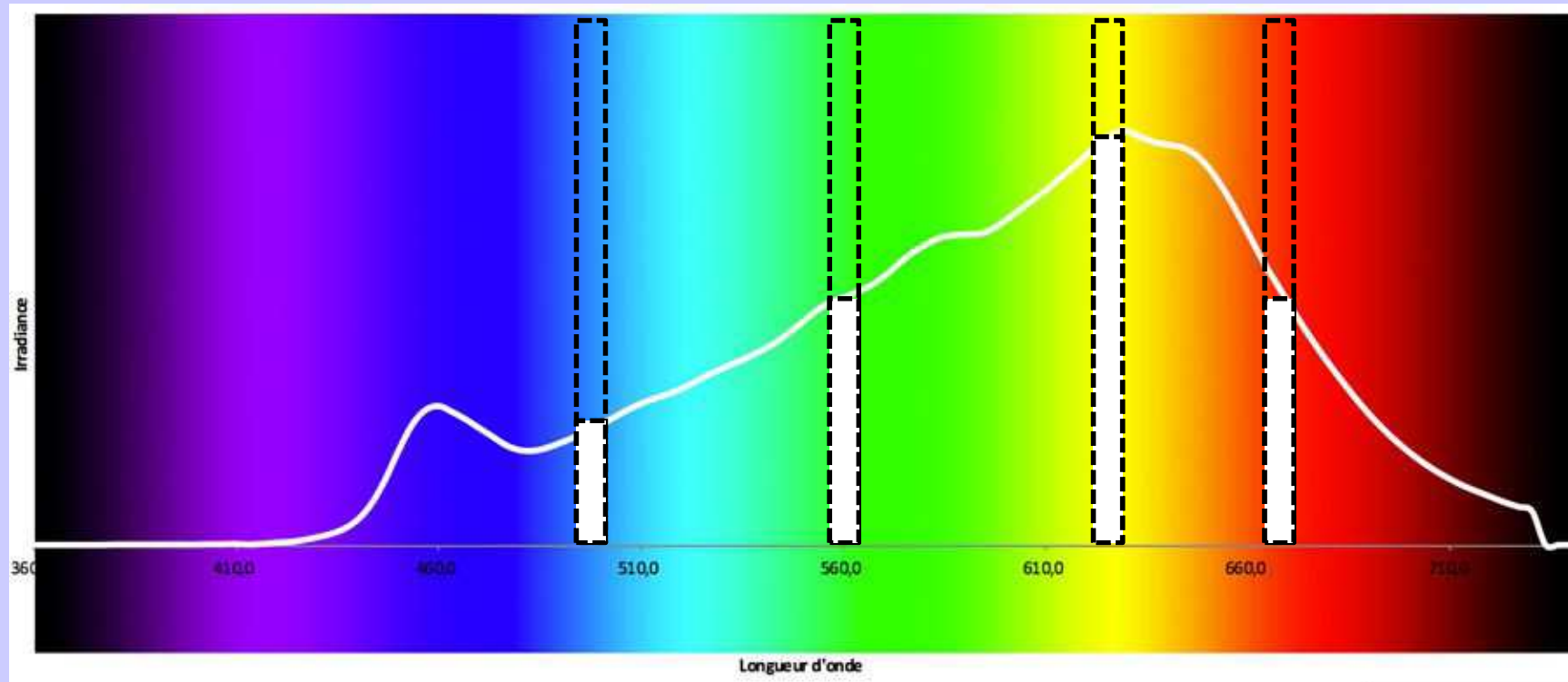


## Comment rendre compte du spectre de fréquences lumineuses d'une source ?



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

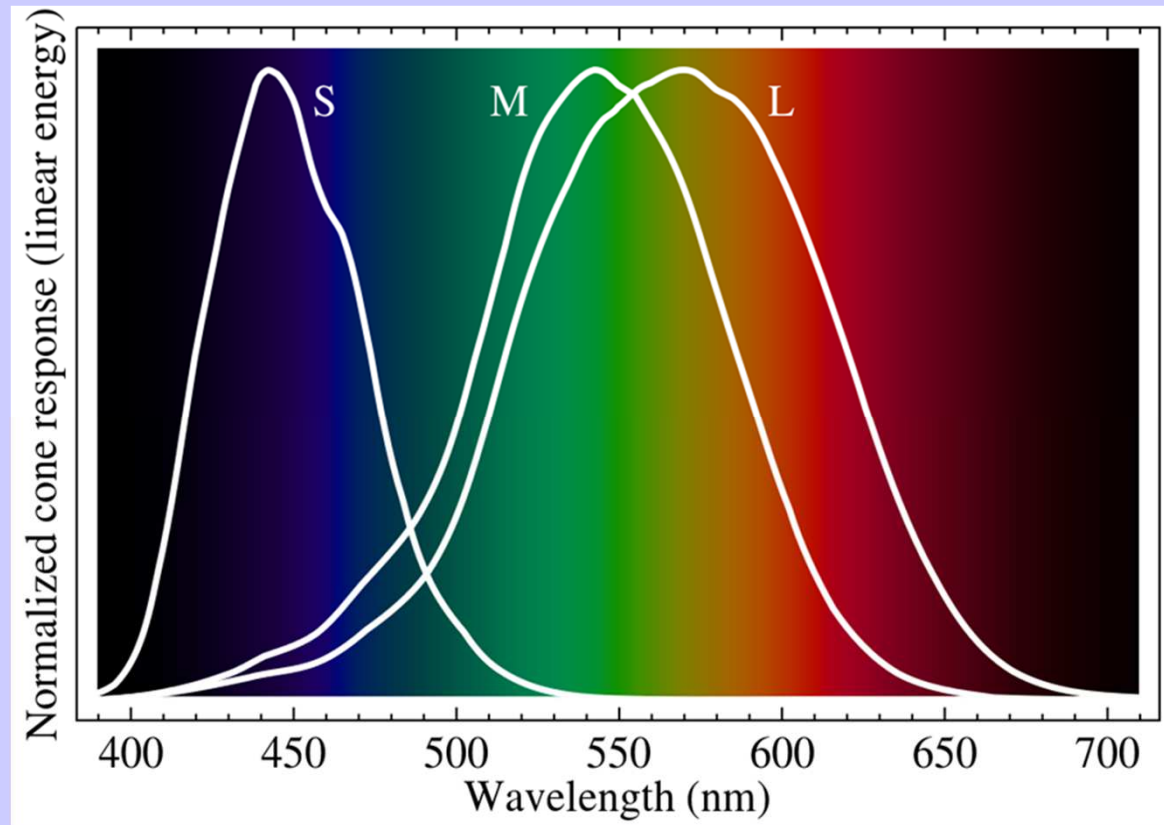
**3 récepteurs : la plupart des primates, marsupiaux**

4 récepteurs : reptiles, amphibiens, oiseaux, papillons,

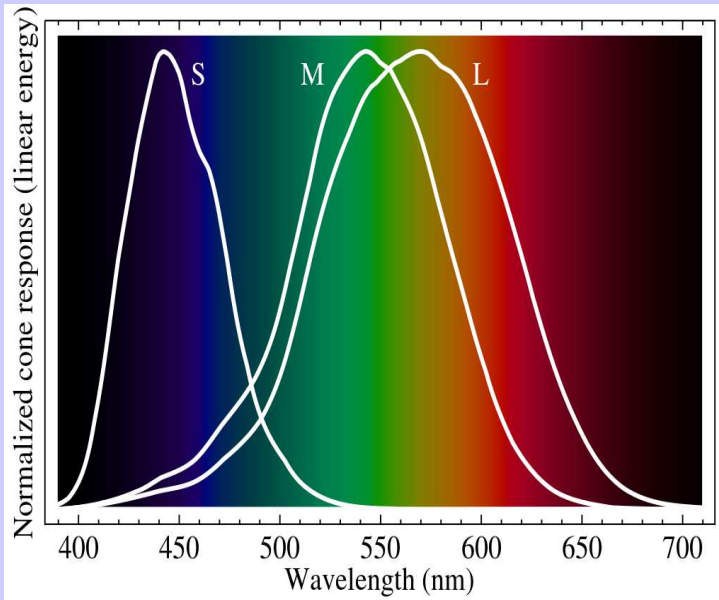
5 récepteurs : certains papillons, certains insectes ...

## 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)

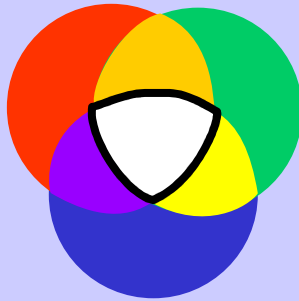
- cônes sensibles au rouge (max : 565 nm  
dans le jaune, dont l'absorption se poursuit  
dans le rouge ) = cônes L (Long wavelength)

- courbe d'efficacité lumineuse photopique =  
somme de ces 3 courbes

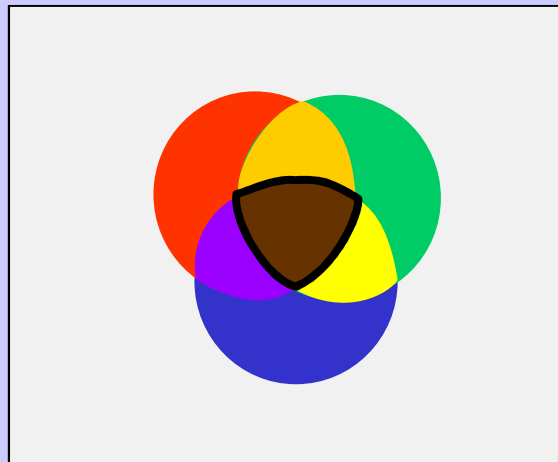
spectre d'adsorption des 3 types de cônes et de pigments :

## Trios de couleurs primaires :

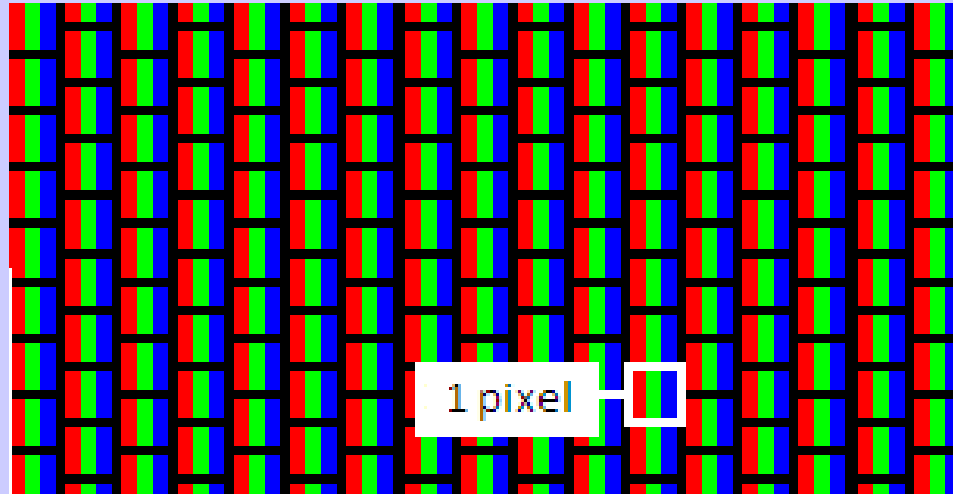
- bleu 465 nm, vert 520 nm, rouge 650 nm (synthèse additive) Ecrans video



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

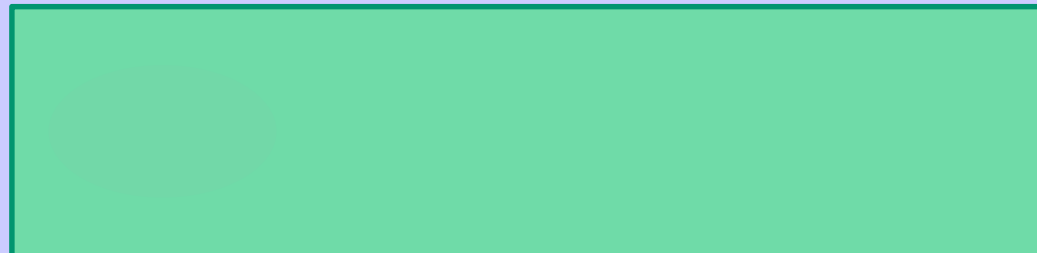


## Vue grossie d'un écran couleur ordinateur



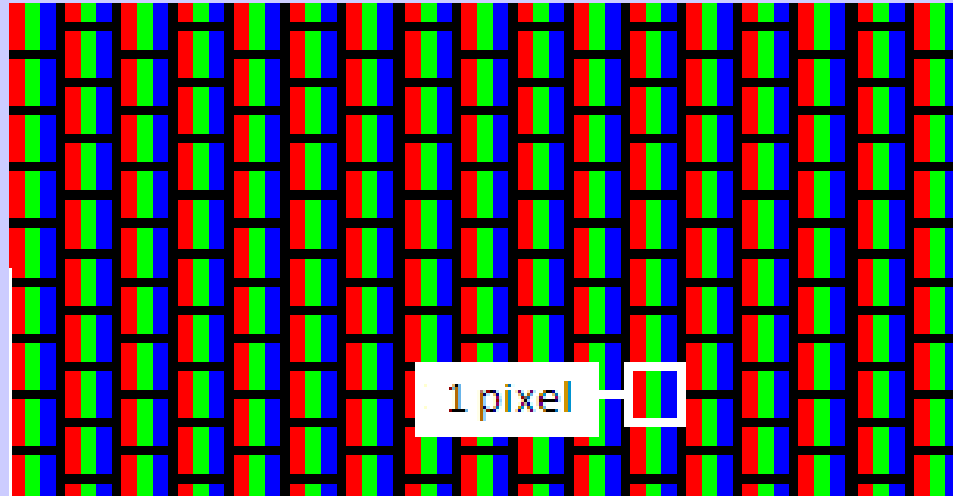
3 type de cônes sur la rétine : 3 couleurs pour un pixel  
Codage numérique sur 3 fois 256 donc  $256^3$  couleurs  
= 16 777 216 nuances possibles.

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

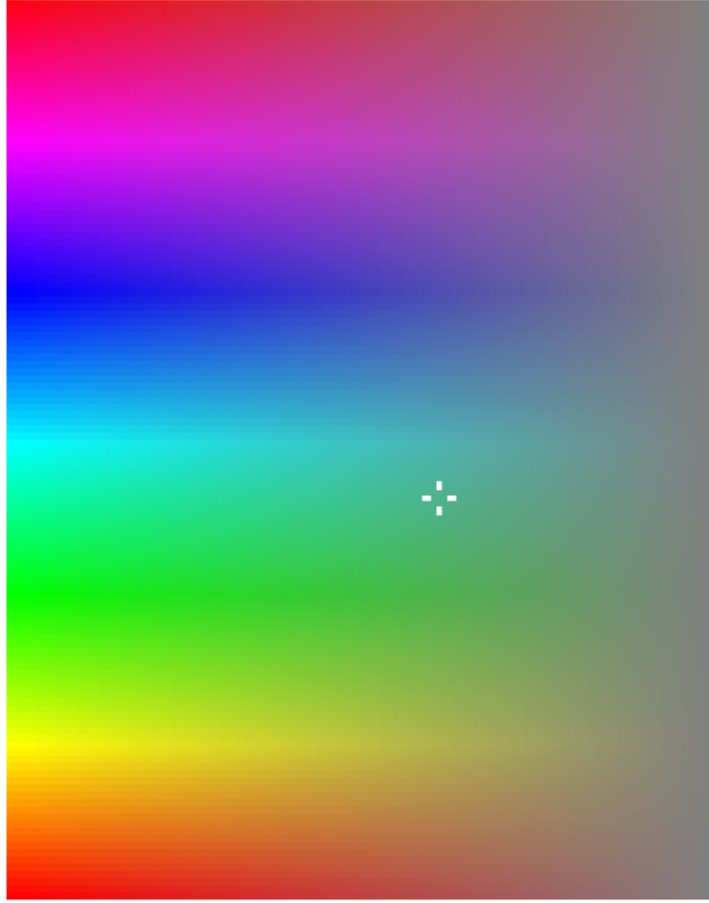
?

x

Standard

Personnalisées

Couleurs :



Palette de couleurs : RVB

Rouge : 79

Vert : 177

Bleu : 147

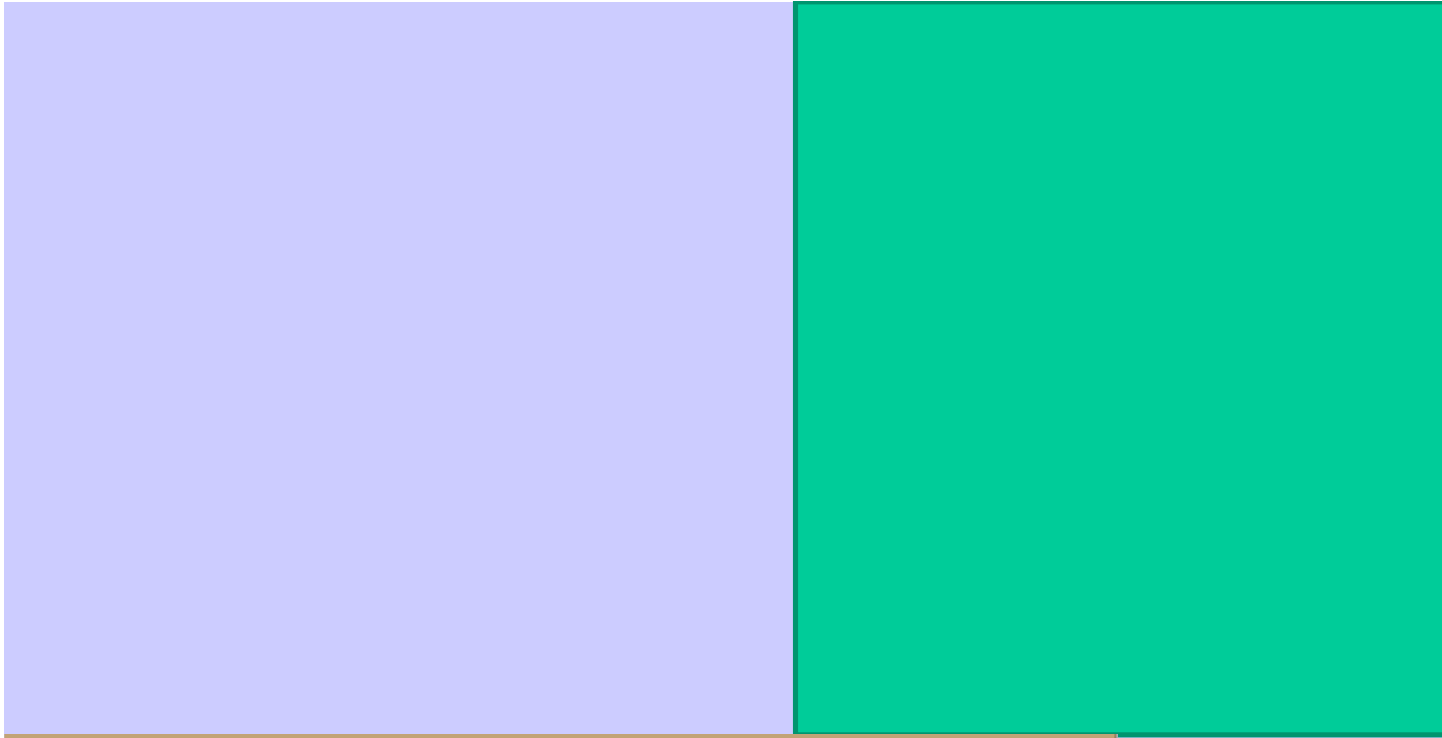
Nouvelle



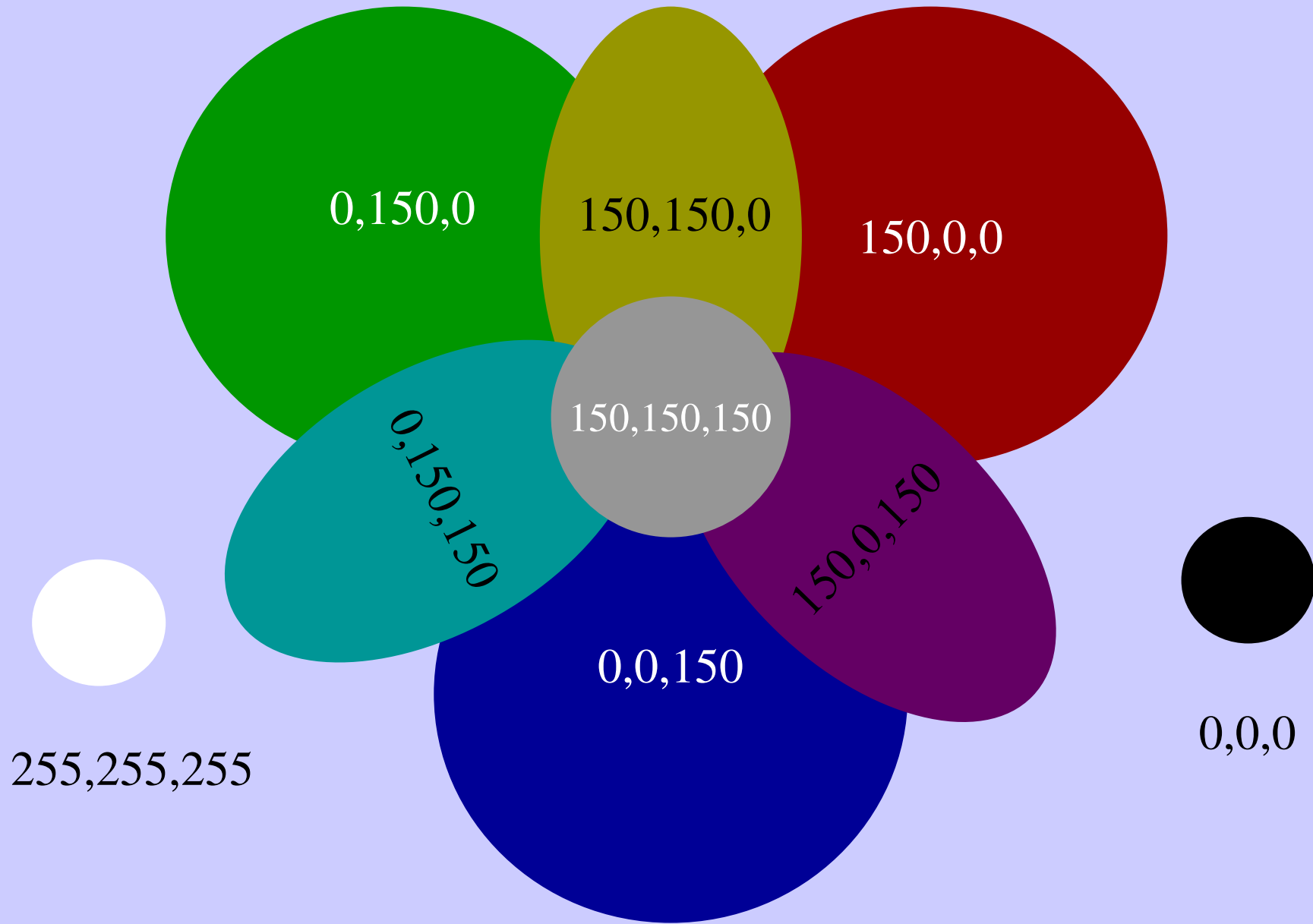
Actuelle

OK

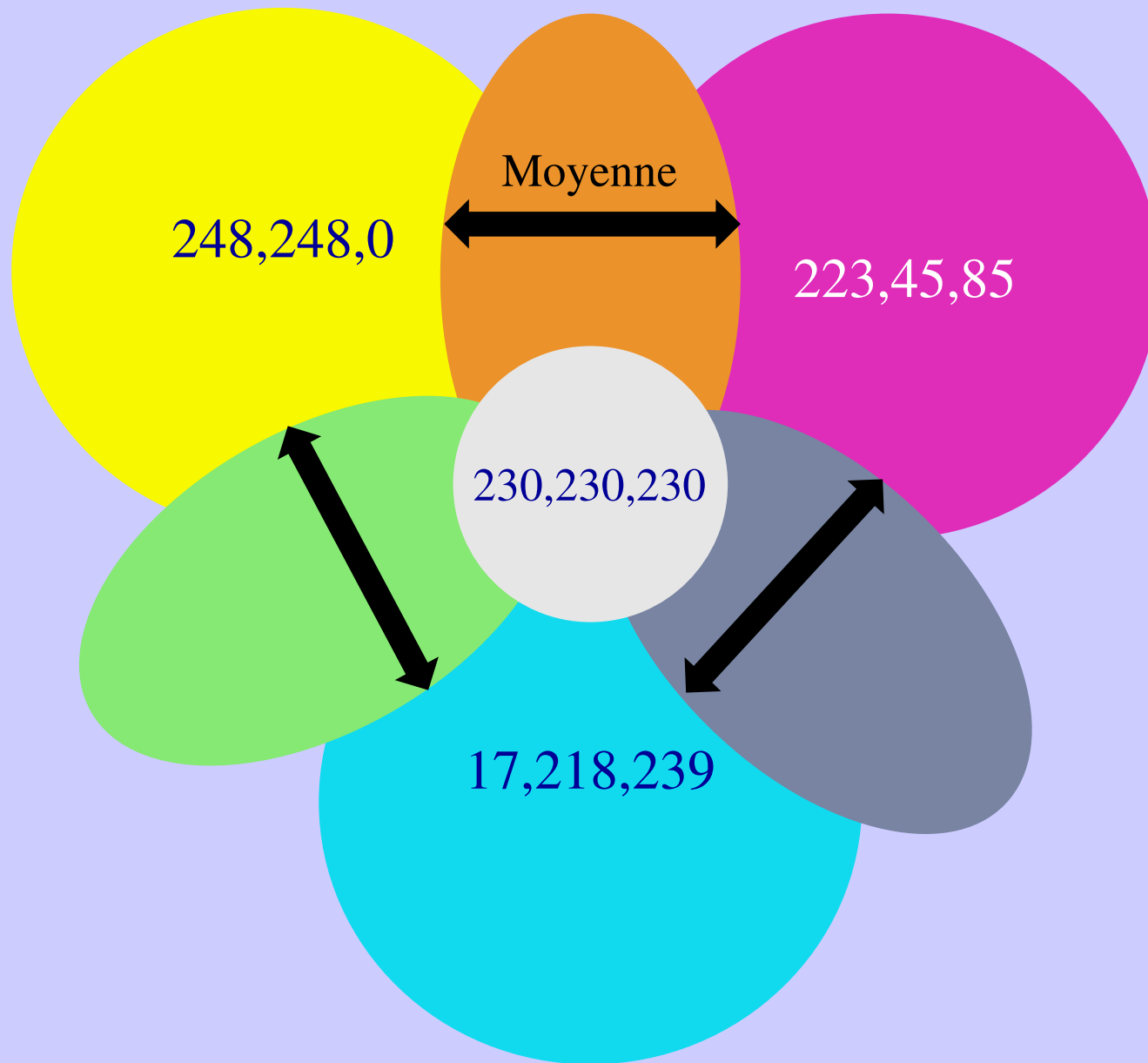
Annuler



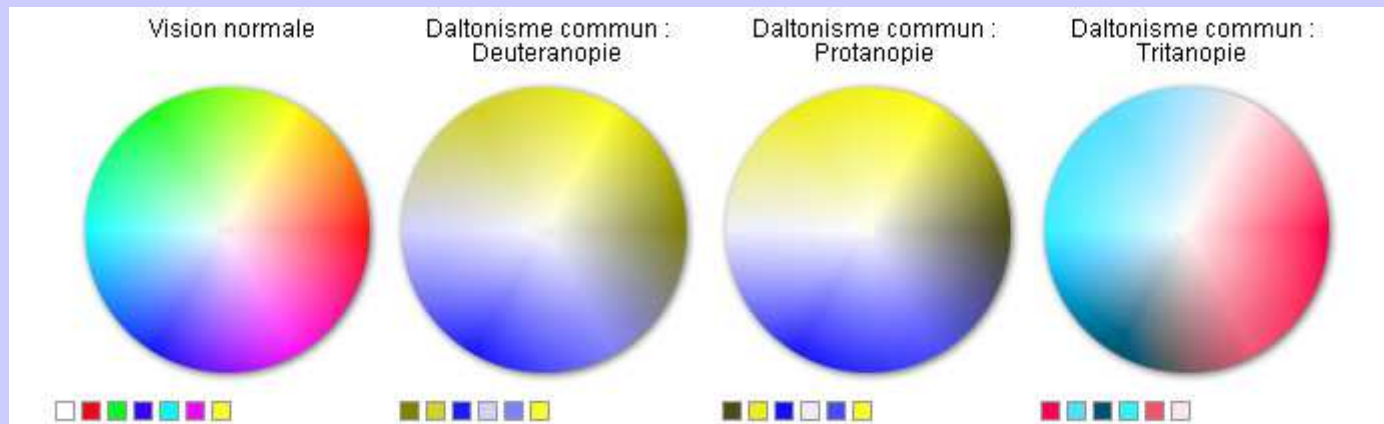
Les pixels de l'écran : R V B de 000 à 255



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**

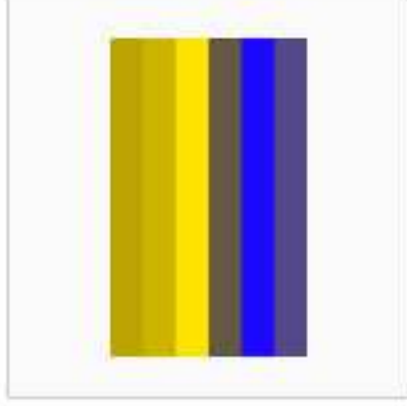




Drapeau multicolore vu  
par une personne sans  
daltonisme.



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

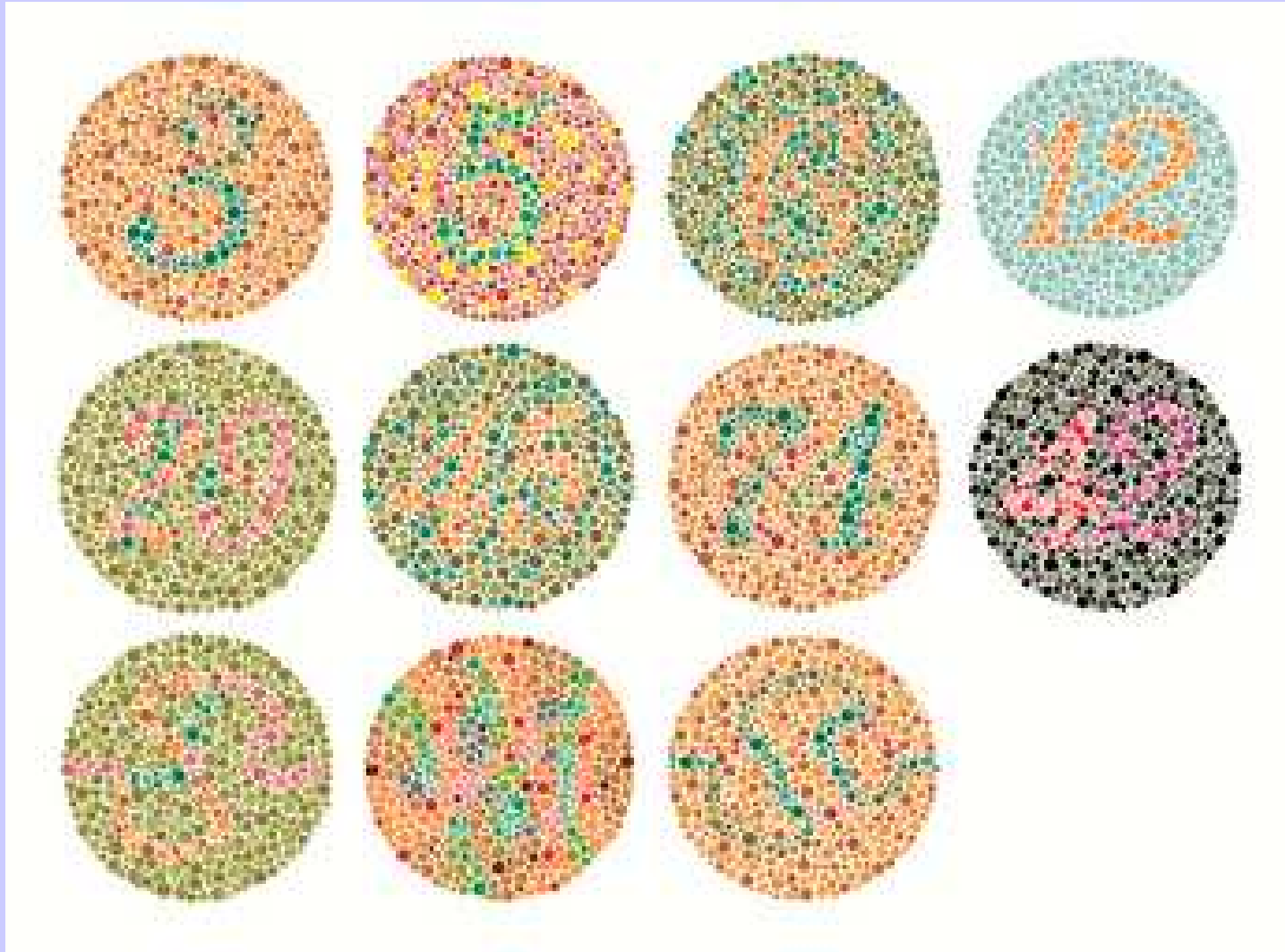


PROTANOPIA



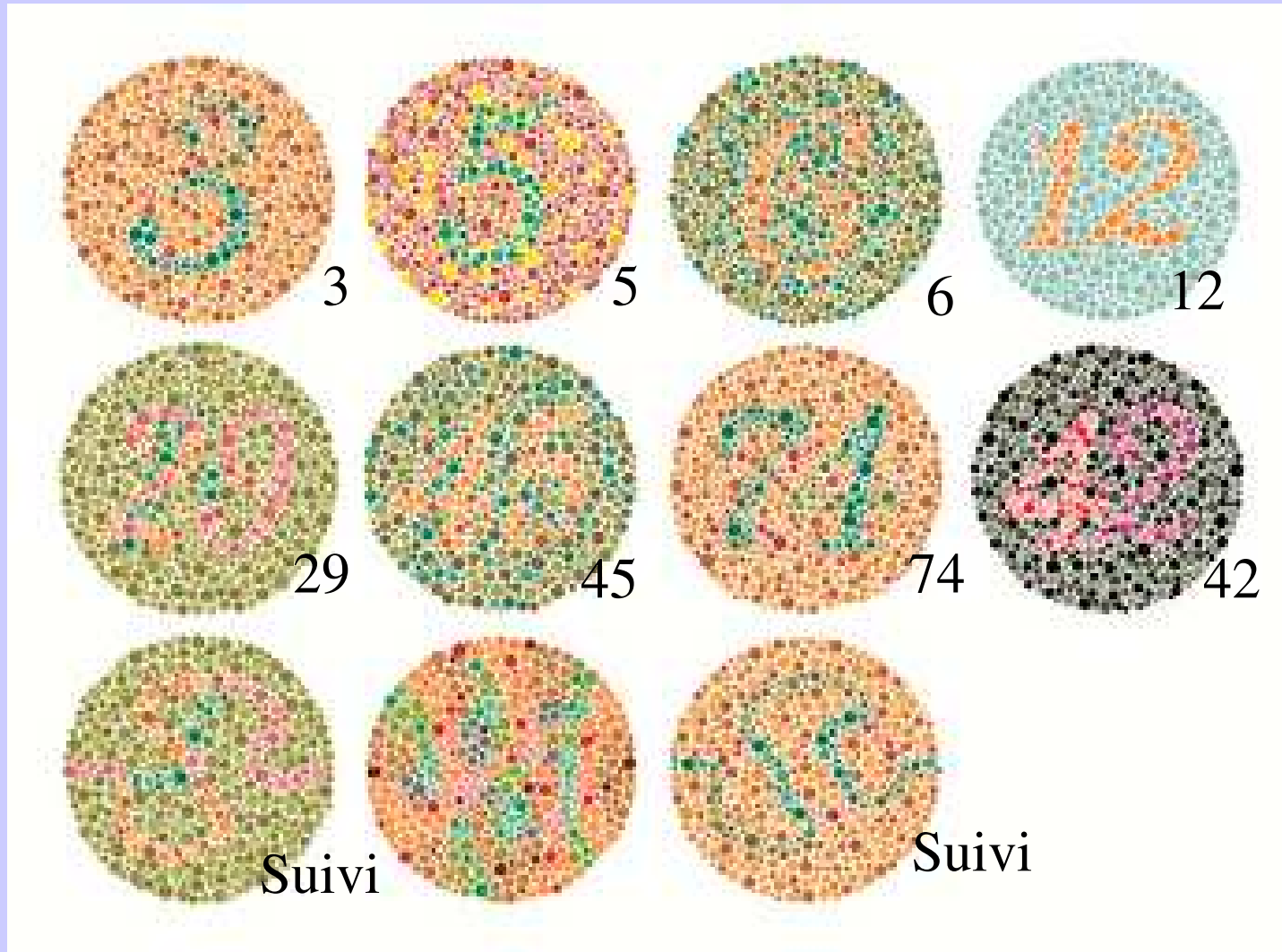
TRITANOPIA

## 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 ...**







