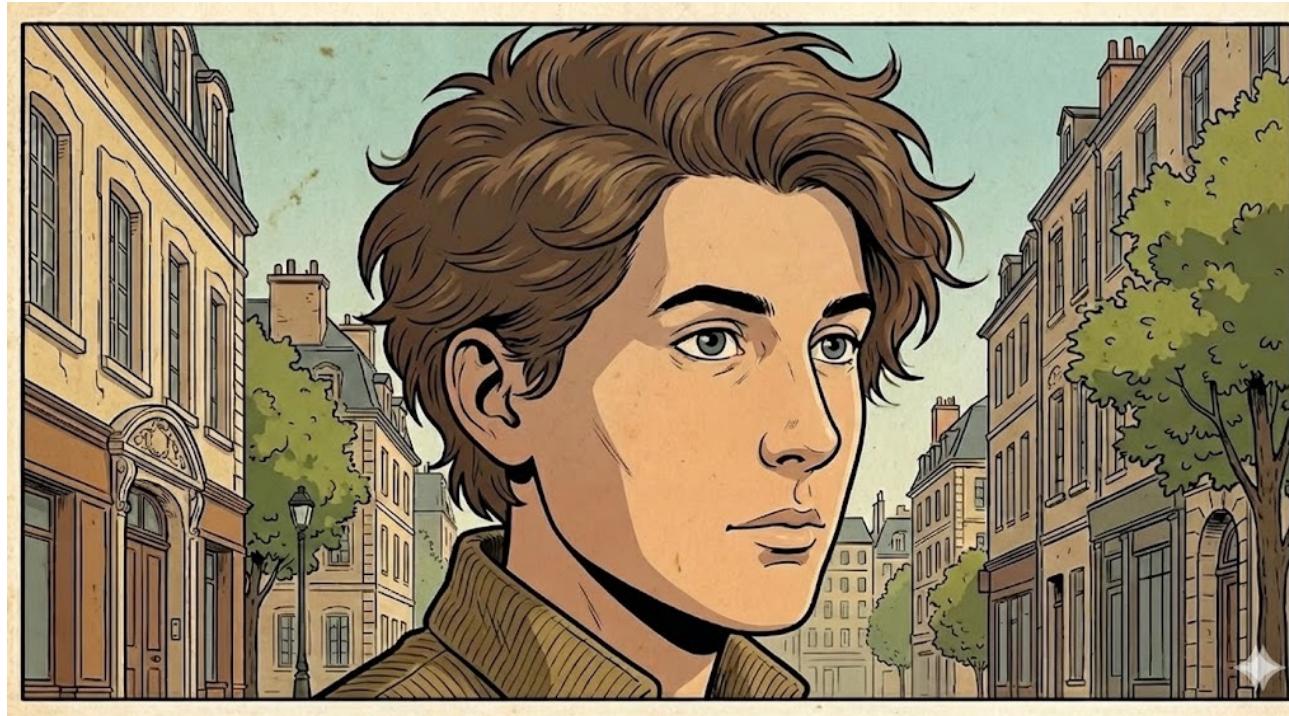
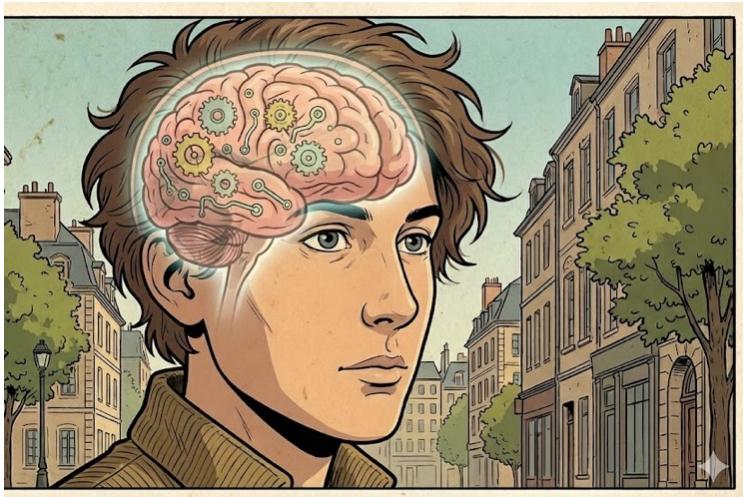


# Vision humaine



## Comparaison vision humaine-caméra



# Les points communs vision humaine-caméra

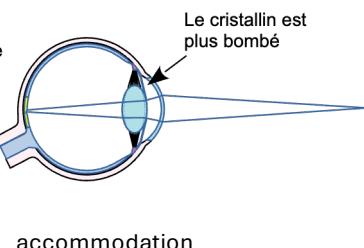
Système optique de formation des images



capteur



Mise au point



# Les différences vision humaine-caméra

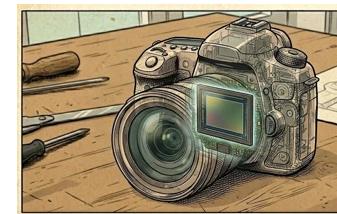
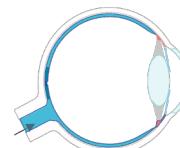
Mobilité de l'axe optique de visée



Globe oculaire  
En mouvement



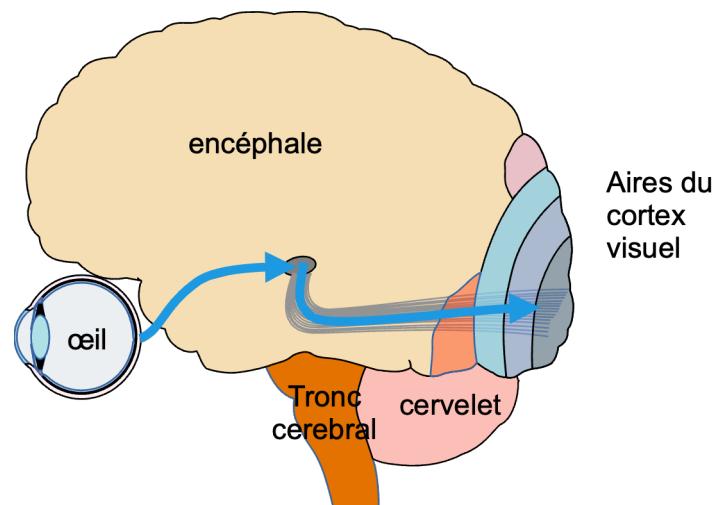
Isotropie du capteur



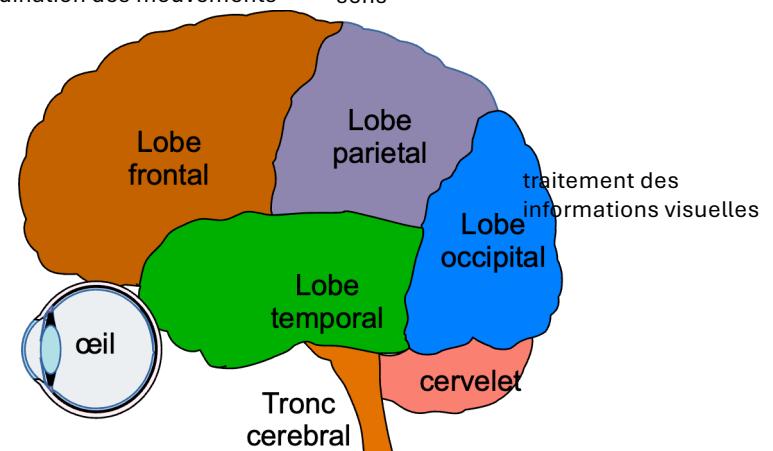
Construction de l'image



# Système visuel humain



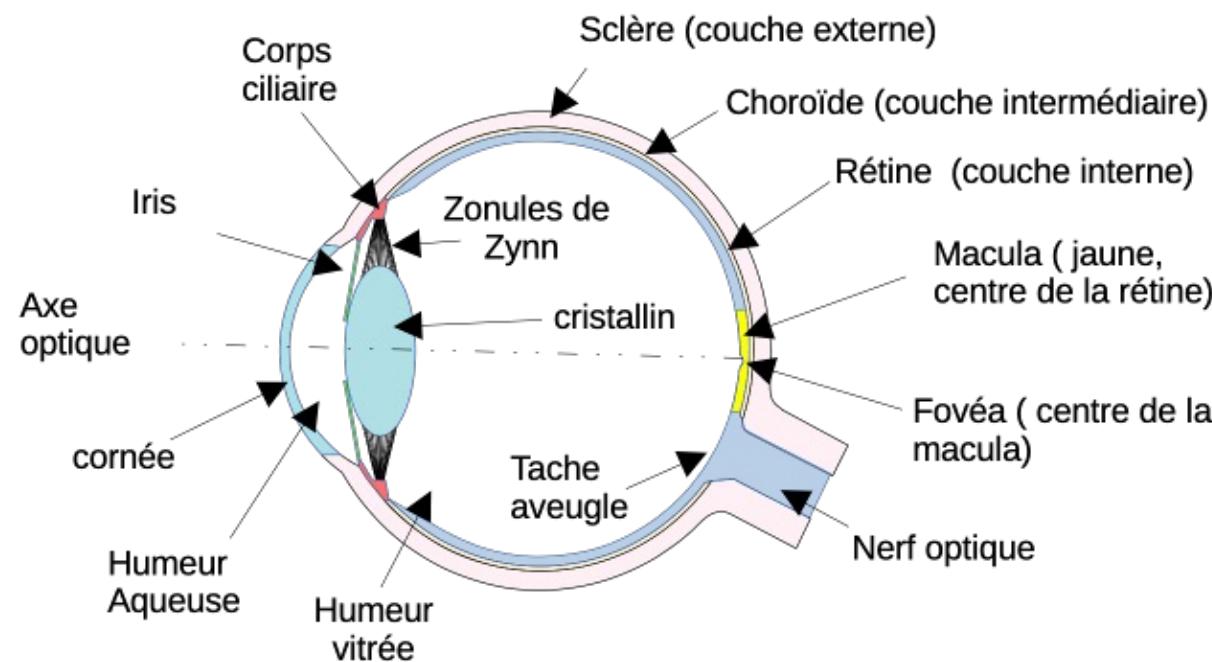
raisonnement,  
parole, coordination des mouvements  
volontaires.



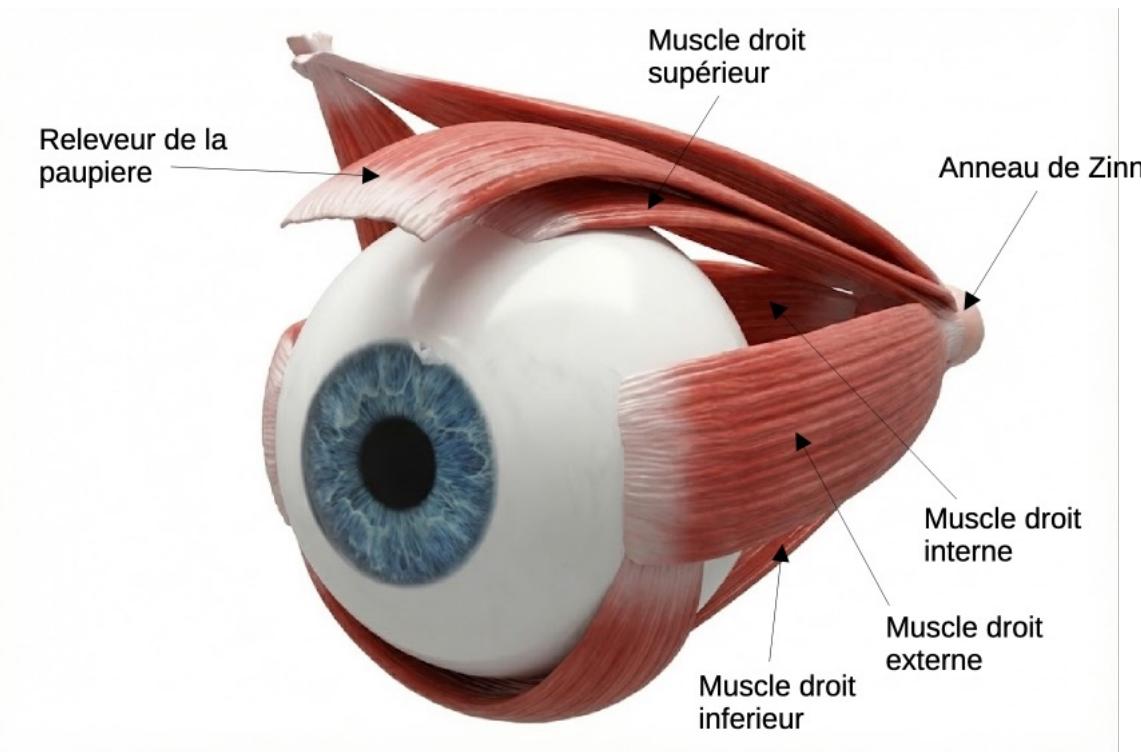
l'audition, de la vue, de  
l'odorat, de la mémoire et de  
l'émotivité.

coordination fine des  
mouvements volontaires,  
maintien de l'équilibre et de  
la posture.

# Capteur : anatomie de l'œil



# l'œil dans son orbite



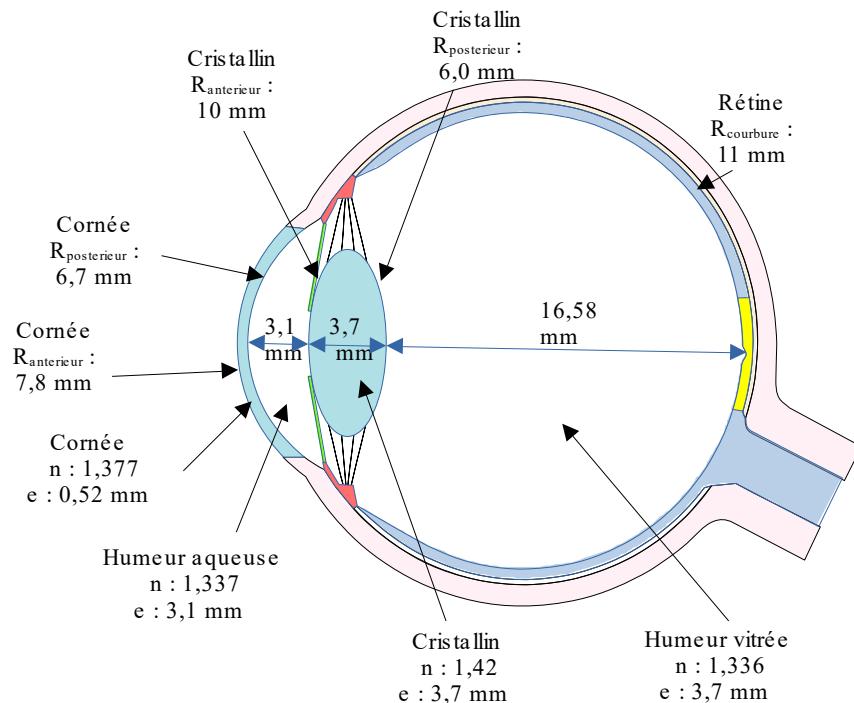
**L'œil est extrêmement mobile**

Six muscles agissent en permanence sur la position du globe oculaire dans l'orbite.

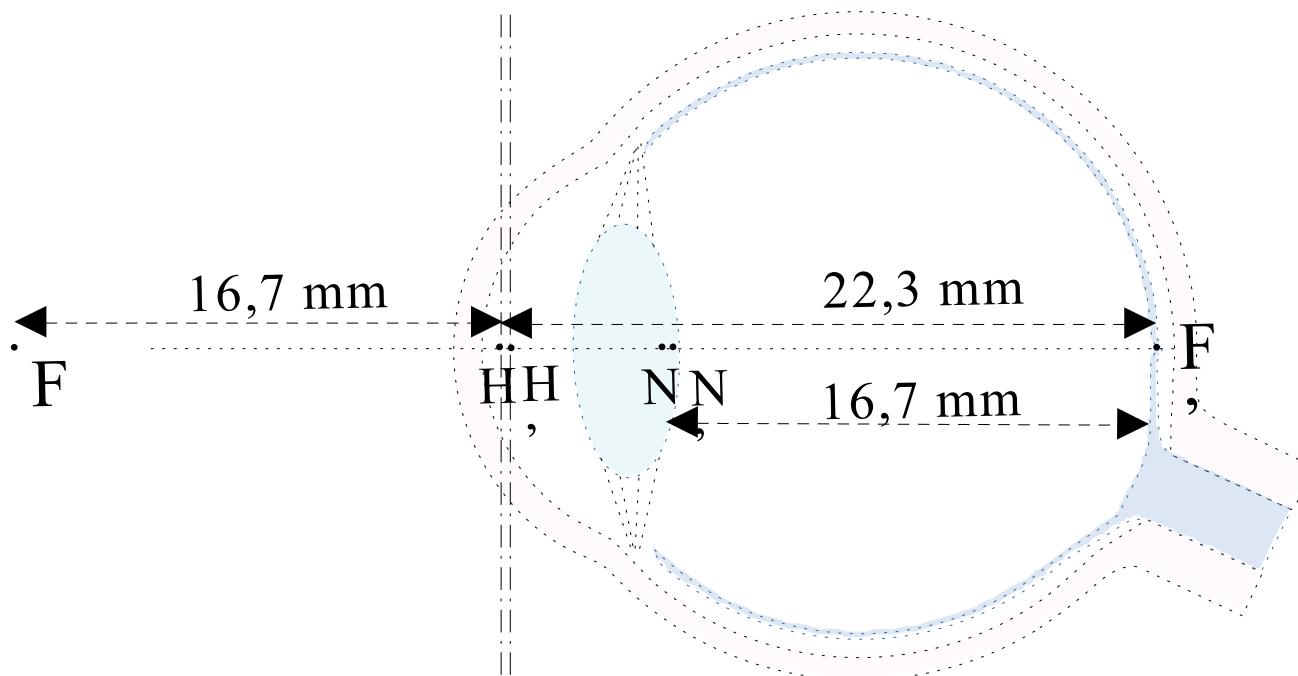
Ils sont commandés par les mécanismes oculomoteur

# Caractéristiques optiques du globe oculaire

- 

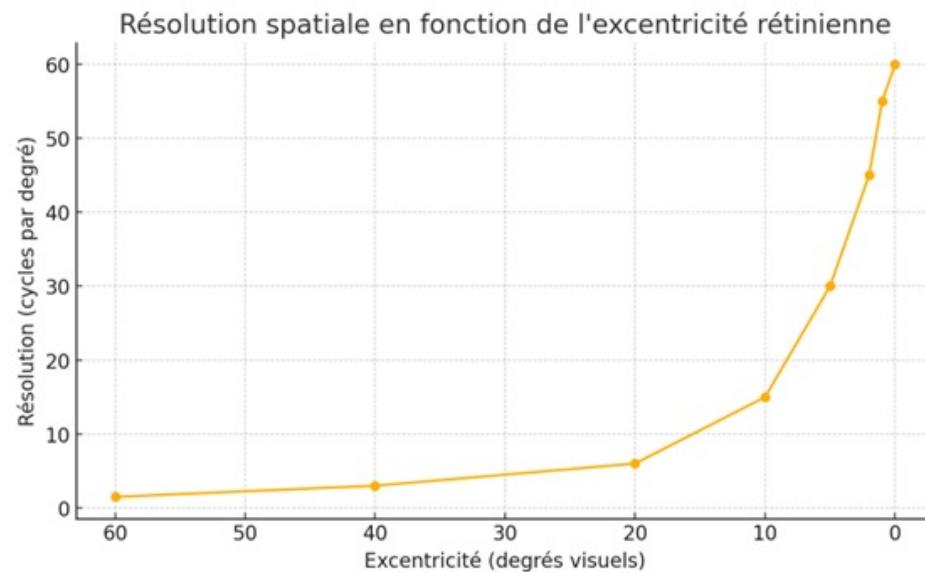


# modélisation du globe oculaire

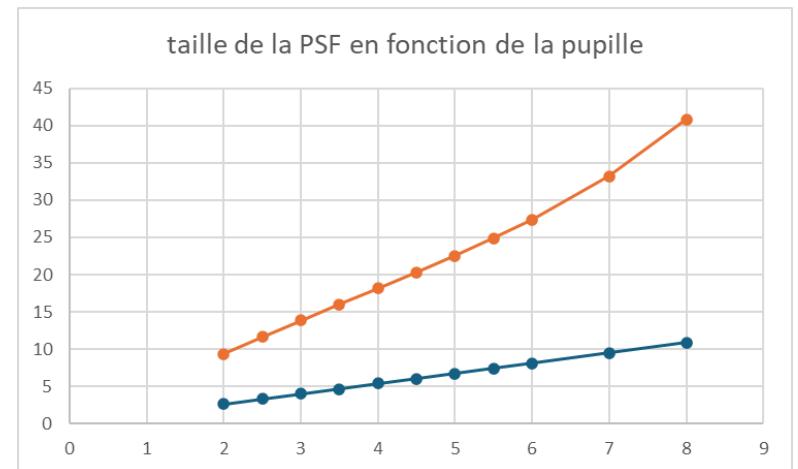


# Performances optiques

- Résolution selon l'angle de champ

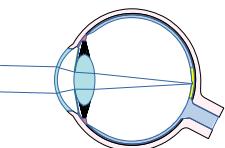


- Résolution selon l'ouverture de la pupille



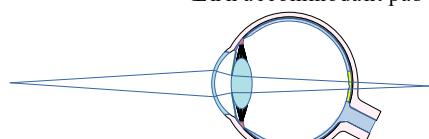
# accommodation

L'objet est à l'infini



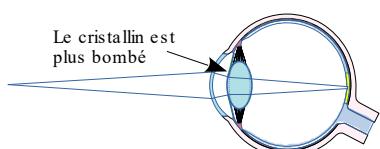
La fovéa est au point de convergence du faisceau

L'objet est proche  
Œil n'accommodant pas



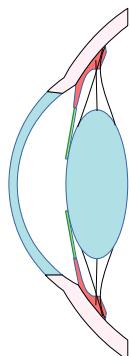
Le point de convergence du faisceau est au delà de la fovéa

L'objet est proche  
Œil accommodant



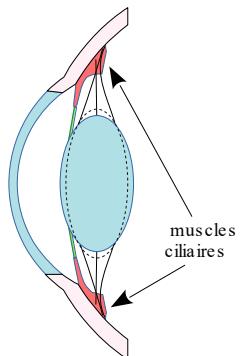
Le cristallin est plus bombé

Vision lointaine  
Pas d'accommodation



Sans action d'accommodation, le cristallin est moins bombé

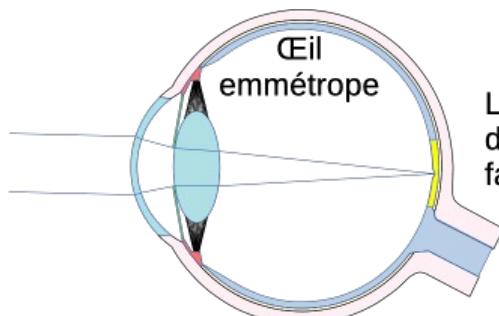
Vision proche  
accommodation



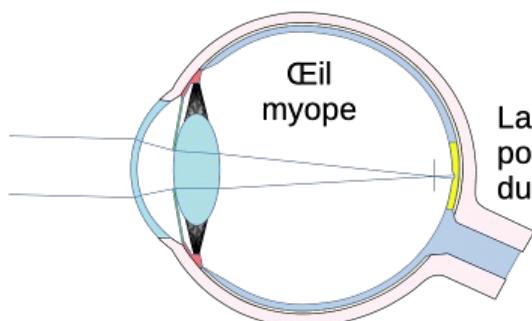
Sous l'action des muscles ciliaires le cristallin devient plus bombé

Âge	Amplitude moyenne (en dioptries)	Distance minimale nette (approx.)
10 ans	~14 D	7 cm
20 ans	~10 D	10 cm
30 ans	~7 D	14 cm
40 ans	~4,5 D	22 cm
45 ans	~3,5 D	28 cm
50 ans	~2,5 D	40 cm
55 ans	~1,5 D	67 cm
60 ans	~1,0 D	1 m
65+ ans	~0,5 D ou moins	>2 m

# myopie



La fovéa est au point de convergence du faisceau

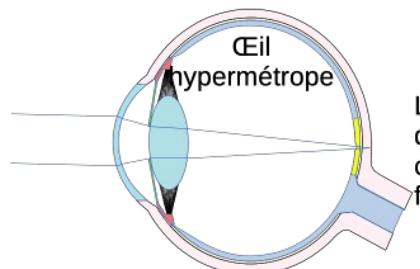
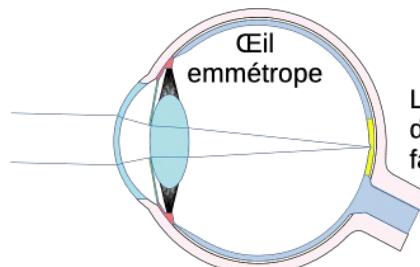


La fovéa est au-delà du point de convergence du faisceau

la fovéa se situe après le point de convergence du faisceau de lumière issu d'un point lointain. du fait de la forme plus allongée du globe oculaire, les personnes myopes peuvent être plus facilement victimes de décollement de la rétine.

la correction peut se faire par lunette, par verre de contact, ou par chirurgie modifiant la forme de la cornée.

# hypermétrie



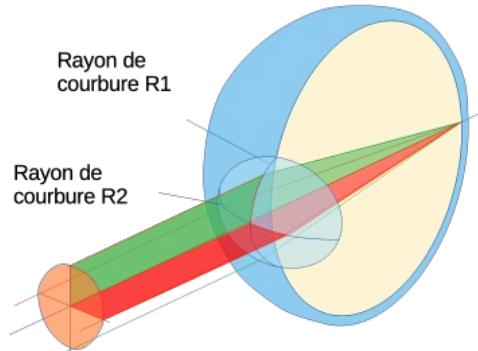
la fovéa se situe avant le point de convergence du faisceau de lumière issu d'un point lointain.

la correction peut se faire par lunette, par verre de contact, ou par chirurgie modifiant la forme de la cornée.

# Astigmatisme

## Œil sans astigmatisme

Œil sans astigmatisme. Les deux rayons de courbure R1 et R2 sont égaux

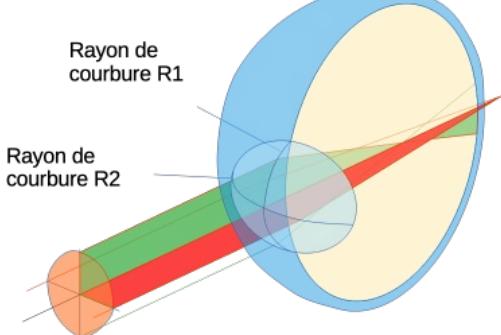


L'astigmatisme dans l'axe est un défaut de la vision causé par le fait qu'un des dioptres de la cornée ou du cristallin est ellipsoïdal au lieu d'être sphérique. C'est ce qui empêche les rayons lumineux de converger en un point unique sur la rétine.

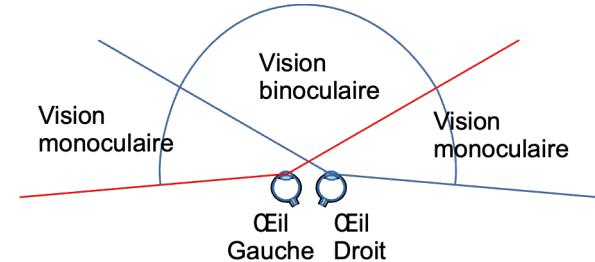
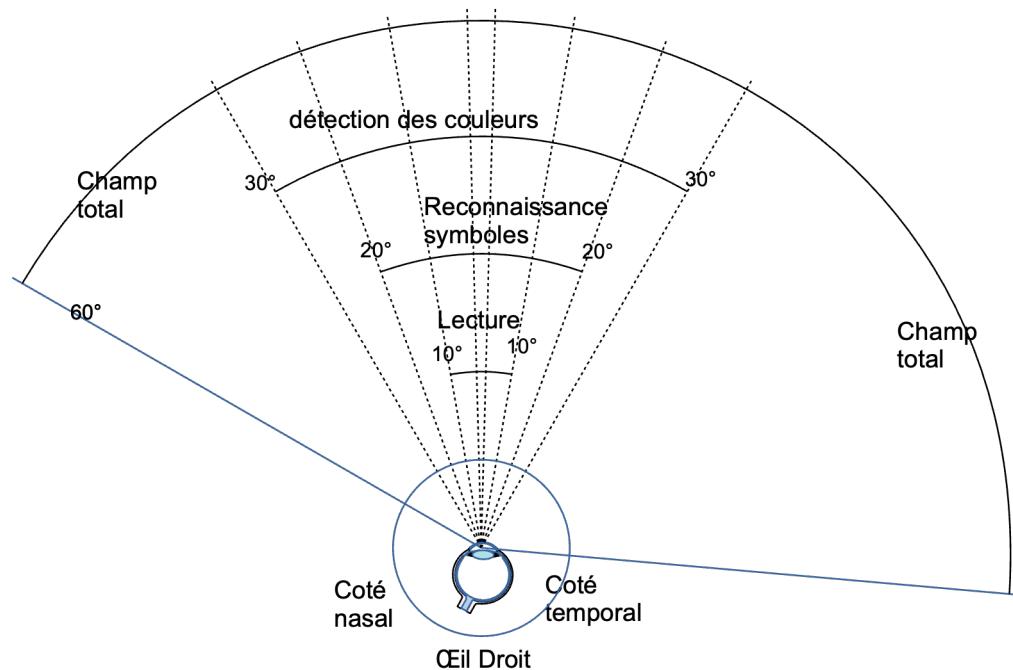
La correction peut se faire par lunette, par verre de contact, ou par chirurgie modifiant la forme de la cornée.

## Œil astigmate

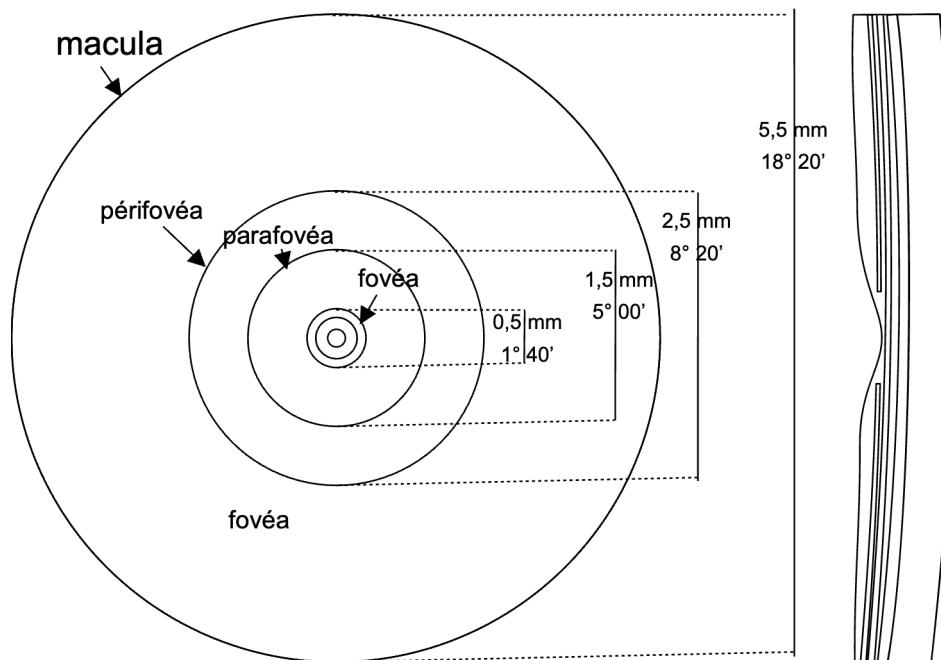
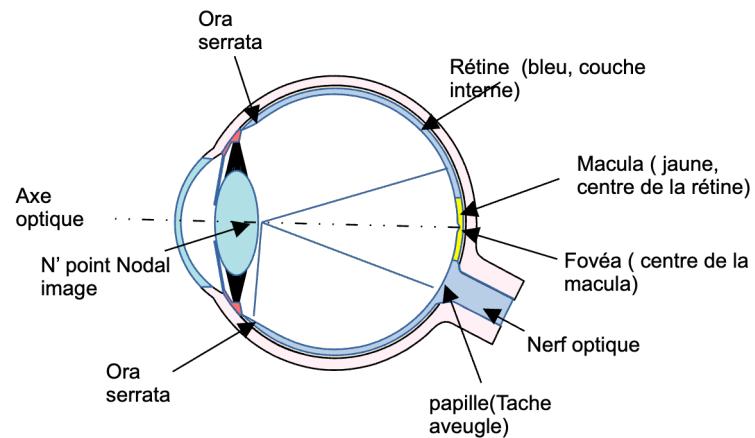
Œil astigmate. Les deux rayons de courbure R1 et R2 sont différents. Ici R1 (vertical) < R2 (horizontal)



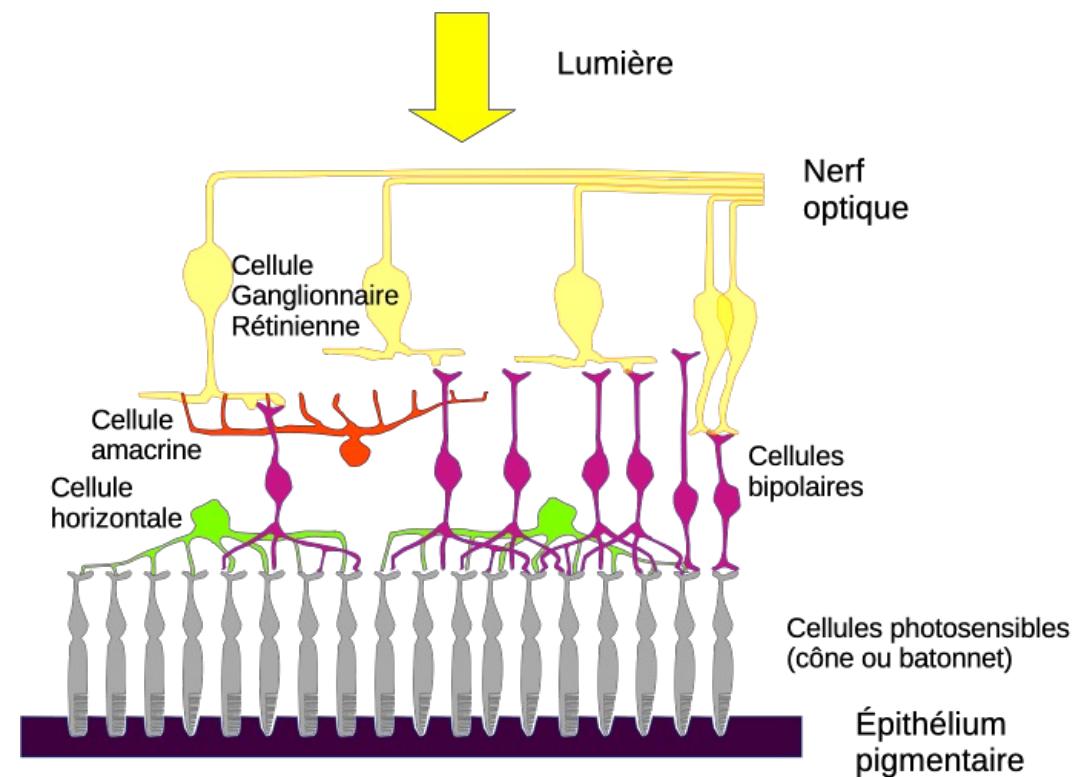
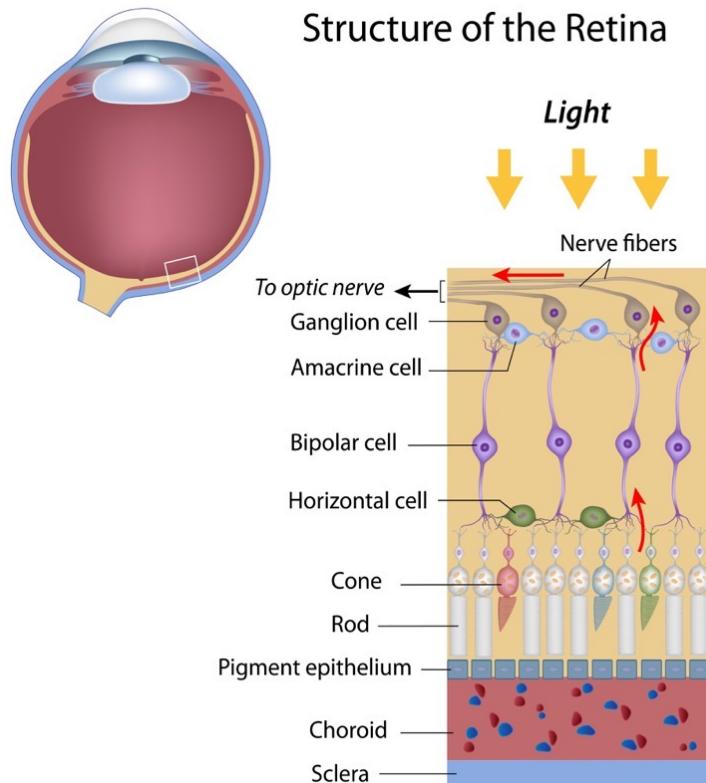
# Les champs visuels



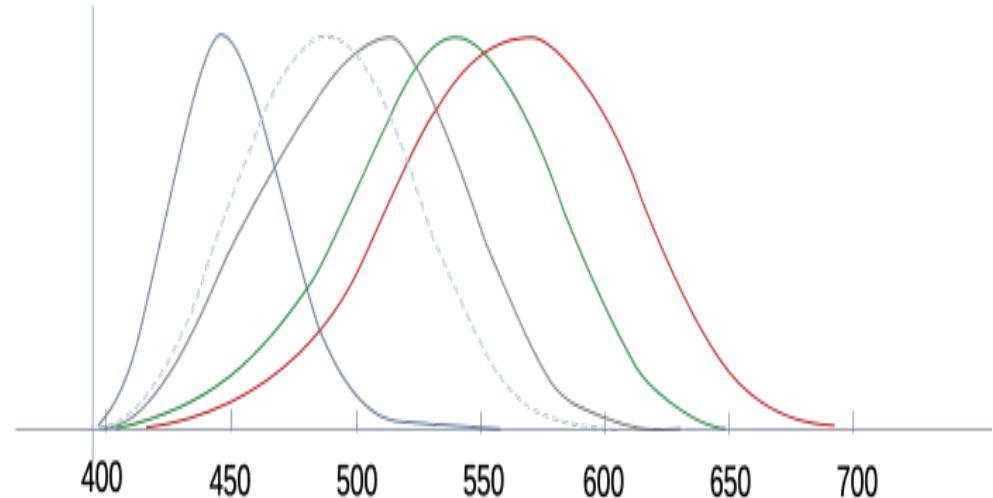
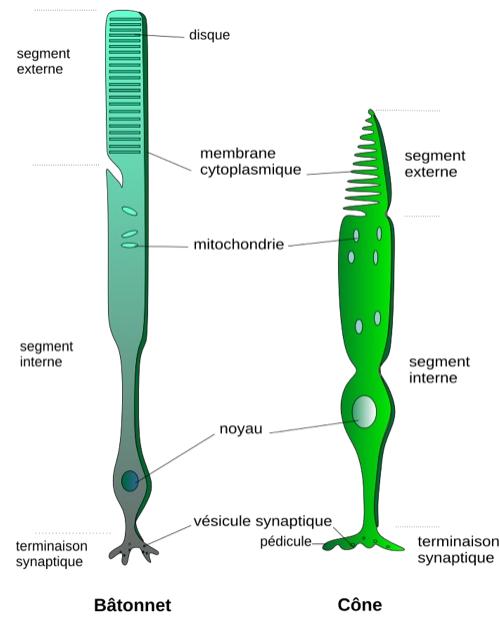
# Anatomie rétine



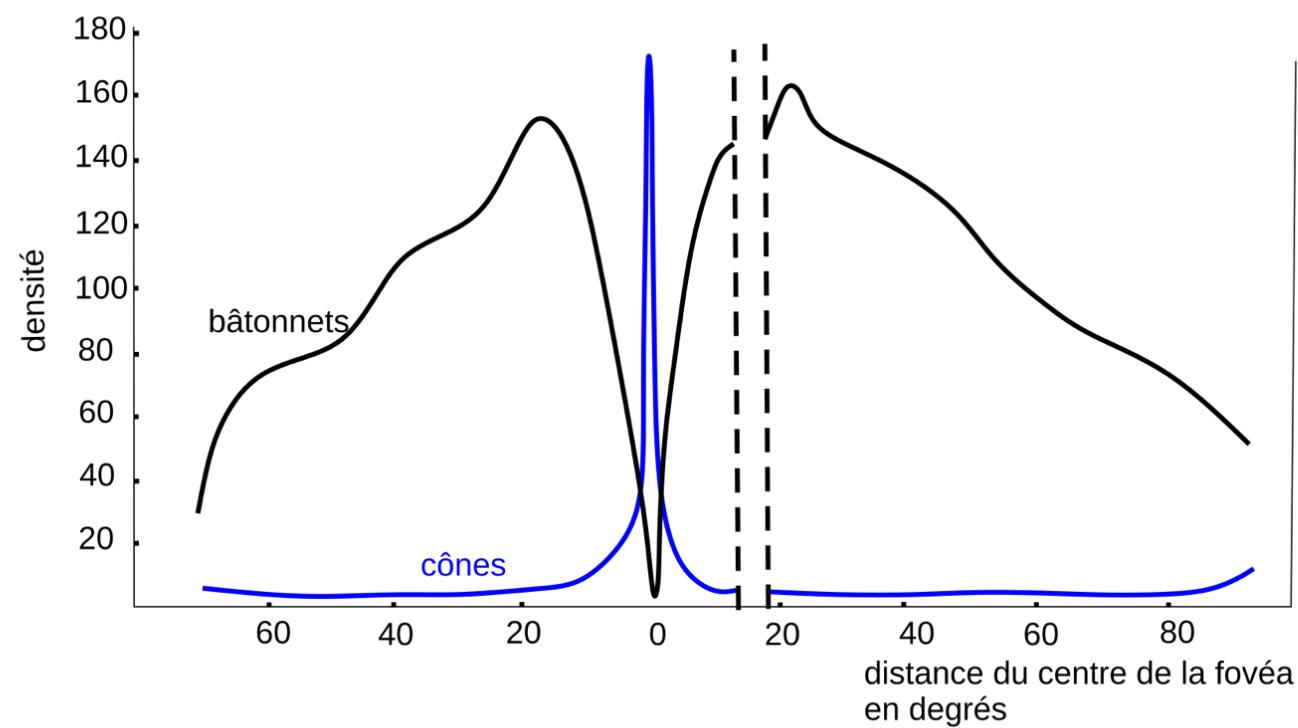
# Anatomie rétine



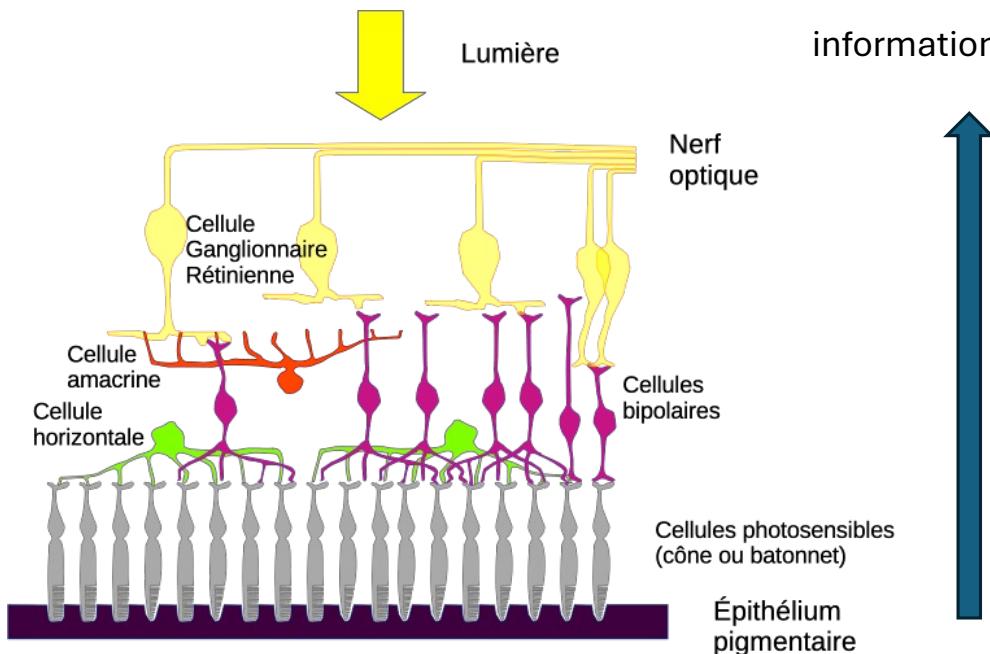
# Cellules photosensibles : cônes et bâtonnets



## Répartition cellules dans la rétine



# Rôle des cellules rétinien

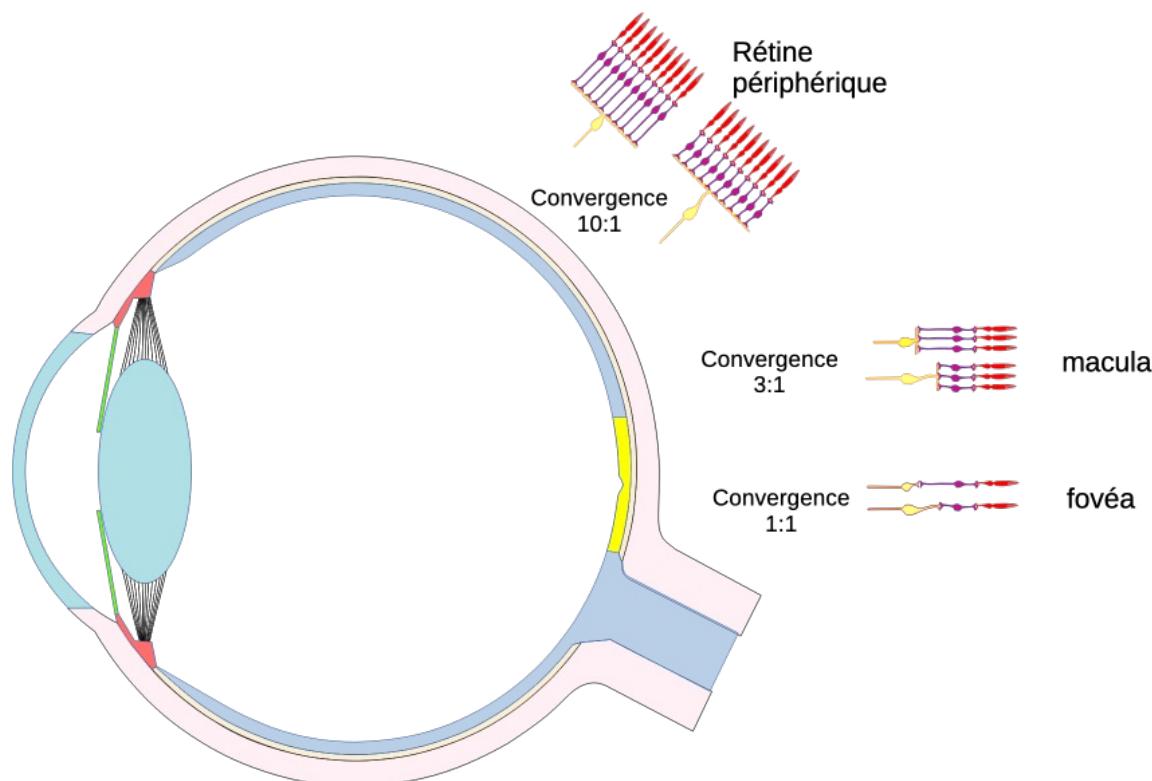


- Cellules Ganglionnées rétinien
- Tri et transmission de l'information
- Cellules amacrines
  - Modulation de l'information sur des critères de variation temporelle
- Cellules bipolaires
  - Transmission de l'information de la couche photosensible vers la couche des CGR
- Cellules horizontales
  - Inhibition latérale ou non. Détection des contours.
- Cellules photosensibles
  - Capteur lumière et transformation en information nerveuse

# Les différents types de CGR

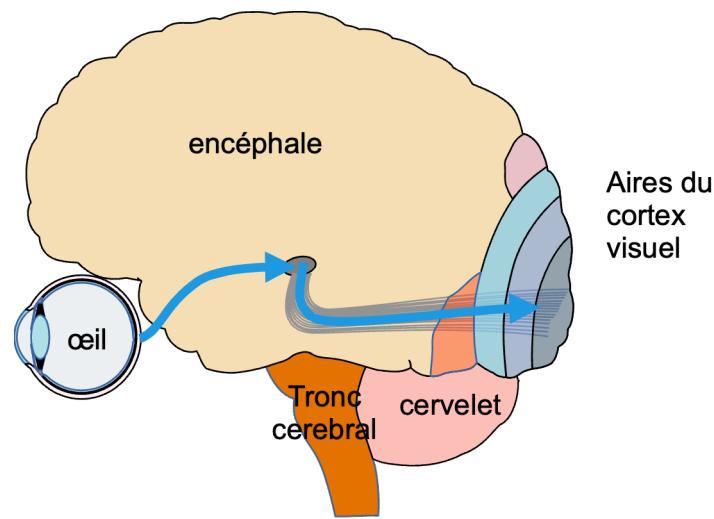
- A chaque type de CGR est associé une fonction
  - CGR midget (naine)
    - Voie parvo cellulaire détection des détails fins, contraste rouge-vert
  - CGR Parasol
    - Voie magno cellulaires très impliquées dans la détection de mouvement (voie M)
  - CGR Bistratifiées
    - Voie Konio cellulaire contraste jaune bleu sélectivité des couleurs
  - CGR intrinsèquement photosensibles
    - Détection de la quantité de lumière cycle circadien, reflexe pupillaire. Une petite partie adresse le cortex visuel, pour amener l'information de luminosité
  - CGR directionnels
    - Suivi du regard
  - Etc... il existe une vingtaine de types de CGR

# CGR convergence

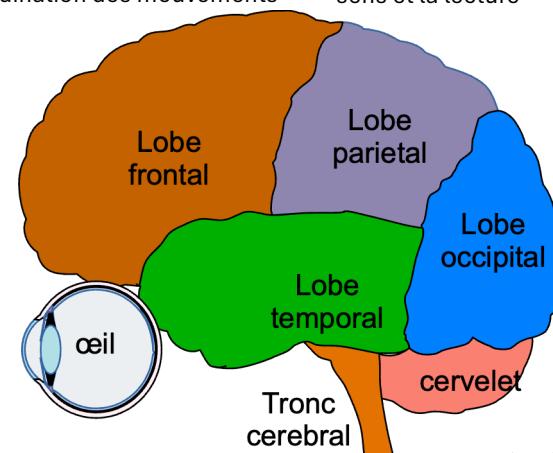


La variation de convergence entre la fovéa et la rétine périphérique induit une différence de résolution selon la zone de la rétine considérée

# Système visuel humain



raisonnement,  
parole, coordination des mouvements  
volontaires.

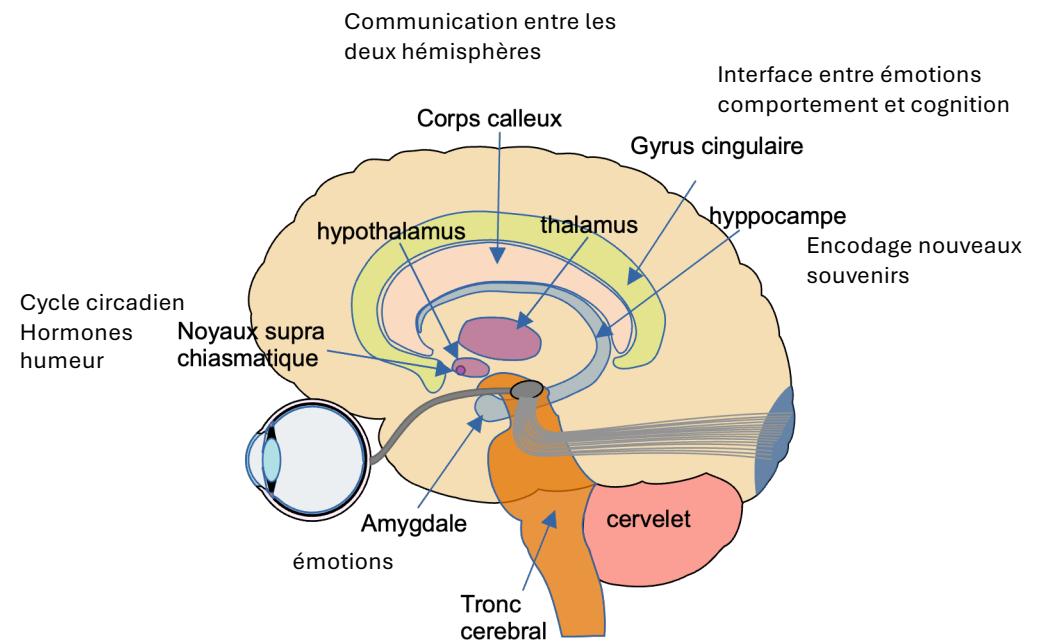
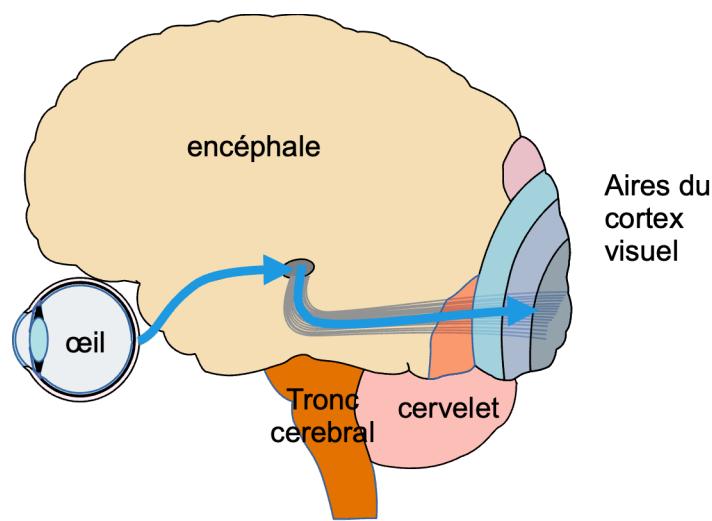


l'audition, de la vue, de  
l'odorat, de la mémoire et de  
l'émotivité.

conscience du  
corps, le repérage  
dans l'espace, les  
sens et la lecture

coordination fine des  
mouvements volontaires,  
maintien de l'équilibre et de  
la posture.

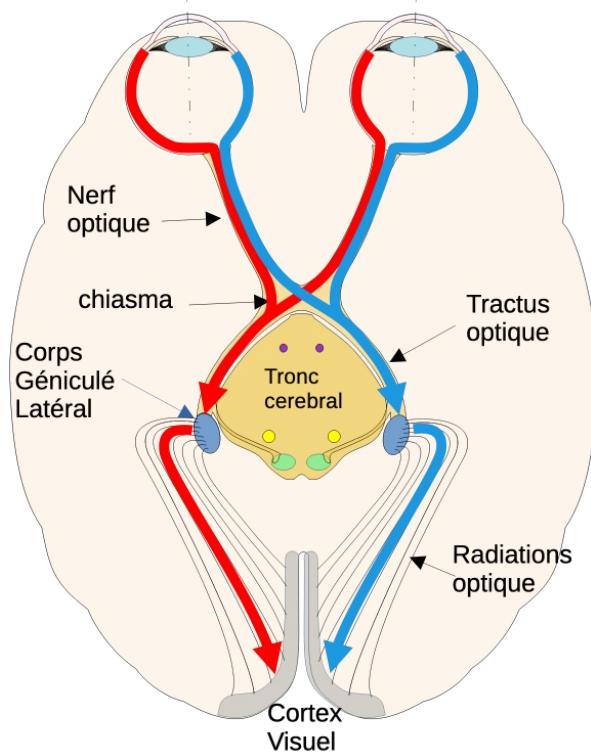
# Système visuel humain



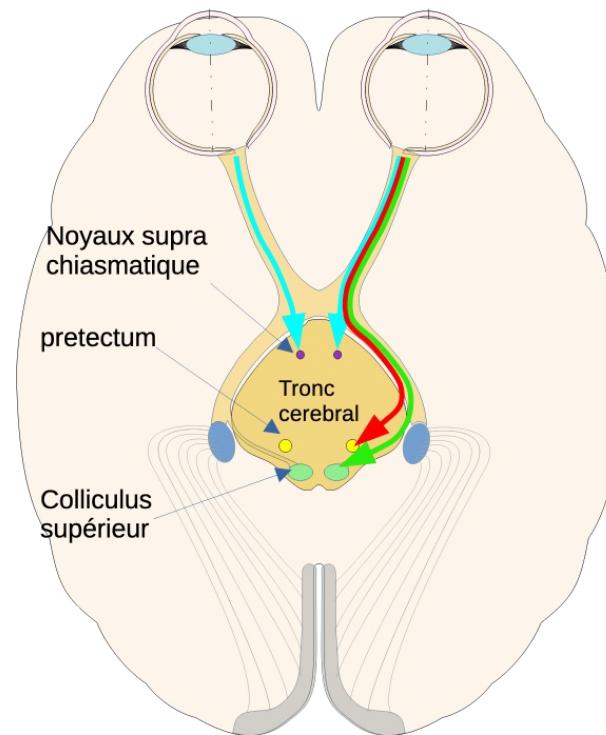
# Les voies visuelles

## Voies visuelles principales

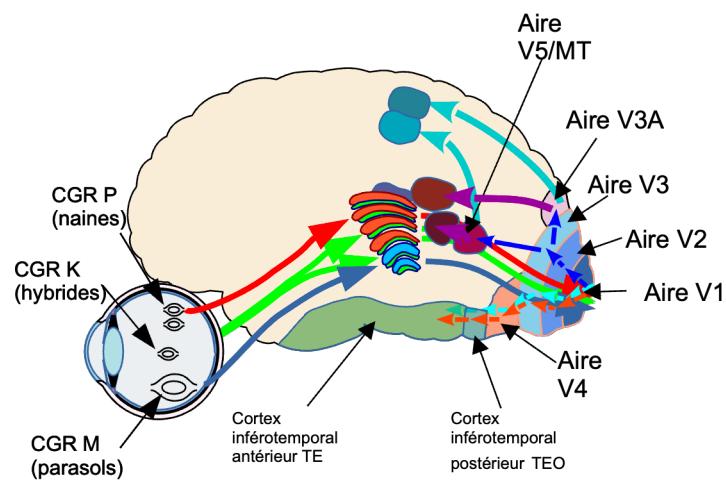
### Formation des images



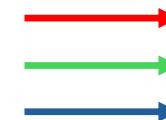
Voies visuelles secondaires  
Voies visuelles non imageantes



# Circuit global de formation des images



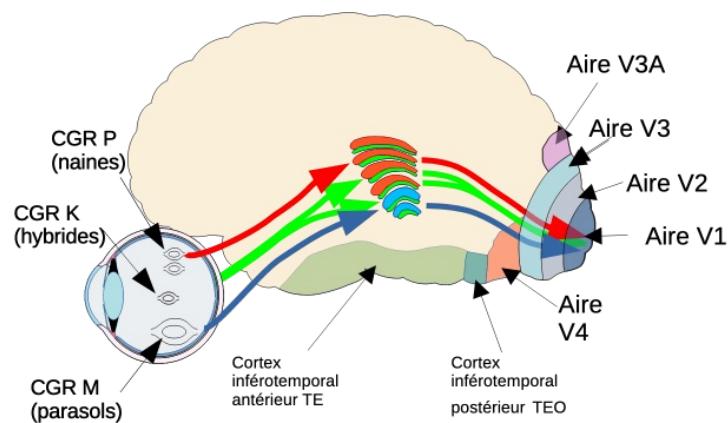
Trajet œil Cortex trois voies  
Voies P (Parvo cellulaire)  
Voies K (Konio cellulaire)  
Voie M (Magno cellulaire)



Traitement des informations dans le cortex trois voies

- Traitement formes fines, détail
- Traitement couleur
- Traitement des mouvements

# De la rétine au cortex



Trajet œil Cortex trois voies

Voies P (Parvo cellulaire)

Voies K (Konio cellulaire)

Voie M (Magno cellulaire)

Prétraitement de la rétine

Aiguillage latéral dans le chiasma

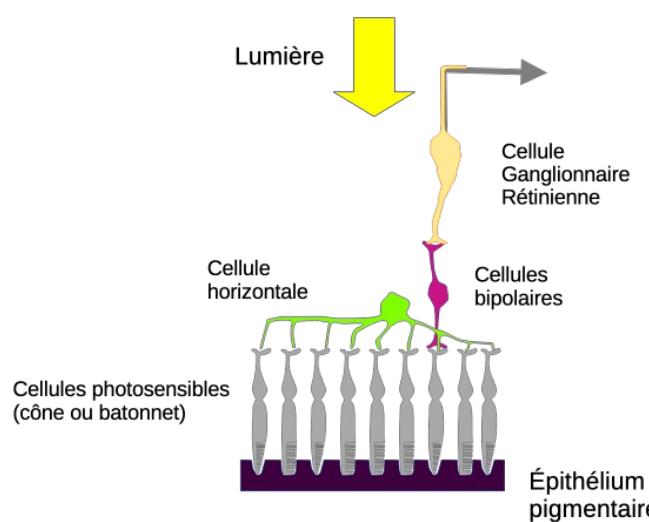
Tri de l'information par les CGL

# Traitement des informations par le cortex

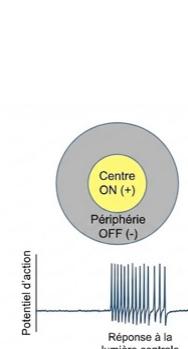


## Traitements rétinien : détection des variations

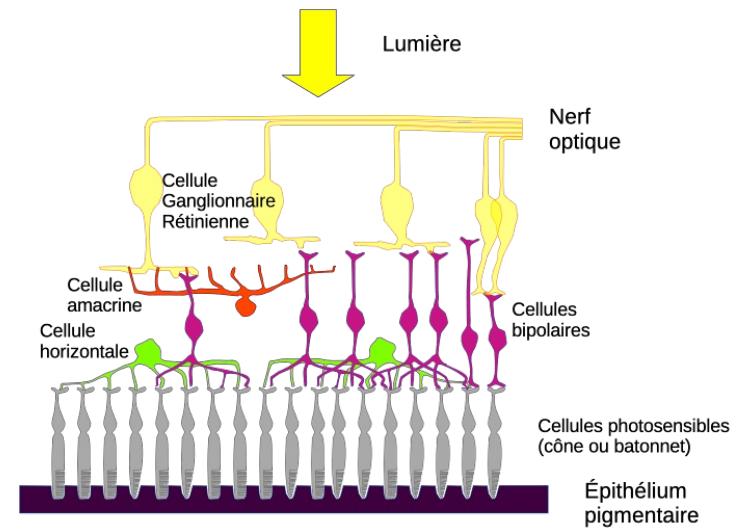
Cellules horizontales



Cellules bipolaires



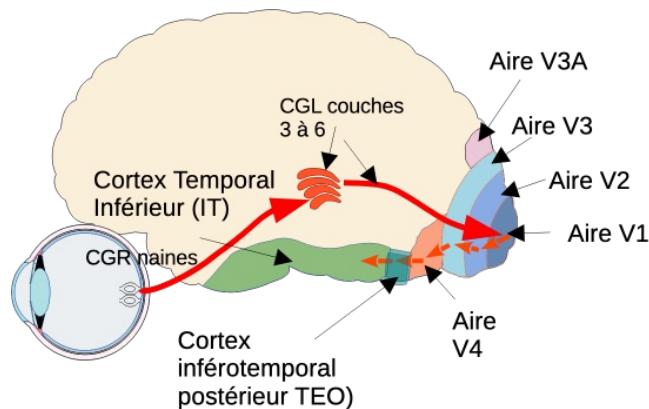
Cellules amacrines



Comparaison centre-péphérie  
Détections des variations dans l'espace

Comparaison temporelle et spatiale  
Détections des variations dans le temps

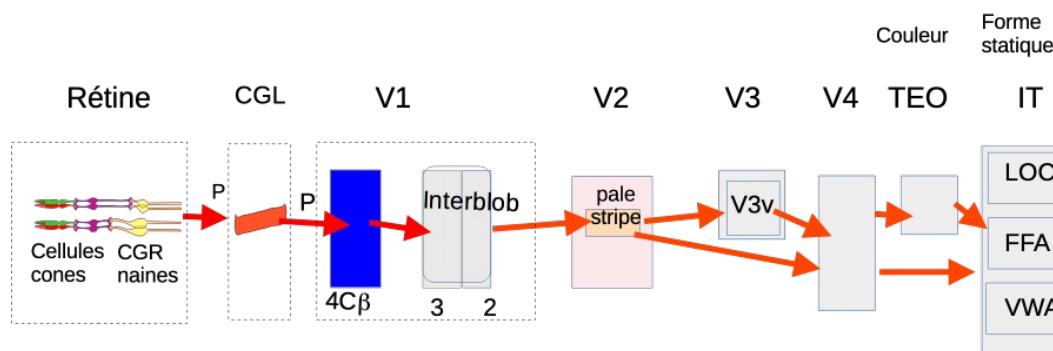
# Construction des formes par le cortex



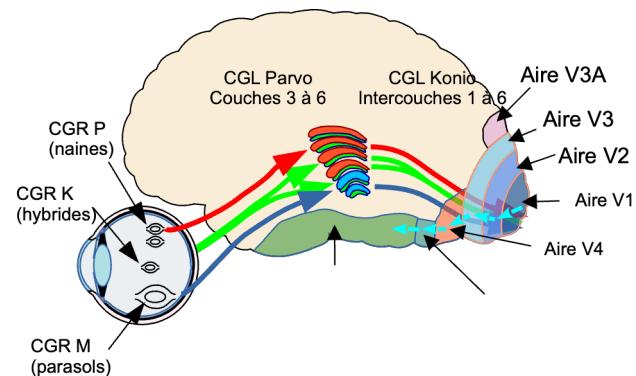
## Cortex Visuel (principalement V1, V2 et V4) :

Les signaux d'opposition de couleurs et de luminance voyagent du nerf optique au **noyau géniculé latéral (NGL)** du thalamus, puis sont projetés vers le **cortex visuel primaire (V1)** et d'autres aires corticales.

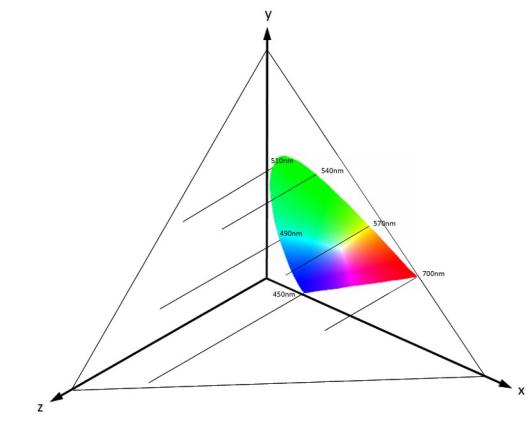
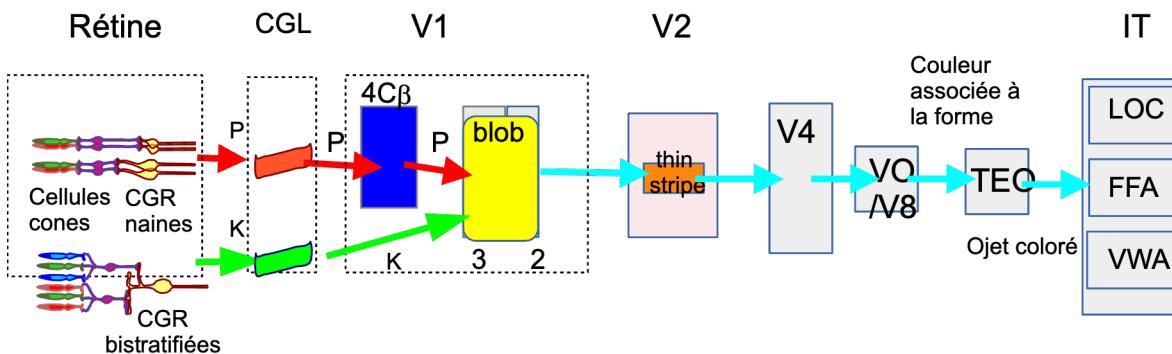
Dans le **cortex visuel**, ces signaux sont encore traités, interprétés et intégrés avec d'autres informations visuelles (forme, mouvement, contexte, mémoire) pour construire notre perception consciente de la couleur. Des aires comme **V4** sont souvent citées comme étant particulièrement importantes pour le traitement de la couleur et la constance des couleurs.



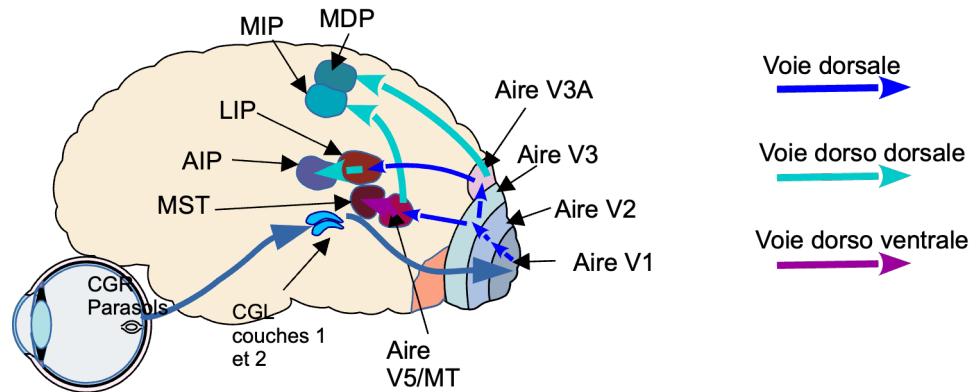
# Perception des couleurs



Les signaux d'opposition de couleurs et de luminance voyagent du nerf optique au noyau géniculé latéral (NGL) du thalamus, Les signaux sont ensuite projetés vers le cortex visuel primaire (V1) et d'autres aires corticales. À partir de l'aire V4 le cerveau construit une perception possédant un attribut de couleur, puis le CIT construit ensuite des objets possédant des attributs de couleurs

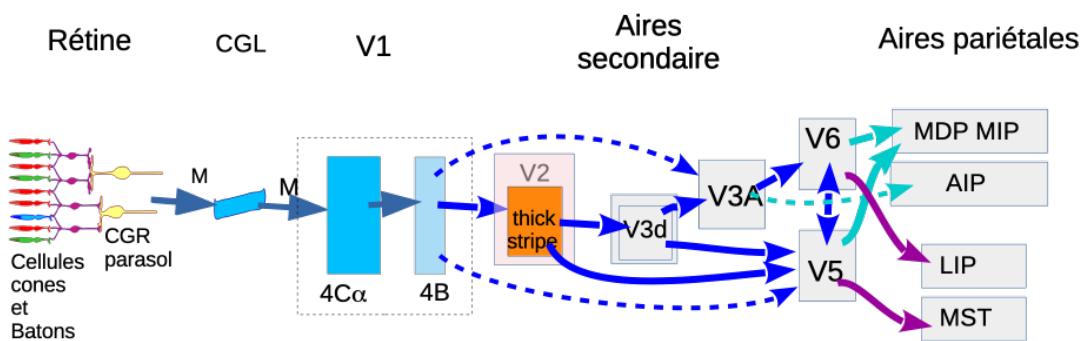


# Vision des mouvements

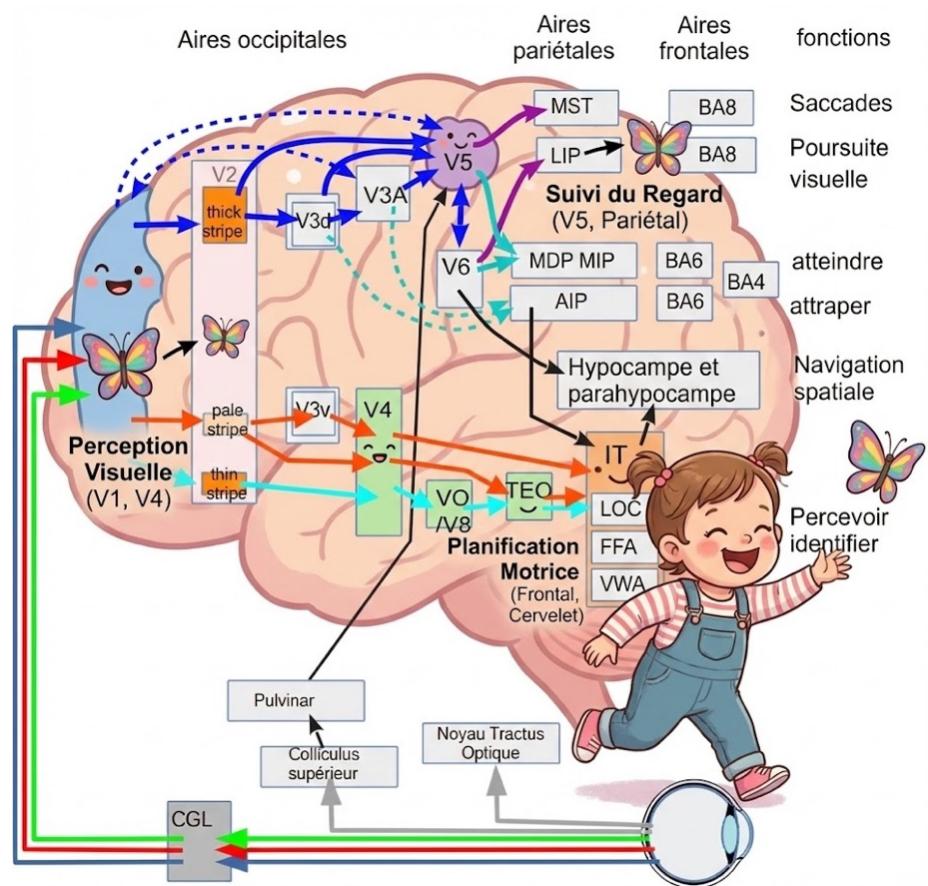
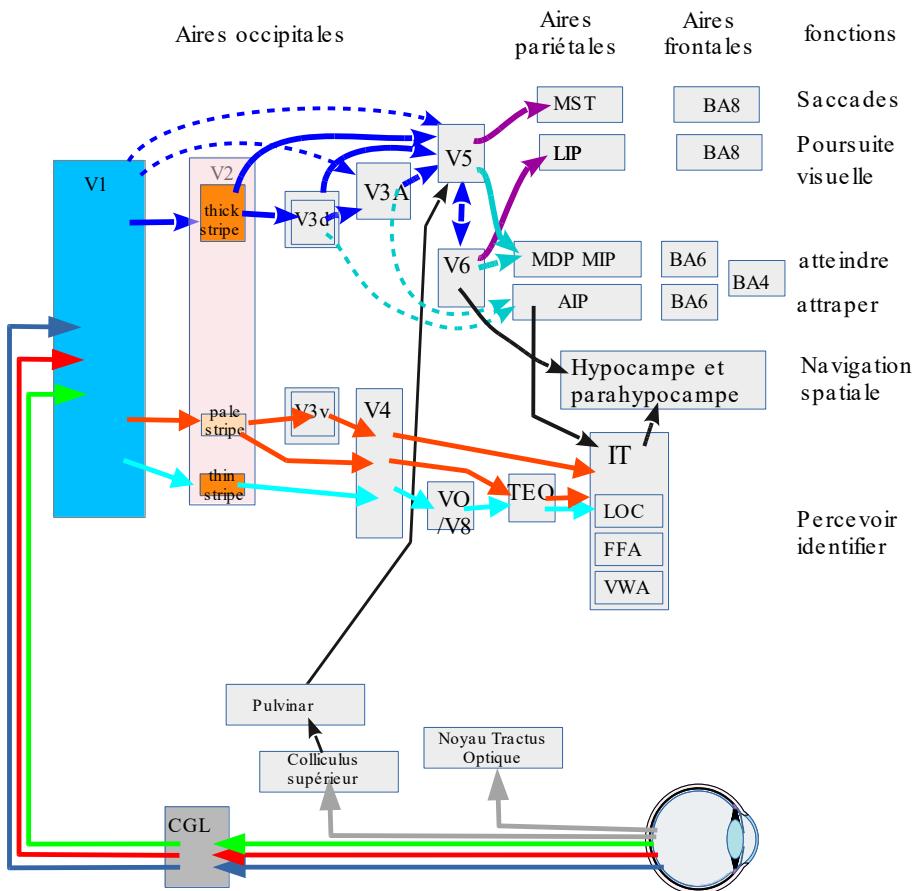


**Rétine :** Les CGR parasol de la voie M détecte en priorité les mouvements

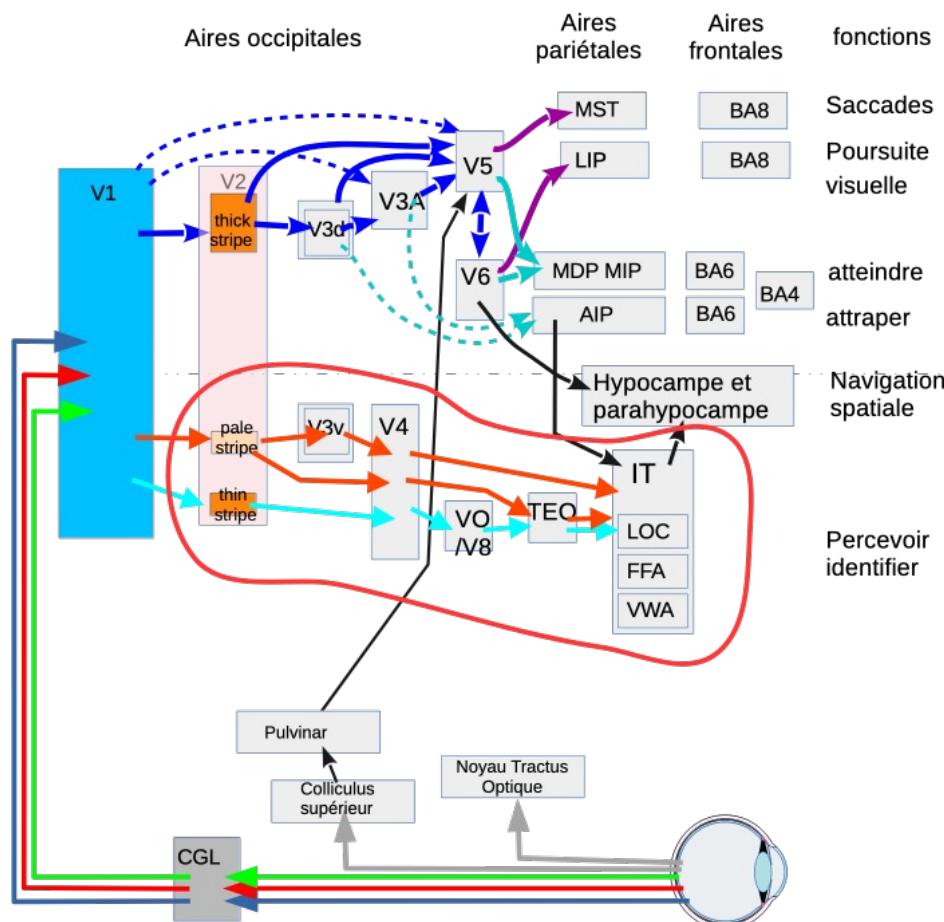
**cortex :** les mouvements sont traités et séparés en deux voies  
 Le voie dorso dorsale (suivi visuel et positionnement)  
 La voie dorso ventrale (préhension, coordination motrice)



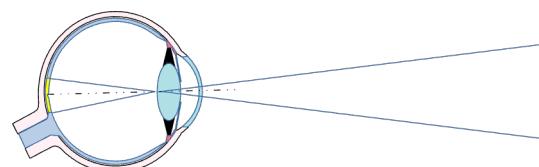
# Synthèse : un enfant court après un papillon



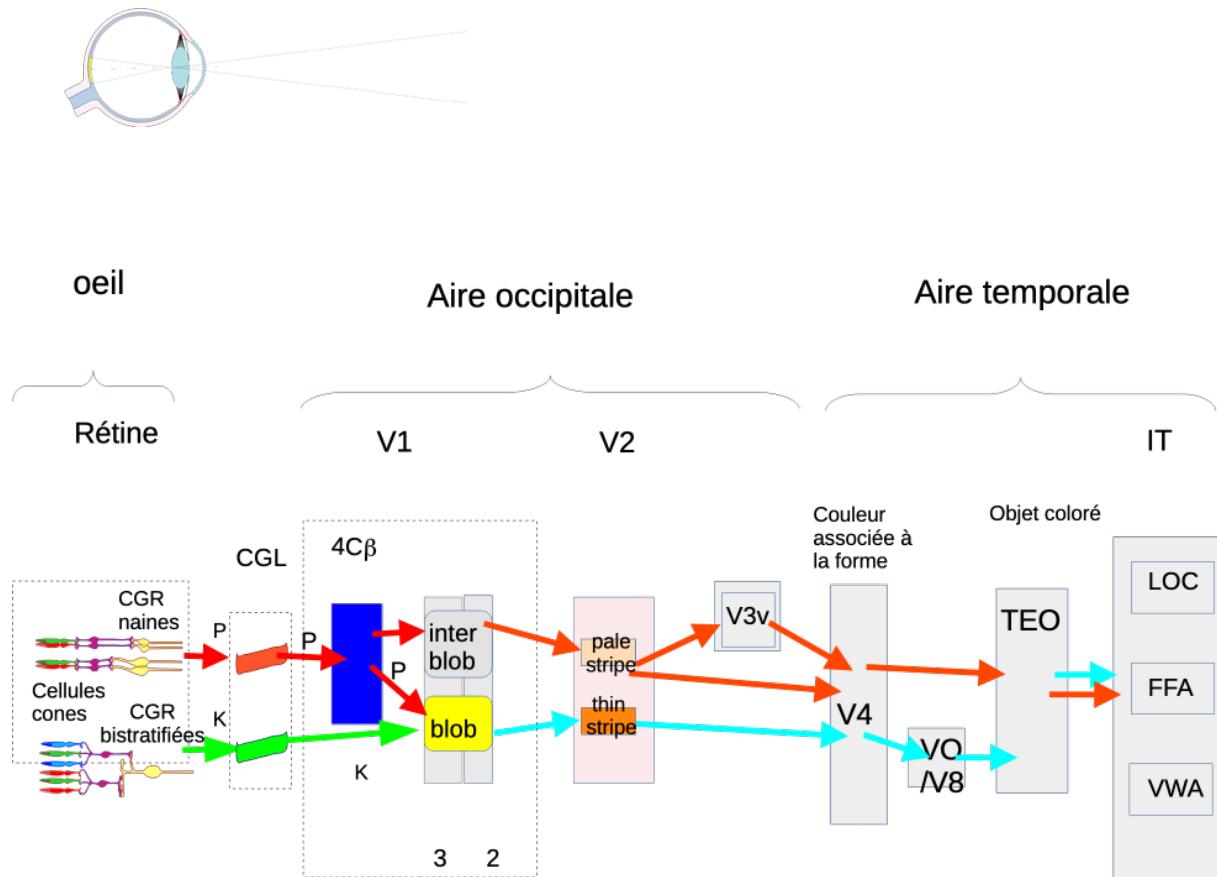
## Vision d'attention



Vision centrée sur les formes fines et les détails  
Voie ventrale passant par l'aire V4  
Provenance des CGR P et K  
Prédominance de la macula comme source d'informations

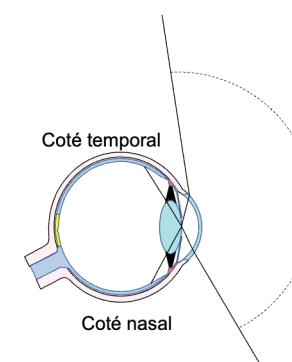
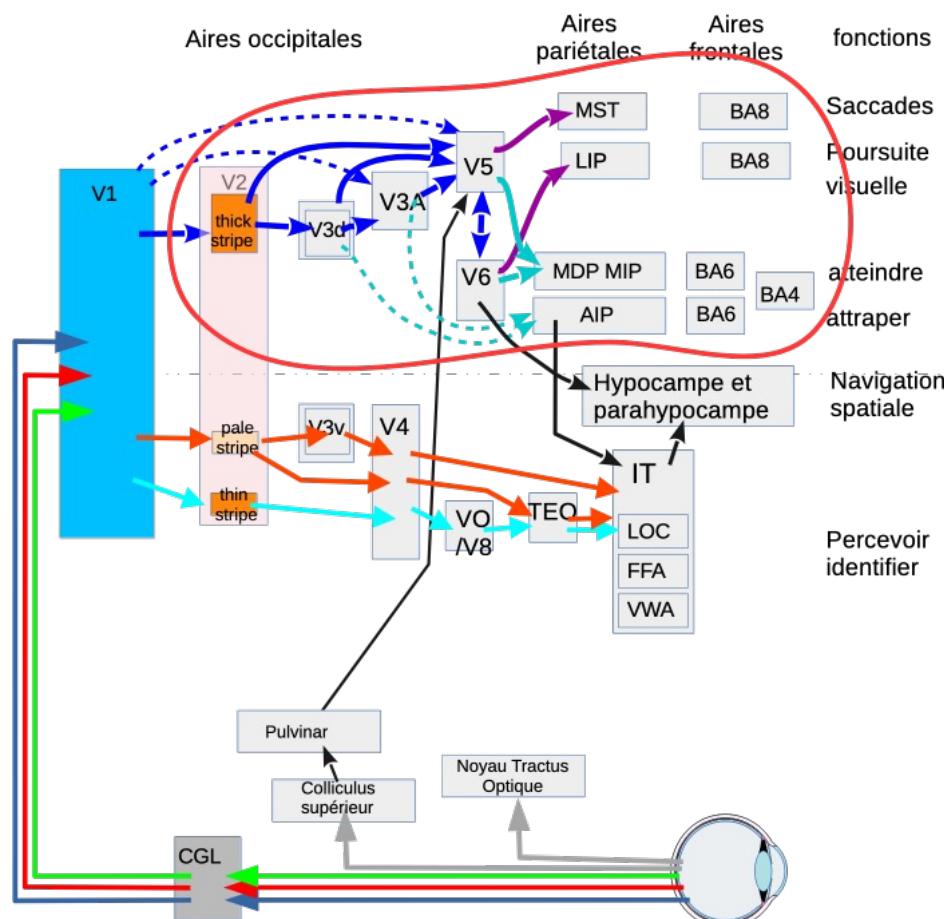


# Vision d'attention



Vision centrée sur les formes fines et les détails  
 Voie ventrale passant par l'aire V4  
 Provenance des CGR P et K  
 Prédominance de la macula comme source d'informations

# Vision d'alerte



Vision centrée sur les formes en mouvement  
Prédominance de la rétine périphérique même si il prend ses informations dans la macula. Pas de présence dans la fovéa

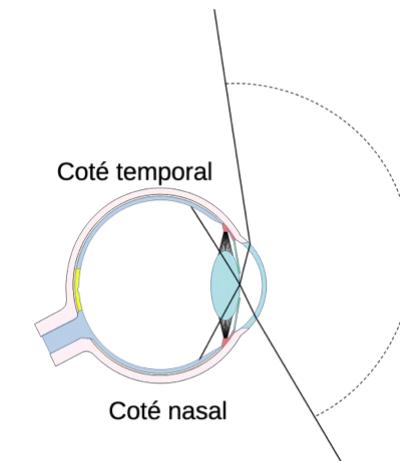
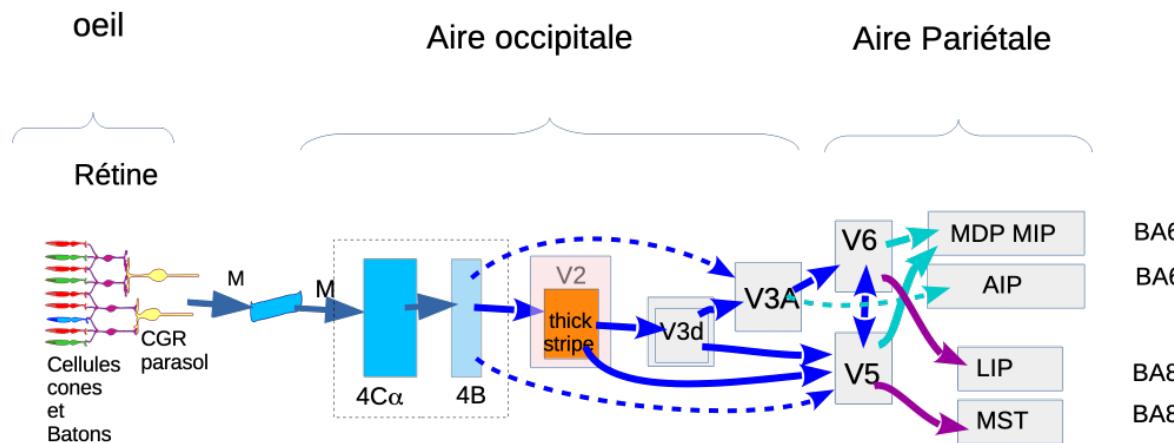
# Vision d'alerte

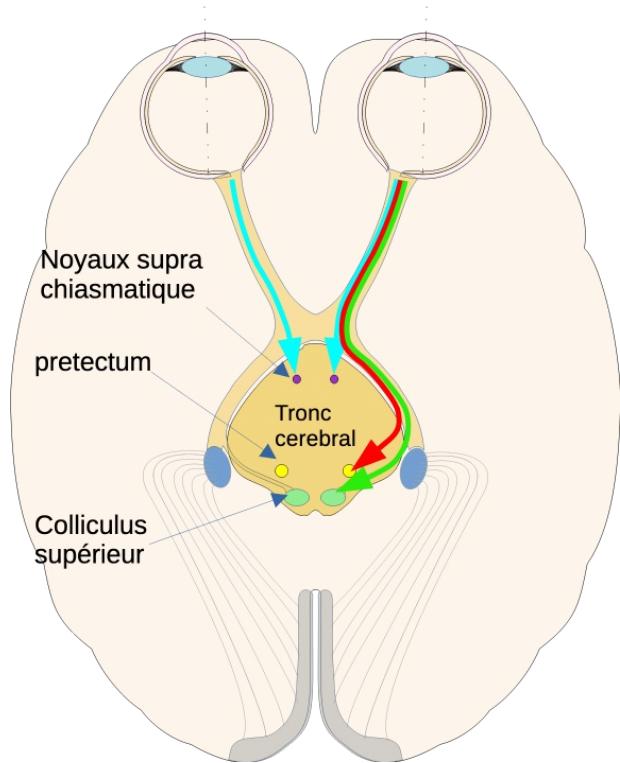
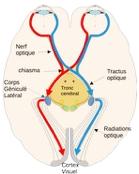
Vision centrée sur les formes grossières en mouvement

Voie dorsale passant par l'aire V/MT

Provenance des CGR M

Prédominance de la rétine périphérique même si il prend ses informations dans la macula. Pas de présence dans la fovéa





## Voies secondaires

- **Voie rétino hypothalamique**

- Cycle circadien
- Régulation sommeil
- hormones



- **Voie rétino préTECTale**

- Fermeture de la pupille

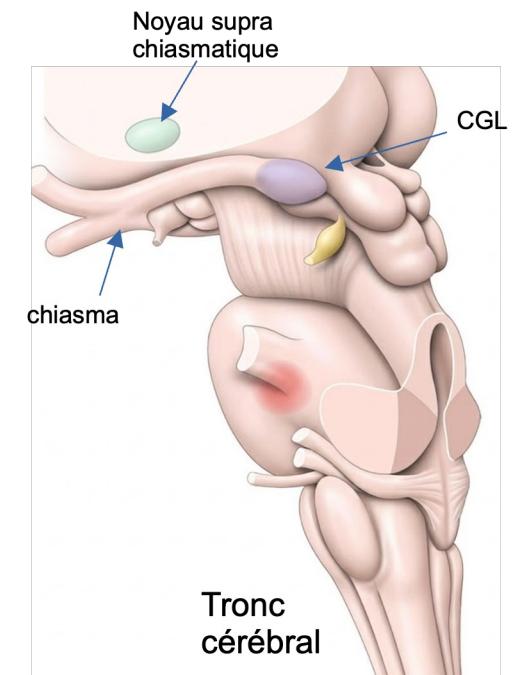
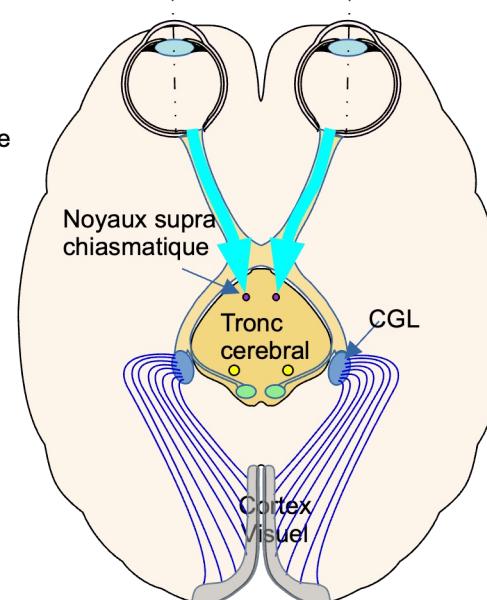
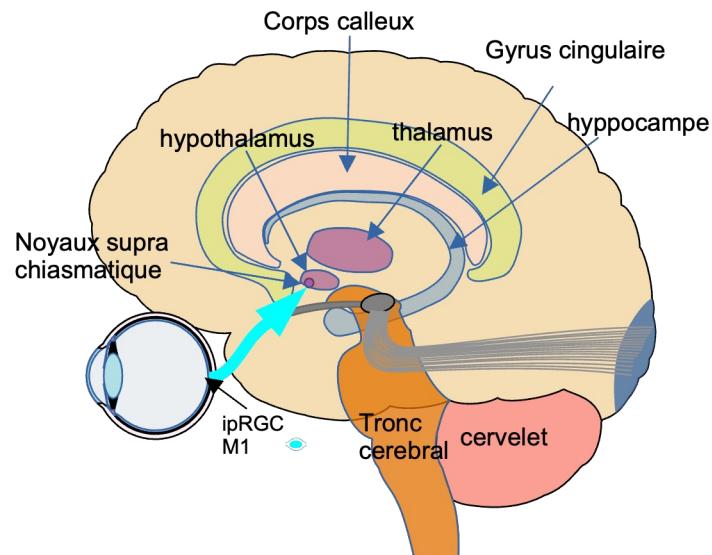


- **Voies du suivi oculomoteur**

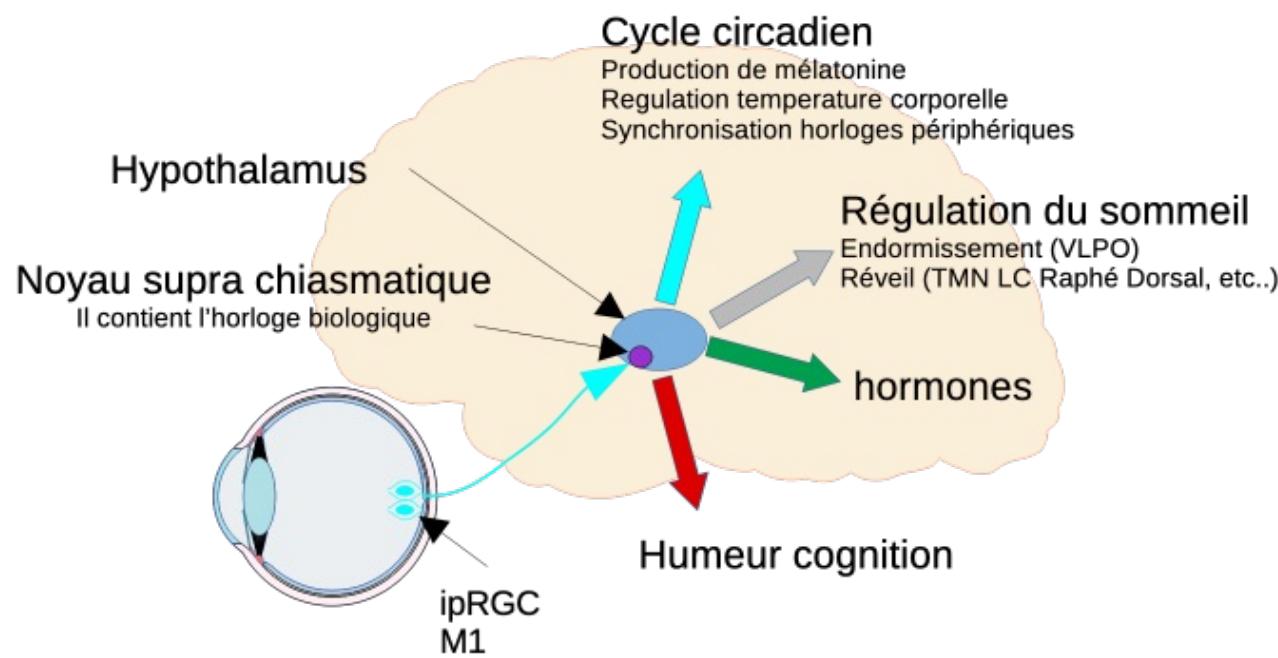
- Voie rétino colliculaire : dirige le regard vers un stimulus visuel nouveau ou soudain.
- Voie optokinétique : stabilisation du regard pour des mouvements lents.
- Voie rétino vestibulaire :stabilisation du regard pour des mouvements rapides.



# Voie rétino hypothalamique

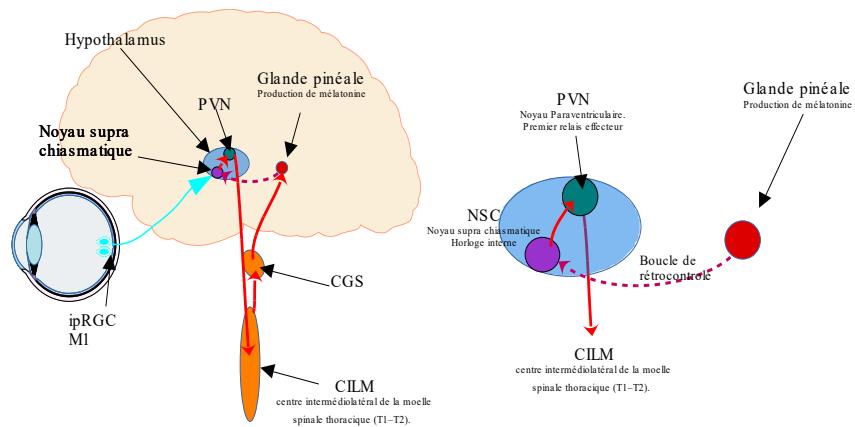


# Voie rétino hypothalamique



# Cycle circadien

Le cycle circadien est un rythme biologique d'environ 24 heures, régulé par une horloge centrale située dans les noyaux suprachiasmatiques (NSC) de l'hypothalamus.



## sécrétion de mélatonine

La mélatonine est une hormone indolaminergique joue un rôle central dans la régulation circadienne, c'est-à-dire cycles jour/nuit de 24 heures.

La mélatonine agit sur plusieurs cibles :

Horloge centrale (NSC) :

Horloges périphériques (foie, reins, pancréas, cœur...) :

Régulation du sommeil :

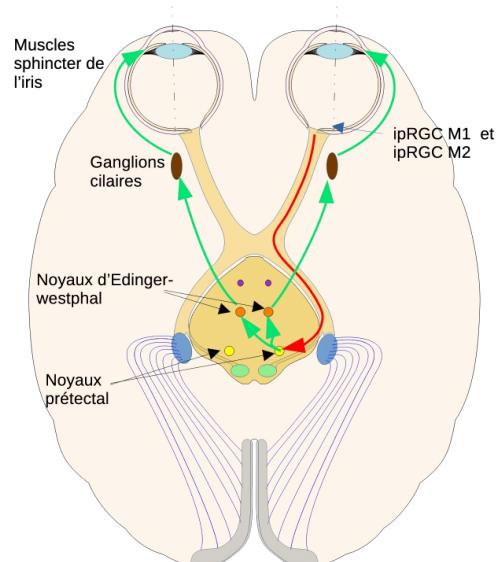
Fonctions neuroprotectrices et antioxydantes :

Régulation de l'humeur et du métabolisme :

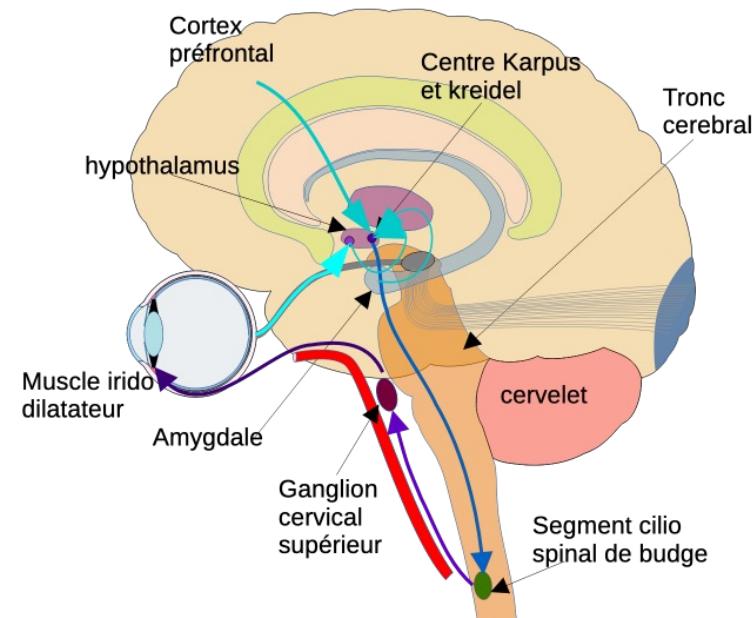
# Voie rétino préTECTale

## Adaptation de la pupille

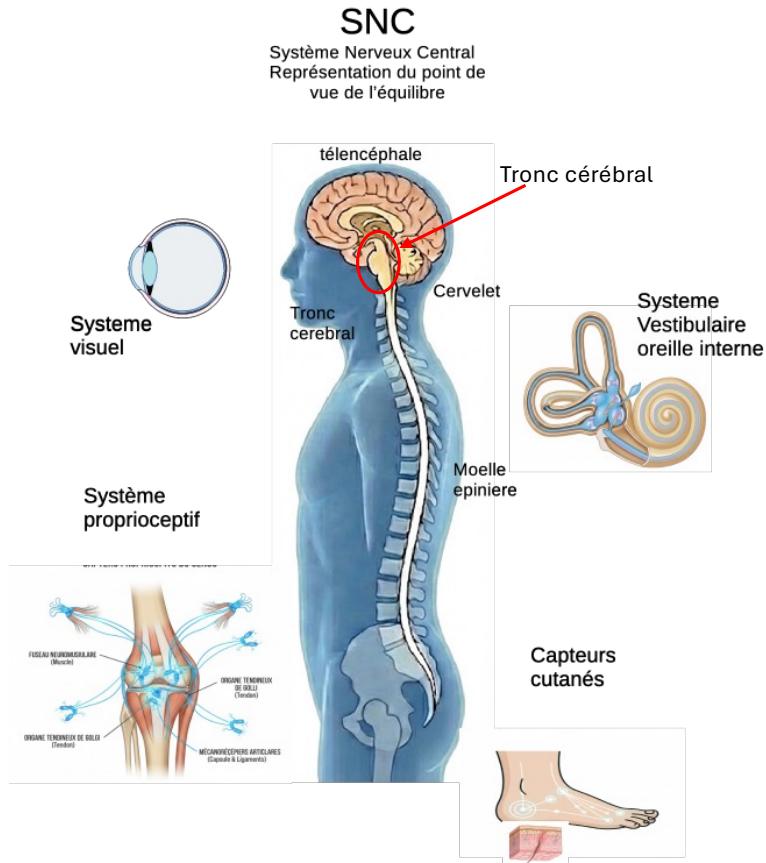
### Réflexe de Myosis



### Réflexe de mydriase



# équilibre



## **Capture périphérique :**

Cellules ciliées vestibulaires  
mécanorécepteurs proprioceptifs et cutanés  
Retour visuel

**Noyaux vestibulaires (tronc cérébral) :** 5 noyaux intègrent multi-modalement (vestibule, visuel, proprioceptif, cutané)

**Cervelet (archéo-/paléocervelet) :**  
compare prédictions/erreurs pour calibration en temps réel

## **Exécution :**

boucles rétroactives maintiennent centre gravité sur base d'appui.

# Vision 3D

## Indices de profondeur

- Critères statiques monoculaire
  - Perspectives linéaire centrale
  - Taille relative
  - Occlusion
  - Flou d'arrière plan
  - Gradient de texture
  - Ombres et lumières
- Critères dynamiques monoculaires
  - Parallaxe de mouvement
  - Expansion optique
  - Incrément décrément
- Critères binoculaires
  - Disparité binoculaire
  - Vergence
  - fusion



Critères statiques monoculaire

**Perspectives linéaire centrale**

Taille relative

Occlusion

Flou d'arrière plan

Gradient de texture

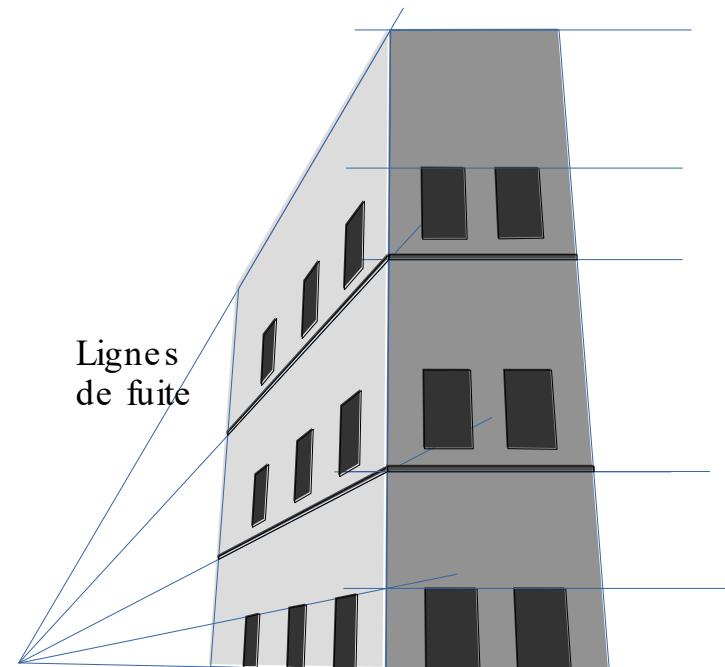
Ombres et lumières

# Perspective linéaire centrale

Brunelleschi  
(1415)



L'offrande de Saint Pierre  
Masaccio 1424



Point de  
fuite

# Taille relative plus perspective centrale

Critères statiques monoculaire

## Perspectives linéaire centrale

### Taille relative

Occlusion

Flou d'arrière plan

Gradient de texture

Ombres et lumières



L'école d'Athènes Raphael (1512)

*L'École d'Athènes* est une fresque de Raphaël, située dans la « Stanza della Segnatura » (Chambre de la Signature) des appartements papaux au Vatican. Elle a été réalisée durant la Renaissance, entre 1508 et 1512.

Dans cette image, les lignes de fuite convergent vers un point central, situé entre Platon et Aristote, guidant l'œil du spectateur et renforçant l'effet de profondeur. Les personnages au premier plan sont représentés plus grands, tandis que ceux à l'arrière-plan sont plus petits, illustrant la diminution de taille avec la distance, un principe fondamental de la perspective linéaire.

Critères statiques monoculaire  
Perspectives linéaire centrale  
Taille relative  
**Occlusion**  
Flou d'arrière plan  
Gradient de texture  
Ombres et lumières

## occlusion



Pere Borrell del Caso, "Escapando de la critica" (1874)

L'**occlusion**, ou **recouvrement**, est l'un des indices visuels **statiques monoculaires** qui nous permet de percevoir la profondeur de la scène. Ce critère ne nécessite qu'un seul œil et aucun mouvement pour être efficace.

Lorsqu'un objet **cache partiellement** un autre objet, le cerveau interprète automatiquement l'objet masquant comme étant **plus proche** de l'observateur que l'objet masqué.

Critères statiques monoculaire  
Perspectives linéaire centrale  
Taille relative  
Occlusion  
**Flou d'arrière plan**  
Gradient de texture  
Ombres et lumières



## Flou d'arrière plan

Le **flou de mise au point**, illustré notamment par des œuvres comme *La Joconde*, est un critère visuel lié à l'**accommodation** de l'œil et au concept de **profondeur de champ**.

**Mise au Point (Focus)** : L'œil humain (et l'appareil photo) ne peut focaliser qu'une seule distance à la fois. Le **cristallin** s'ajuste (accommode) pour rendre l'image nette sur la **rétine**.

Le cerveau utilise le flou de mise au point comme indice pour déterminer les distances :

Si un objet est **net** (clairement focalisé), il est à la distance de l'objet sur lequel notre œil (ou l'artiste) a fait la mise au point.

Si un objet est **flou** (devant ou derrière la zone nette), il est perçu comme étant **plus proche ou plus éloigné**.

Critères statiques monoculaire  
Perspectives linéaire centrale  
Taille relative  
Occlusion  
Flou d'arrière plan  
**Gradient de texture**  
Ombres et lumières

# Gradient de texture



*Port de mer au couchant* Le Lorrain  
(163908)

## Le Gradient de Texture : du Tactile au Vaporeux

**Premier plan (Net)** : Les textures sont denses et détaillées (grain du bois, plis des vêtements, clapotis). L'œil perçoit la matière.

**Plan moyen (Lissé)** : Les détails s'estompent.

La pierre des bâtiments et les coques des navires deviennent des surfaces plus unies.

**Arrière-plan (Flou)** : Dissolution totale de la texture. La matière disparaît dans la lumière atmosphérique pour suggérer une distance infinie.

Critères statiques monoculaire

Perspectives linéaire centrale

Taille relative

Occlusion

Flou d'arrière plan

Gradient de texture

Ombres et lumières

## Ombres et Lumières



le tableau *La Vocation de saint Matthieu* (Le Caravage, 1600). Dans cette œuvre, un rayon de lumière oblique traverse la scène sombre depuis une source invisible à droite, projetant des ombres nettes et créant un modelé dramatique des visages et des vêtements. Cette lumière, sculpte les corps et creuse l'espace de la pièce, guidant le regard du spectateur vers l'action principale. L'effet de clair-obscur (ou chiaroscuro) y renforce la profondeur spatiale.

Critères dynamiques monoculars  
Parallaxe de mouvement  
Expansion optique  
Incrément décrément

# Parallaxe de mouvement

l'indice visuel de la parallaxe de mouvement permet de déterminer la **profondeur** de la scène en fonction de la **vitesse apparente** du déplacement des objets sur le champ visuel.



**Objets Proches:** Les objets très proches de l'observateur, comme le poteau de clôture du premier plan, semblent se déplacer **très rapidement**

**Objets Lointains:** Les montagnes, très éloignées, semblent se déplacer **extrêmement lentement**, ou même rester fixes par rapport à l'horizon.

Critères dynamiques monoculars  
Parallaxe de mouvement  
**Expansion optique**  
Incrément décrément

# Expansion cinématique

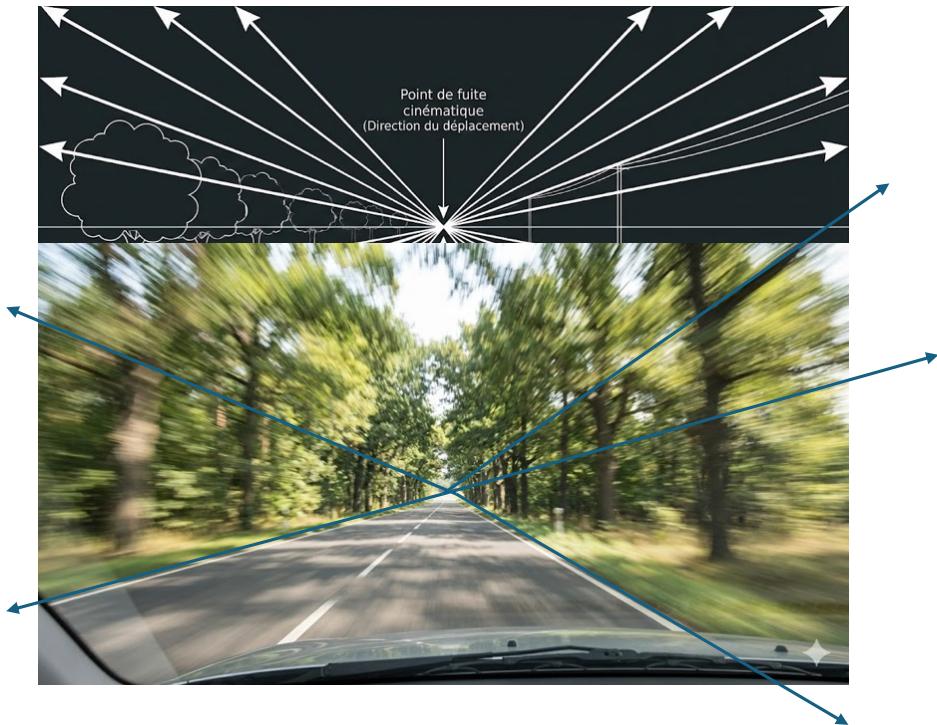


**Point de Fuite Cinématique:** L'ensemble du champ visuel semble s'éloigner d'un point central fixe, appelé le **point de fuite cinématique** (ou *Focus of Expansion*), qui correspond à la **direction exacte du déplacement** de l'observateur.

**Perception:** Le cerveau interprète cette expansion du flux optique comme un mouvement en avant, créant une forte sensation de **profondeur** et de **vitesse**

Critères dynamiques monoculars  
Parallaxe de mouvement  
Expansion optique  
**Incrémentation décrément**

# Incrémentation décrément

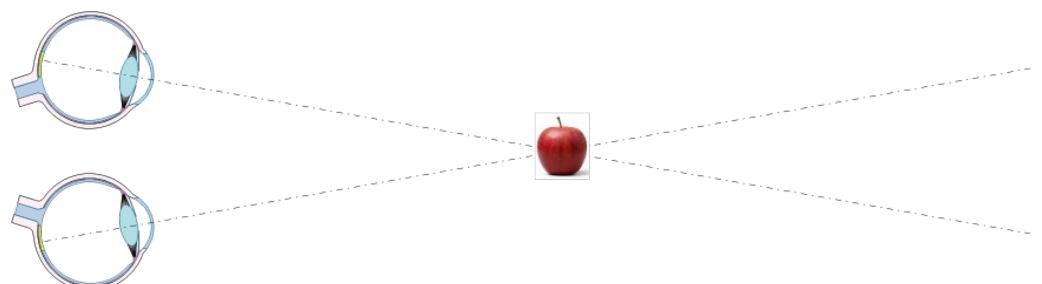


• **Incrémentation (Apparition):** Lorsque l'observateur se déplace, de nouvelles parties de l'arrière-plan peuvent apparaître (incrémentation) derrière le bord d'un objet de premier plan.

• **Décrément (Disparition):** Inversement, des parties de l'arrière-plan peuvent disparaître (décrément) derrière le bord d'un objet de premier plan.

Critères binoculaires  
Disparité binoculaire  
Vergence  
fusion

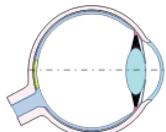
## Disparité binoculaire



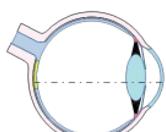
La différence de position de la pomme par rapport à son arrière plan, permet d'avoir un indice sur la distance entre la pomme et l'observateur si on considère l'arrière plan comme un équivalent infini.  
La disparité binoculaire est un indice important pour une distance d'objets inférieur à cinq mètres

Critères binoculaires  
Disparité binoculaire  
**Vergence**  
fusion

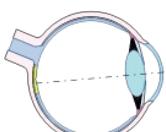
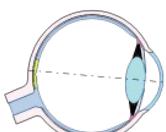
# Vergence



Objet lointain les deux axes optiques sont parallèles



Objet proche les deux axes optiques convergent

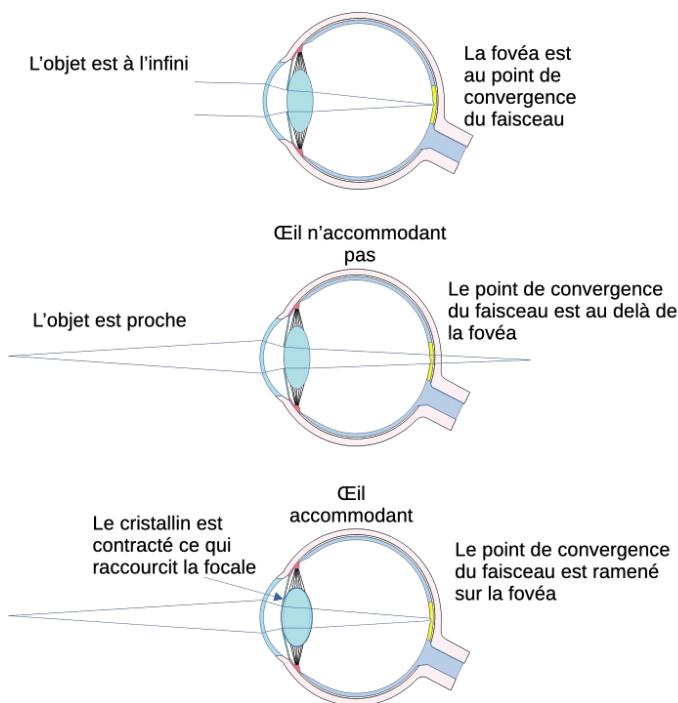


**Vergence (Objets Proches) :** Pour fixer un **objet proche**, les yeux doivent **converger** (tourner vers l'intérieur). Le cerveau utilise la tension musculaire associée à cette convergence comme indice de distance.

**Fixation Lointaine (Objets Lointains) :** Pour fixer un **objet lointain**, les axes optiques sont pratiquement **parallèles**.

Pour que la vergence soit un indice de profondeur sensible il faut que l'objet soit à moins de trois mètres.

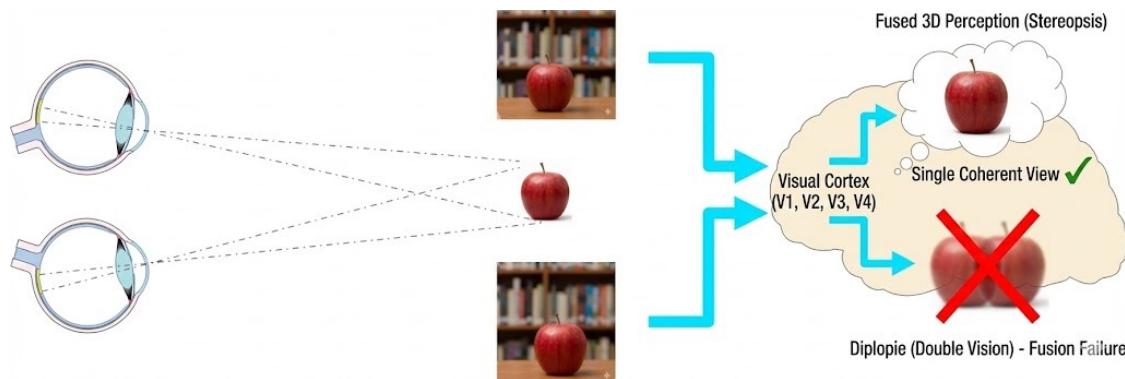
# accommodation



- **l'accommodation** est un mécanisme monoculaire intervenant dans la vision 3D.
- Le cerveau interprète le niveau d'effort musculaire lié à cette accommodation, ainsi que le degré de netteté ou de **flou d'arrière-plan** (profondeur de champ), comme un indice pour déterminer les distances et situer les objets par rapport à la zone de mise au point.
- Pour que l'accommodation soit un indice de profondeur sensible il faut que l'objet soit à moins de trois mètres. De trois à cinq mètres, c'est un indice faible. Après cinq mètres l'œil n'a plus besoin d'accommoder

# fusion

Critères binoculaires  
Disparité binoculaire  
Vergence  
**fusion**

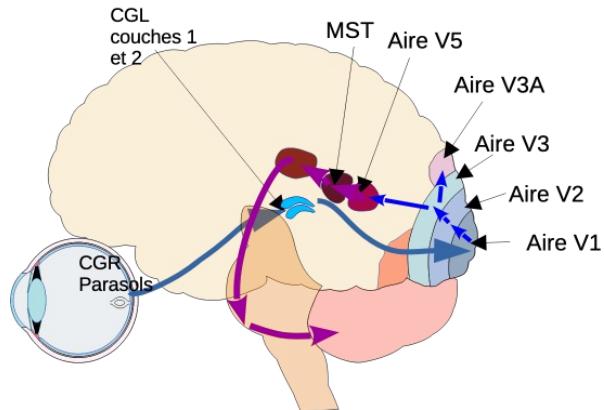


- **3. Le traitement cérébral : Deux issues possibles** Une fois les informations arrivées dans le cortex visuel, le cerveau tente de combiner ces deux points de vue différents. Le schéma montre deux résultats possibles à ce stade :
  - **Issue A : La Fusion Réussie (Haut du schéma)** Si le système visuel fonctionne parfaitement, le cerveau parvient à superposer et à fusionner les deux images décalées.
    - **Résultat :** Cela crée une "**Perception 3D Fusionnée (Stéréopsis)**". Dans la bulle de pensée (avec le crochet vert ✓), on voit une "**Vue Cohérente Unique**" de la pomme. C'est grâce à cette fusion que nous percevons le relief et la profondeur.
  - **Issue B : L'Échec de la Fusion (Bas du schéma)** Si le cerveau ne parvient pas à aligner les images (à cause d'un problème d'alignement des yeux comme le strabisme, ou d'un trouble neurologique), la fusion échoue.
    - **Résultat :** Le cerveau ne peut créer une image unique. On perçoit alors simultanément les deux images décalées de la pomme, barrées d'une grande croix rouge ✗. C'est ce qu'on appelle la **Diplopie**, ou plus communément, la "double vision".

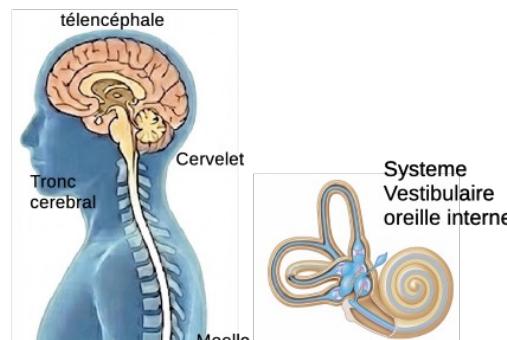
**1. La saisie des images (Vision Binoculaire)** Sur la gauche, nos deux yeux fixent un objet unique : une pomme rouge. En raison de la distance qui sépare nos yeux, chacun perçoit la pomme sous un angle légèrement différent. Les lignes en pointillés montrent le trajet de la lumière vers les rétines, créant deux images distinctes (illustrées au centre).

**2. La transmission au cerveau** Ces deux images rétinianes, légèrement décalées (ce qu'on appelle la **disparité rétinienne**), sont converties en signaux nerveux. Les grosses flèches bleues représentent le transfert de ces informations via les nerfs optiques vers le cerveau, spécifiquement vers le **Cortex Visuel** (les aires V1, V2, V3, V4), qui est le centre de traitement de la vision.

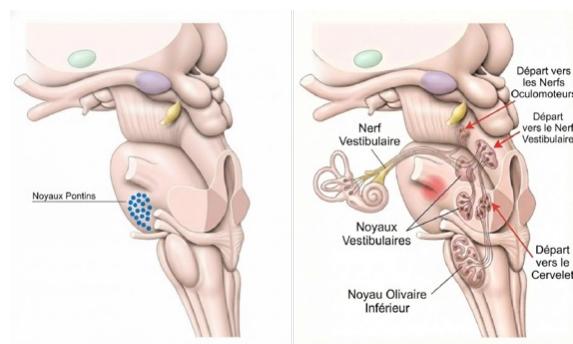
# Malaise induit en cas de discordance



**SNC**  
Système Nerveux Central  
Représentation du point de vue de l'équilibre



les yeux perçoivent un mouvement simulé  
L'oreille interne et le système proprioceptif ne perçoivent pas ce mouvement.



**Système proprioceptif**



**Capteurs cutanés**

# Merci de votre attention

