

# Thème 1



Représentation  
visuelle

# Chapitre 1 : De l'œil au cerveau

## Introduction

La vision de l'homme est binoculaire et permet une vision en 3D. Il existe des interactions entre l'œil et différentes parties du cerveau.

萌黄

Moegi

Teinte appartenant à la couleur jaune chez une personne parlant Japonais

若竹色


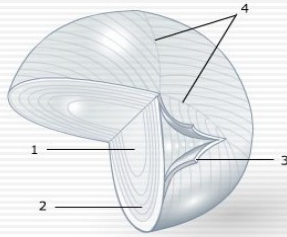
Wakatake-iro

Teinte appartenant à la couleur bleue chez une personne parlant Japonais

Comment l'œil capte-t-il une image et comment la transmet-il au cerveau ?

## I Anatomie de l'œil : un organe sensoriel

**CRISTALLIN**

1 noyau      3 capsule  
2 fibres      4 rayons

Par un cliquer glisser, déplacer le cristallin sur le document imprimé.

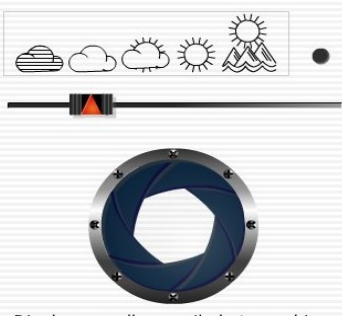
*O fons Bandusiae, splendidior vitro,  
dulci digne mero non sine floribus,  
cras donaberis haedo,  
cui frons turrita cornibus  
primis et venere elidos destinat.  
frustra : r... t tibi  
rubra sanguine n...  
lasc...  
te fragrantis... oles...  
nescit tangere... amabile  
fessis vomere lauris  
praebes et pecori vago.  
fies nobilium tu quoque fontium,  
me dicente cavis impositam illicem  
saxis, unde loquaces  
lymphae desiliunt tuae.*

Horatius, Odes III, XIII

Tu ne quaesieris, scire nefas, quem mihi, quem tibi  
Finem di dederint, Lauconoe, nec Babyonios  
Temptaris numeros. Ut melius quidquid erit pati,  
Seu pluris hiemes seu tribuit Iuppiter ultimam,  
Quae nunc oppositis debilitat pumicibus mare  
Tyrrhenum : sapias, vina liques, et spatio brevi  
Spern longam reseces. Dum loquimur, fugerit invida  
Aetas : carpe diem, quam minimum credula postero.

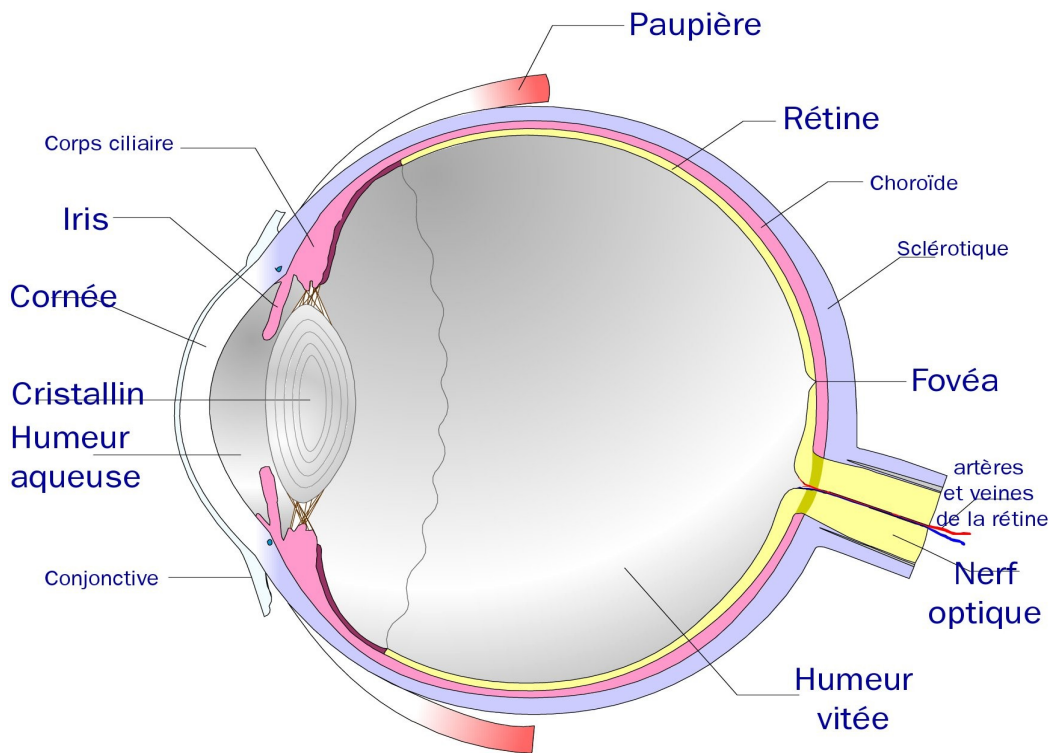
Horatius, Odes, I, IX

**REFLEXE PUPILLAIRE**

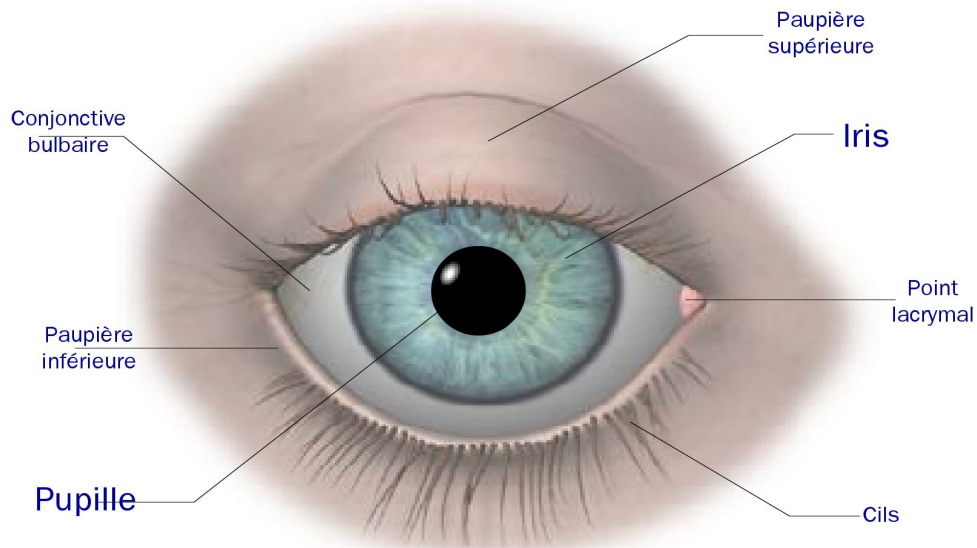


Diaphragme d'appareil photographique

Allumer et déplacer doucement la bougie de lumière dans le champ visuel du sujet



Coupe schématique d'un oeil



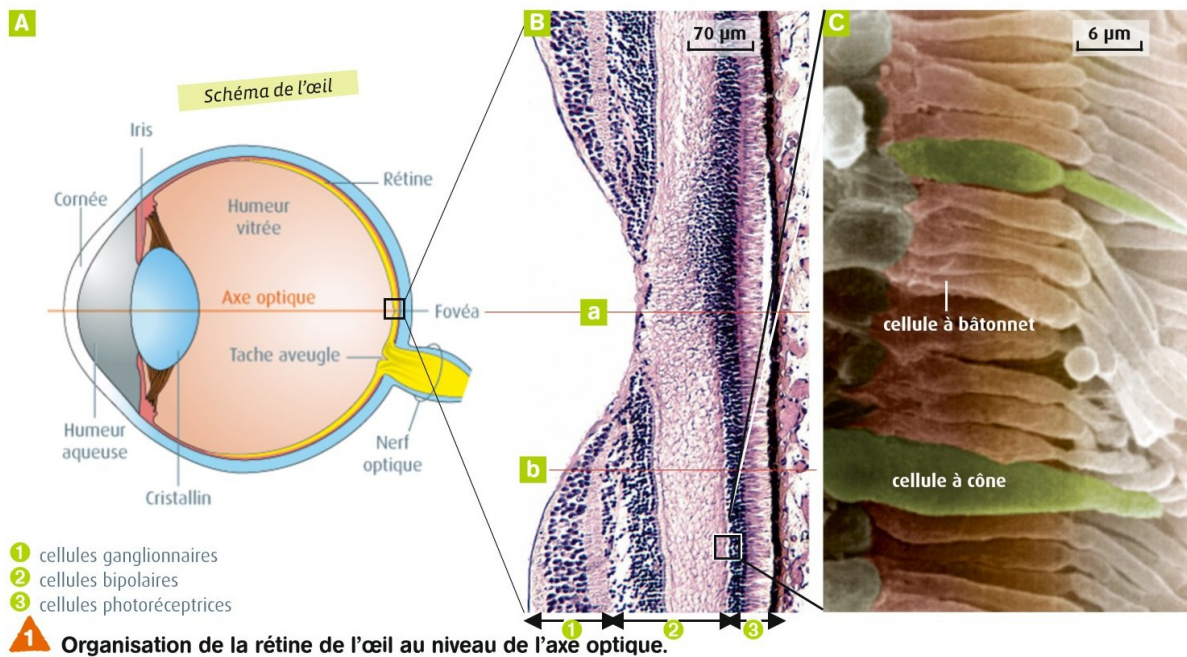
Anatomie de l'oeil droit vu de face

*L'oeil des vertébrés est constitué de trois membranes emboîtées rempli d'un milieu transparent. La membrane la plus interne est la rétine sur laquelle se forme l'image après passage d'abord, par la pupille dont le diamètre peut varier puis par le cristallin qui permet l'accommodation.*

## II La rétine : lieu de formation de l'image

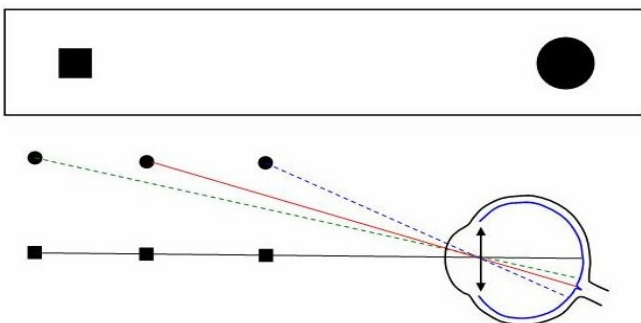
Insister sur la présentation des docs, leurs statuts et la nécessité d'une problématique.

Henri, 63 ans, présente un trouble de la vision. On recherche l'origine de ce trouble de la vision. Les résultats de son test montre qu'il ne perçoit pas bien les détails situés au centre de son champ de vision au contraire d'un patient sain. Le médecin lui a donc certainement prescrit un fond d'œil qui permettra d'examiner l'état de la rétine et particulièrement de la macula. En comparant les résultats du fond d'œil d'Henri à celui d'un patient sain, on constate que, pour le patient sain, la macula se présente sur la rétine comme une zone plus sombre au centre de laquelle se trouve la fovéa. Dans le cas de Henri, la macula de ce dernier est anormalement claire et tachetée : il semble donc qu'une lésion de cette partie de la rétine conduise à une anomalie de la vision. On peut donc penser que la rétine est le siège de la formation de l'image puisqu'une anomalie à son niveau entraîne une anomalie de ce qui est vu par la personne atteinte.



Au niveau de la fovéa, il n'existe qu'une seule couche de cellule, les cellules photoréceptrices, c'est à dire qui vont recevoir la lumière. La vision au niveau de la fovéa sera donc très précise. Au niveau de la macula, 2 couches supplémentaires existent : la lumière ne parviendra donc pas directement aux cellules photoréceptrices mais devra traverser les deux couches auparavant.

Il existe 3 types cellulaires au niveau de la rétine : les cellules ganglionnaires, les cellules bipolaires et les cellules photoréceptrices. Les cellules photoréceptrices sont de deux types : les cônes et les bâtonnets.



Au niveau de la tache aveugle, l'image en coupe montre qu'il n'y a pas de couche 3, c'est à dire de photorécepteurs. La lumière ne peut donc pas être captée et sur cette partie ne se forme pas d'image. En réalisant le trajet d'un rayon optique ([lien SPC](#)), on constate que pour un certain angle par rapport à l'axe optique, il y a une zone qui ne sera pas perçue.

**Critique du doc sans échelle.**

La réception du stimulus lumineux se réalise sur la rétine, enveloppe la plus interne de l'œil grâce à des photorécepteurs de deux types : les cônes et les bâtonnets. La fovéa est la zone de la rétine où la lumière est directement reçue par les cellules en faisant le lieu de l'acuité visuelle maximum. Le message est ensuite transmis par le nerf optique au cerveau.

# III Les pigments rétiniens



La vision nocturne des êtres humains ne se réalise qu'en niveau de gris : il n'y a pas de vision des couleurs. Il faut donc une forte luminosité pour que les couleurs puissent être perçues.

Les cônes et les bâtonnets sont deux types de photorécepteurs différents. **Ce sont des cellules car elles possèdent un noyau (lien 2nde).** Les cellules à cônes sont responsables de la vision des couleurs grâce à des pigments appelés opsines qui sont des protéines. Il existe trois types de cellules à cônes caractérisés par trois types d'opsines différents. Ces cellules ne sont stimulées qu'en présence d'une forte intensité lumineuse.

Les bâtonnets quant à eux permettent une vision en niveau de gris et sont stimulés même avec une faible intensité lumineuse.

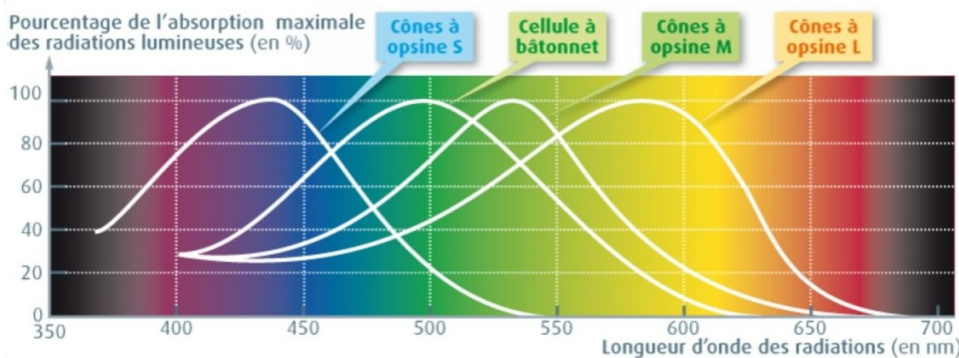
Ceci explique une vision nocturne en nuance de gris puisque ce sont les seules cellules stimulées lors des faibles intensités lumineuses.

Types de photorécepteurs (ou cellules photoréceptrices)	Cellule à cône	Cellule à bâtonnet
Pigments photosensibles* (molécules comprenant une opsine**)	3 types de cellules à cône caractérisés chacun par un type de pigment (avec opsine S, M ou L)	1 seul type de pigment, différent de ceux des cellules à cône
Sensibilité	Réagit à une intensité lumineuse forte (de l'ordre de $10^3$ lux = lumière de jour)	Réagit à une intensité lumineuse faible (de l'ordre de 1 lux = lumière de nuit)
Type de vision	Perception des couleurs	Perception en nuances de gris

\* présents dans le segment externe \*\* protéine

## 2 Propriétés des photorécepteurs.

Leurs pigments sont capables d'absorber les radiations lumineuses.



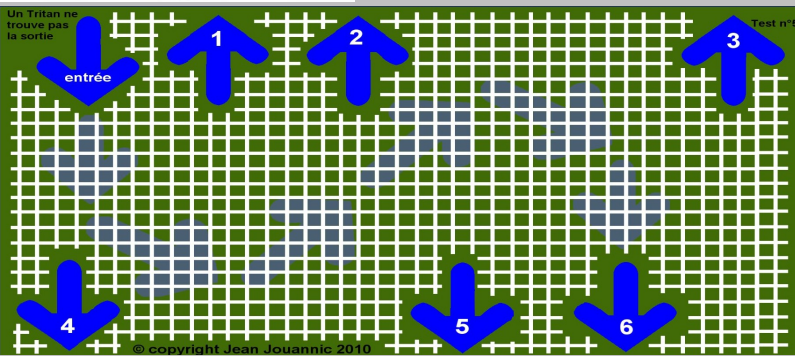
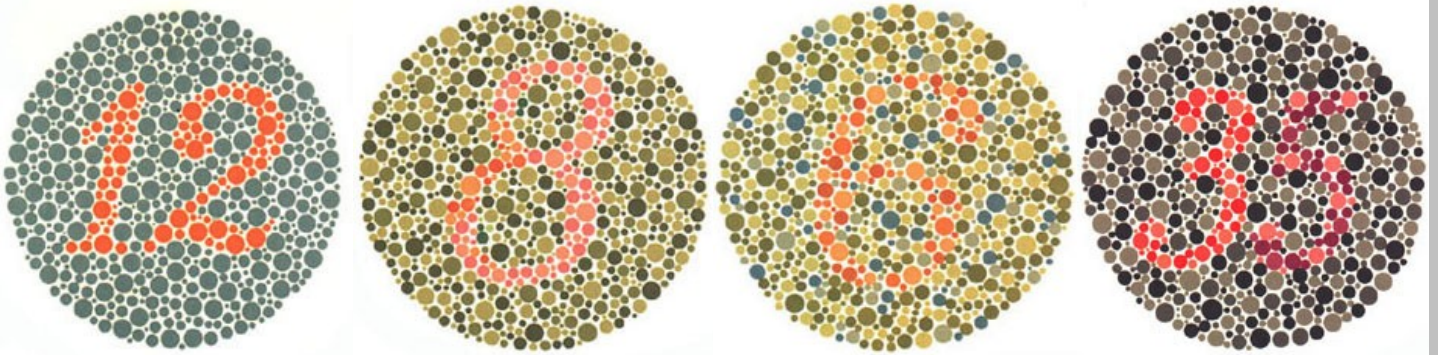
## 4 Absorption des radiations lumineuses par les pigments rétiniens en fonction de la longueur d'onde.

Les pigments, comme toute molécule, n'absorbent qu'une partie du rayonnement et réfléchissent le reste.

On peut parler de vision trichromate dans le cas de l'Homme car grâce à la présence de 3 opsines différentes, l'Homme peut capturer 3 zones de longueurs d'ondes différentes du spectre de la lumière visible. L'opsine S pour Short capte les courtes longueurs d'ondes au niveau du bleu, l'opsine M pour Medium réagit aux longueurs d'onde moyennes et absorbe les couleurs au niveau du vert alors que l'opsine L (Long) s'occupe de la capture du jaune et du rouge.

L'absence d'une des opsines va induire une diminution de la capture d'une couleur dominante et donner une vision dichromate : c'est le daltonisme. Il existe un daltonisme rouge-vert (protanope [rouge, opsine L mutée, chr X] ou deutéranope [vert, opsine M mutée, chr X] qui déplace les spectres d'efficacité des opsines voire les anihile et un autre daltonisme (tritanope, [bleu, opsine S mutée, chr 7]) ainsi que différentes combinaisons de ceux-ci pouvant aller jusqu'à la cécité colorée.

**Expérience :** Ecrire pour chaque pastille les nombres observés ou la sortie du labyrinthe lorsqu'on suit les flèches



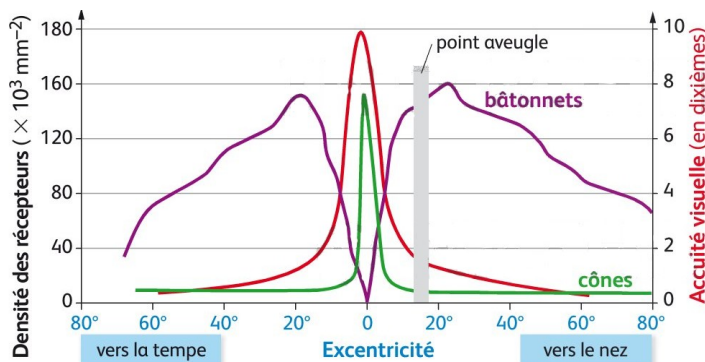
Noter ici les résultats du test

12      8      6      35

6

12 : tout le monde, 8 : normaux, daltonisme rouge-vert = 3, cécité complète = 0, 6 : normaux, anormaux = 0, 35 : - protanopie = 5, protanomalie légère = 35 - deutéranopie = 3, deutéranomalie légère = 35, Labyrinthe sortie 6, tritanope = ne voit pas la sortie. Ces tests permettent donc de distinguer les différents types de daltonisme.

A partir du document 4, **cocher** les affirmations correctes (et **préparer** une justification pour vos choix):



- Il existe 2 types de récepteurs au niveau de la rétine
- La densité de photorécepteurs est plus importante à 20° qu'à 40°
- Les cônes sont les seules cellules photoréceptrices de la rétine (non il y a les bâtonnets aussi)
- La vision périphérique est plus précise que la vision centrale (non, on constate que l'acuité est plus faible en périphérie)
- L'acuité visuelle est maximale à la fovéa
- La vision des couleurs est meilleure au niveau de la vision périphérique (non car l'essentiel des cônes permettant la vision des couleurs se situent dans la zone centrale)

**4 Acuité visuelle et répartition des cellules photoréceptrices dans la rétine**

- Il n'y a pas de photorécepteur au niveau de la fovéa (non, il y a les cônes au niveau de la fovéa)
- Il n'y a pas de photorécepteur au niveau du point aveugle
- Il y a environ 160 millions de cônes par mm<sup>2</sup> au niveau de la fovéa (non, il y a 160 000 cônes par mm<sup>2</sup> et non 160 000 000)
- La vision périphérique est essentiellement permise par les bâtonnets

**6 Vision des couleurs chez les primates et gènes codant pour les opsines.**

Les trois opsines sont sensibles à des rayonnements différents (bleu, rouge, vert : voir doc. 4)

Mammifères	Primates de l'Ancien Monde*	Primates du Nouveau Monde*
Espèces	Chimpanzé, Gorille, Homme, etc.	Cébus, Saïmiri, etc.
Chromosomes et gènes des opsines	<p>Chromosomes 7 et X</p> <p>Gène de l'opsine S (sur le chromosome 7), Gène de l'opsine L (sur le chromosome X), Gène de l'opsine M (sur le chromosome X)</p>	<p>Chromosomes 7 et X</p> <p>Gène de l'opsine S (sur le chromosome 7), Gène d'une autre opsine (sur le chromosome X)</p>
Type de vision	trichromatie	dichromatie
* Ancien Monde : Afrique, Europe et Asie; Nouveau Monde : Amériques		

Chez tous les primates, les gènes codant pour les opsines sont localisés sur les mêmes chromosomes (7 et X), au niveau des mêmes locus. L'Homme se distingue des primates du Nouveau Monde par l'existence d'une trichromatie, liée à la présence de 3 pigments différents dans 3 types de cellules à cône, pigments dont les fragments protéiques (opsines) sont codés par 3 gènes différents. Au sein des primates, l'Homme est plus proche du chimpanzé et des autres primates de l'Ancien Monde que de ceux du Nouveau Monde.

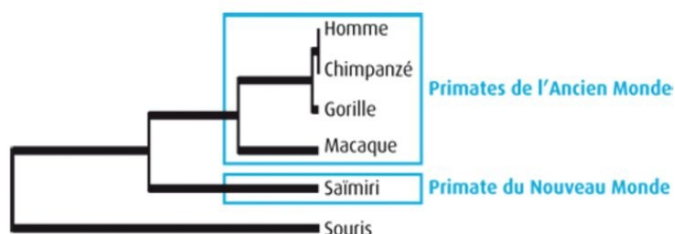
Le fait que 2 des trois gènes des opsines soient présents sur le chromosome X explique la prévalence du daltonisme chez les hommes : ne possédant qu'un seul chromosome X, si le gène est défectueux alors les opsines sont défectueuses, contrairement aux femmes dont le deuxième chromosome X permettra la production d'une opsine fonctionnelle.

## 7 Vision et liens de parenté entre les primates

Raisonner et argumenter

Il est possible d'établir les liens de parenté entre plusieurs espèces en étudiant les séquences en acides aminés d'une protéine qui exerce la même fonction chez toutes les espèces.

1. Arbre de parenté de 6 espèces de mammifères, obtenu avec le logiciel Phylogène.



Espèce	20	30	40	50
Homme	I S S V G P W D G P Q Y H I A P V W A F Y L Q A A F M G T V F L I G F			
Chimpanzé	- -			
Gorille	- - P -			
Macaque	L - - - K -			
Saïmiri	- -			
Souris	- -			

- 1 Rappeler le rôle des opsines dans la vision.
- 2 Montrer que les informations apportées par le doc. 2 confortent l'arbre phylogénétique proposé dans le doc. 1.
- 3 À partir de ces données, justifier la place de l'Homme parmi les primates.

2. Séquences en acides aminés d'un fragment de l'opsine sensible au bleu (opsine S) chez 6 espèces de mammifères (voir p. 27).  
Chaque lettre correspond à un acide aminé. Un - signifie qu'il s'agit du même acide aminé que celui présent chez l'Homme (pris ici comme référence).

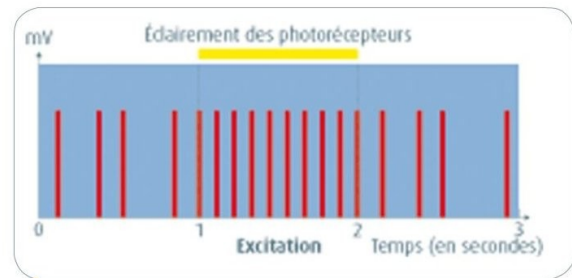
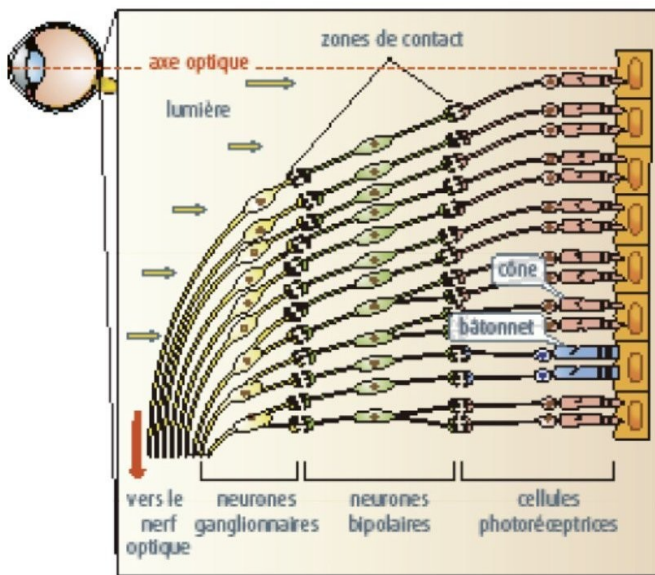
1. Les opsines sont des protéines qui, associées à d'autres molécules, forment les pigments photosensibles des photorécepteurs de la rétine. Ces pigments sont capables d'absorber certaines radiations lumineuses, ce qui provoque la naissance de signaux électriques. Il existe trois types d'opsines captant chacune des longueurs d'onde différentes ce qui permet une vision trichromate.
2. Deux espèces sont d'autant plus proches qu'elles présentent un faible nombre de différences dans leur séquence moléculaire. Celle du chimpanzé présente une séquence identique à celle de l'Homme. Ces deux espèces sont donc proches et placées sur des branches rapprochées dans l'arbre de parenté proposé. Celle du gorille présente 1 acide aminé différent, alors que ce nombre est de 3 chez le macaque, 4 chez la saïmiri, 6 chez la souris par rapport à la séquence de l'Homme. Ainsi ces espèces sont de plus en plus éloignées de l'Homme et sont placées sur des branches de plus en plus espacées de celle de l'Homme. Ces données confortent donc l'arbre phylogénétique proposé.
3. L'Homme et les autres primates ont des séquences en acides aminées de l'opsine S similaires, ce qui justifie la place de l'Homme parmi les primates (primates de l'Ancien Monde plus précisément).

Les cellules photoréceptrices de la rétine contiennent un pigment, l'opsine, qui est sensible à la lumière.

La vision nocturne se fait en nuance de gris grâce aux bâtonnets qui sont sensibles à une faible intensité lumineuse. La vision des couleurs est quant à elle permise par les cônes uniquement en présence d'une forte intensité lumineuse. L'existence de trois types d'opsine absorbant chacune des longueurs d'ondes spécifiques rend possible une vision trichromate des couleurs. La vision du monde dépend donc des propriétés des photorécepteurs de la rétine comme en témoigne le daltonisme par exemple.

Les études sur les gènes codant pour les pigments rétiniens permet de placer l'Homme parmi les primates.

# IV Le message nerveux



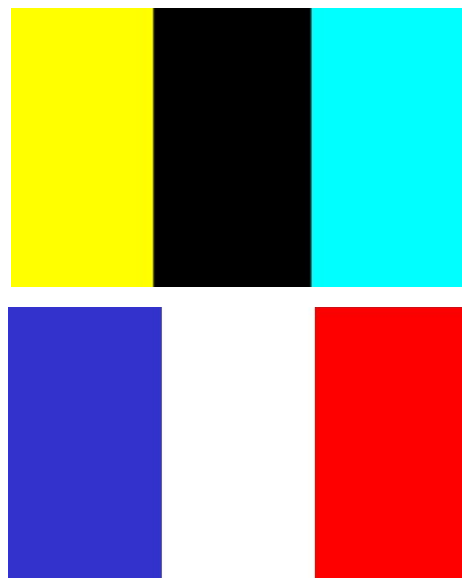
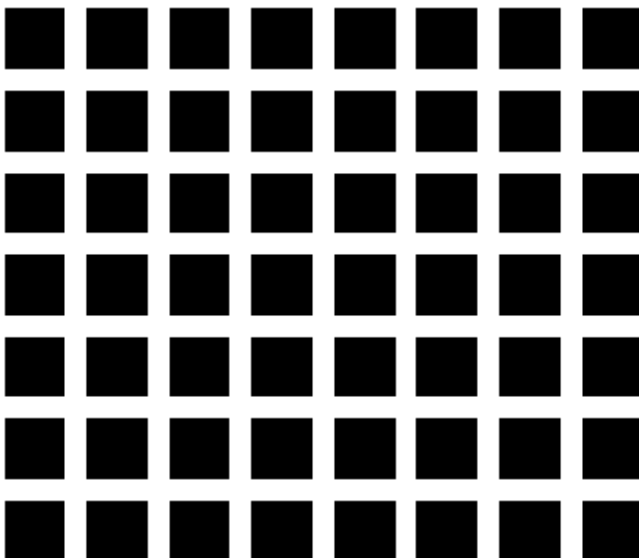
2 Réponse d'un neurone ganglionnaire après la stimulation des photorécepteurs.

1 Organisation cellulaire de la rétine de l'œil.

Au niveau de l'axe optique (fovéa), les cellules à cône reçoivent directement les radiations lumineuses et sont connectées chacune à un seul neurone bipolaire, lui-même connecté à un seul neurone ganglionnaire. Il n'y a donc aucune perte d'information.

En périphérie de la rétine, les cellules photoréceptrices reçoivent les radiations lumineuses après qu'elles aient traversé les autres couches cellulaires et plusieurs d'entre elles sont connectées à un même neurone bipolaire, de même que plusieurs neurones bipolaires sont connectés à un même neurone ganglionnaire. Il y a donc perte de la précision de l'information.

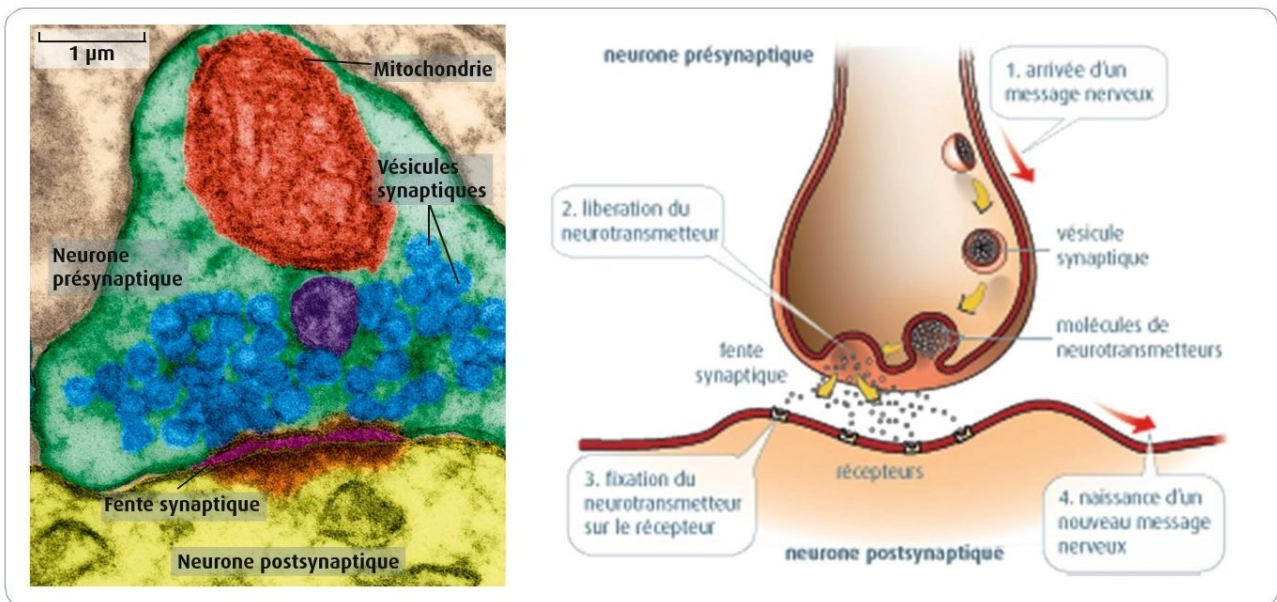
Le message nerveux est de nature électrique (il y a un changement de polarité des cellules ganglionnaires). On observe que ce message électrique est codé en fréquence puisque lors de la stimulation, la fréquence de dépolarisation augmente.



La grille de Hermann s'explique par le fait que la fovéa possédant une connection pour chaque cellule elle ne peut être trompée. Par contre, la rétine périphérique, elle, projette plusieurs information sur un même neurone ganglionnaire qui au final « sommera » du noir et du blanc, ce qui donne du gris.

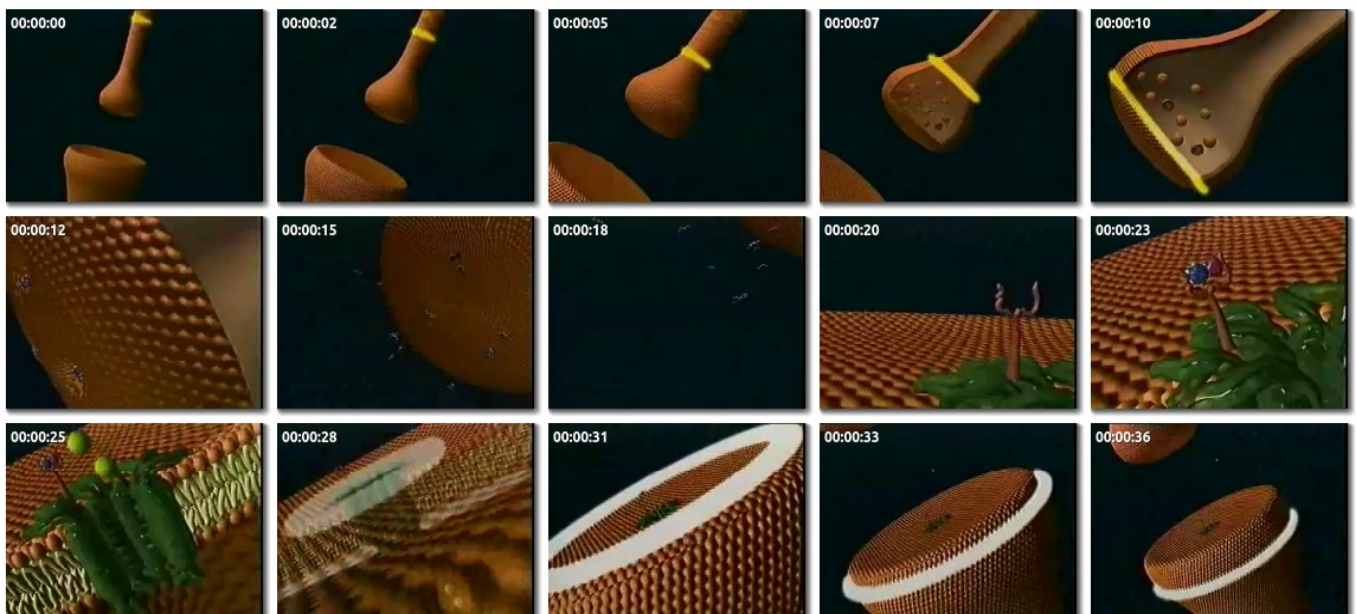
Pour le drapeau, il s'agit d'une saturation des cônes et bâtonnets. Par exemple, la zone jaune induit une forte réponse des cônes permettant la vision du jaune. Ainsi, ceux-ci saturent au bout d'un moment (la réponse électrique est telle que c'est comme s'il y avait un changement du niveau de base de la cellule). Lorsqu'on regarde du blanc ensuite, seule la couleur complémentaire (ici le bleu) est capable de répondre ce qui devrait logiquement former du blanc. Comme les cônes « jaunes » sont saturés, finalement, seul le bleu apparaît.





**3** Image d'une synapse (électronographie) et schéma d'une synapse.

Lors de l'arrivée au niveau du bouton synaptique, des vésicules contiennent un type de molécules spécifiques, les neurotransmetteurs qui sont largués. Après leur libération dans la fente synaptique, leur fixation sur des récepteurs postsynaptiques va donner naissance à un nouveau message de nature électrique. La transmission synaptique du message nerveux est par conséquent de nature chimique.



La lumière qui atteint les cellules photoréceptrices provoque une modification de l'état électrique de ces neurones.

Cette modification de l'état électrique des cellules induit au niveau des autres neurones rétiniens, la naissance d'un message nerveux codé en fréquence : le potentiel d'action qui va se transmettre vers le cortex cérébral par des neurones se relayant au niveau de synapses. Au niveau des synapses, des neurotransmetteurs permettent la naissance de nouveaux messages nerveux sur le neurone dit post-synaptique : lors de l'arrivée du potentiel d'action, des neurotransmetteurs sont libérés dans la fente synaptique et génère un nouveau potentiel d'action lors de leur fixation sur des récepteurs du neurone post-synaptique par leur complémentarité de forme.

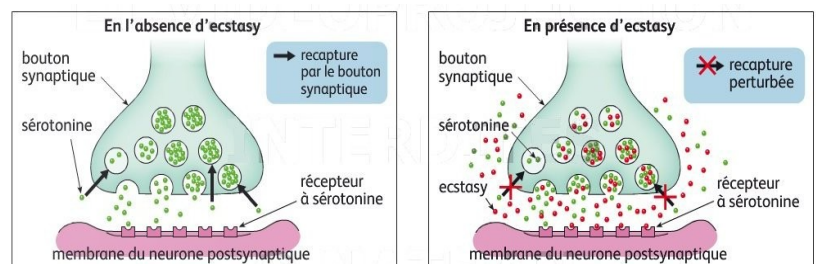
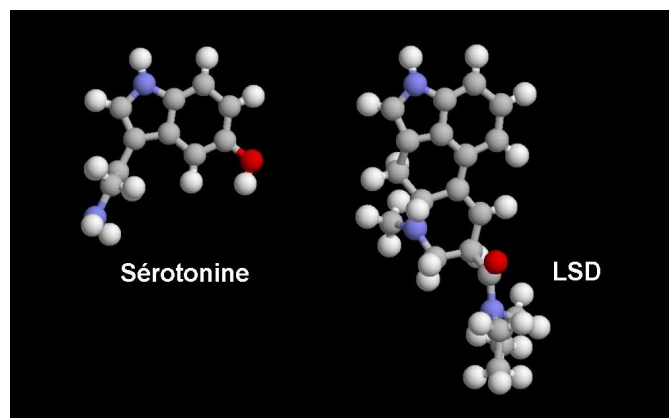
# Chapitre 2 : Le traitement de l'image par le cerveau

## Introduction

Nous avons vu que la réception d'un stimulus visuel au niveau des cellules photoréceptrices entraînent la genèse d'un message nerveux sous forme de potentiel d'action qui est transmis via des relais synaptiques jusqu'au cerveau.

Comment et où le cerveau traite-t-il l'information visuelle? Peut-on leurrer ou modifier le traitement par le cerveau ?

## I L'action des drogues peut modifier la perception visuelle



■ Comparaison du fonctionnement synaptique en l'absence et en présence d'ecstasy.

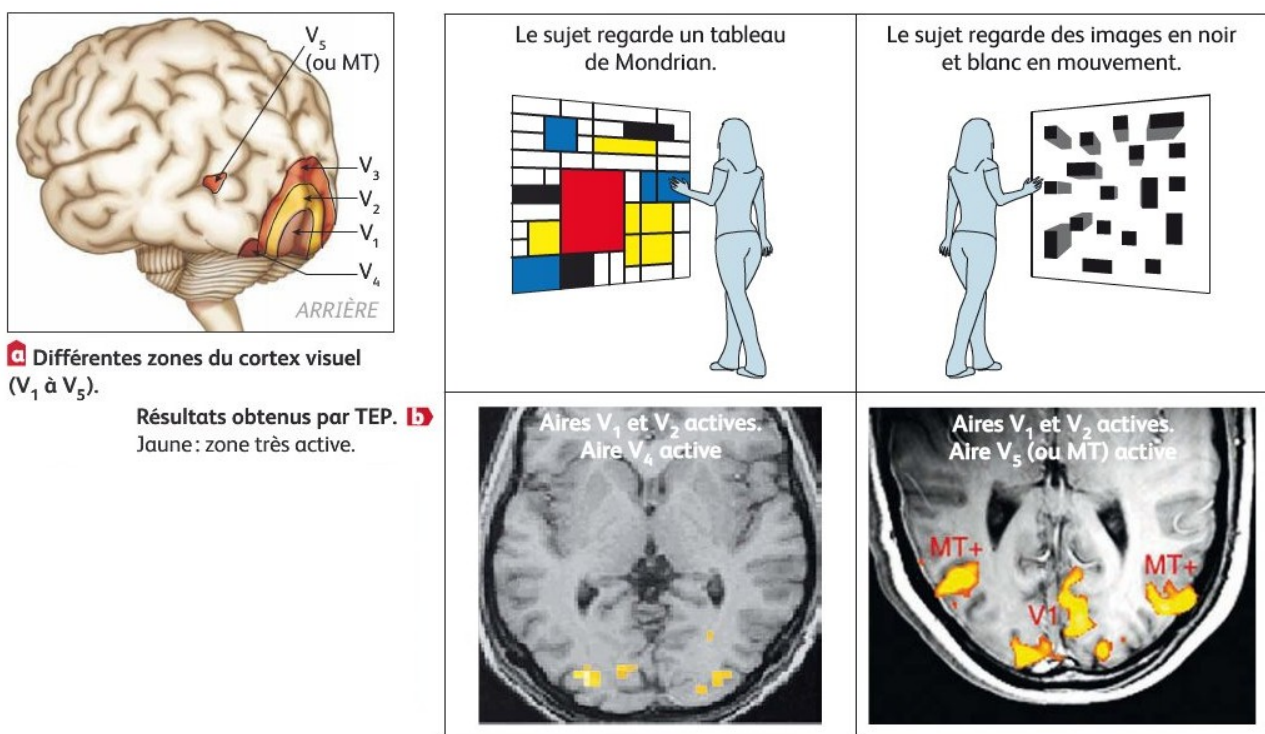
Les drogues agissent sur le cerveau de façon indirecte en modifiant la transmission synaptique grâce à leur structure moléculaire analogue à celle d'un neurotransmetteur : elles peuvent ainsi créer un message qui n'existe pas en se fixant à la place du neurotransmetteur ce qui stimule l'autre neurone qui envoie un message inexistant au cerveau (LSD, mescaline...). Elles peuvent aussi empêcher la recapture du neurotransmetteur, augmentant alors sa quantité et créant ainsi des messages là encore inexistant (ecstasy, cocaïne).

Les drogues peuvent altérer durablement le fonctionnement des synapses, provoquer une accoutumance et parfois engendrer des flash-backs particulièrement désagréables et dangereux.

## II Les aires du cerveau impliquées dans la perception visuelle

La patiente présente une incapacité à reconnaître les lettres. Housse fait remarquer que ce n'est pas son œil qui est atteint mais certainement une partie de son cerveau comme en témoigne ses hallucinations. Le trajet du message nerveux nous montre qu'il peut s'agir soit d'une lésion au niveau du nerf optique, soit du relais cérébral (c'est à dire au niveau des synapses), soit au niveau du cortex.

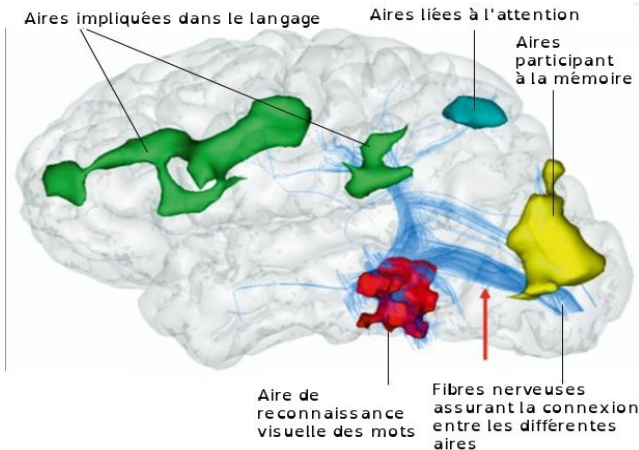
Pour déterminer quelle partie est atteinte, on peut réaliser une IRMf qui permettra de savoir quelles sont les zones activées lors de la lecture des lettres ou de reconnaissance des formes chez un individu sain et chez la patiente. L'IRMf réalisée sur la patiente lors de l'essai de recopiage des dessins indiquent que certaines parties de son cerveau ne sont pas stimulées au contraire de l'individu sain : elle a donc un problème au niveau d'une zone du cerveau chargée du traitement spécifique de certaines informations, les aires visuelles.



Les documents suivants montrent que certaines parties du cerveau seulement sont chargées du traitement d'un seul type d'information : ce sont les aires visuelles. Lorsque le sujet observe un tableau de Mondrian (forme et couleurs mais absence de mouvement), les aires V1 et V2 sont actives ainsi que l'aire V4. Lorsqu'il observe une image en noir et blanc et en mouvement (absence de couleurs), ce sont les aires V1 et V2 ainsi que l'aire V5 qui sont actives. On peut donc supposer que les aires V1 et V2 interviennent dans toutes les perceptions visuelles alors que l'aire V4 est spécialisée dans l'analyse des couleurs et des formes et l'aire V5 dans l'analyse du mouvement.

*Le message nerveux est envoyé via le nerf optique dans le cerveau jusqu'au cortex où se trouvent différentes aires spécialisées dans le traitement de l'information visuelle. Les différentes aires visuelles peuvent être identifiées grâce à l'imagerie médicale ou l'étude de cas cliniques. Ces différentes aires visuelles, chacune spécialisée, collaborent entre elles pour traiter l'ensemble de l'information : il y a élaboration de la perception visuelle.*

# III La plasticité cérébrale

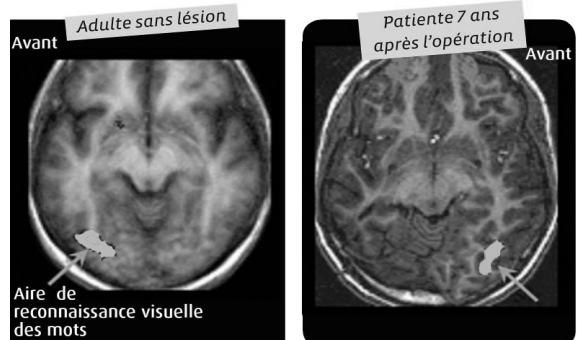


Le patient ne reconnaît plus les mots écrits car une partie des voies nerveuses ont été endommagées notamment celle reliant l'aire de la mémoire aux aires de reconnaissance visuelle des mots écrits.

Ainsi, ceci démontre que plusieurs aires collaborent pour rendre possible la lecture : les aires visuelles, l'aire liée à la mémoire et des structures liées au langage.

Si on un patient sain et une

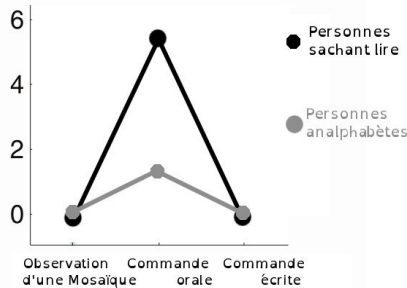
jeune patiente ayant subi une ablation de la zone liée à la reconnaissance de l'aire visuelle, on constate que les deux savent lire malgré l'ablation de l'aire visuelle. Quand on regarde le résultat de l'IRM, on constate que la patiente a développé ce qui semble être une nouvelle aire visuelle : le cerveau a donc mis en place de nouvelles connexions et créer une nouvelle aire visuelle pour pallier le manque de cette-dernière, il y a une plasticité cérébrale. Il est par ailleurs précisé que sur un patient adulte, une telle plasticité n'aurait pas été possible ; cela démontre que la plasticité cérébrale ne se fait que dans un jeune âge. L'apprentissage de la lecture implique donc une réorganisation des connexions nerveuses.



IRMf montrant une zone spécialisée dans la reconnaissance de consignes vocales



Intensité de la réponse dans la zone considérée en fonction de la tâche demandée



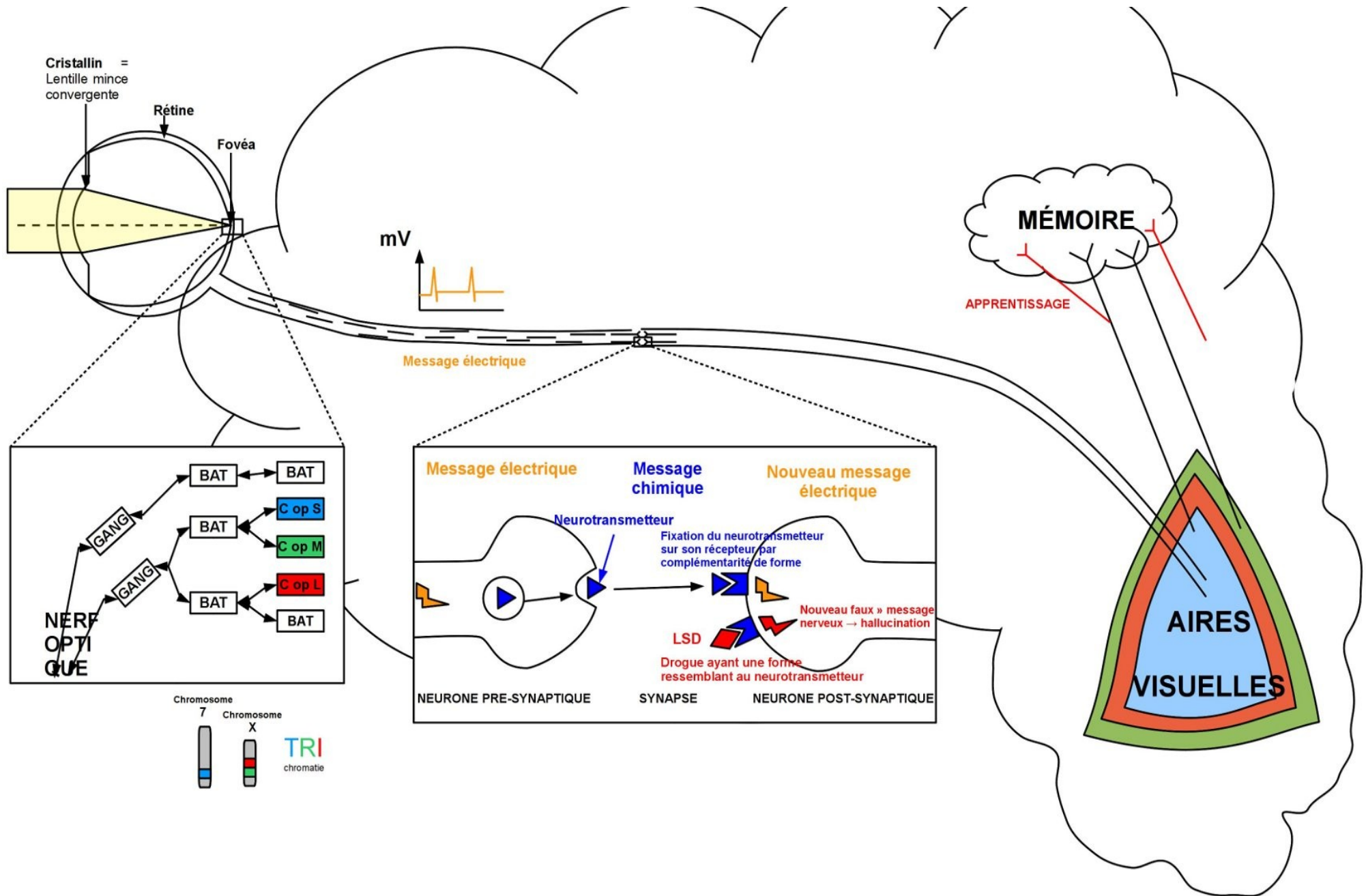
Le document 4 montre que les personnes qui savent lire, grâce à la réorganisation de leurs connexions nerveuses, peuvent développer aussi d'autres avantages. Ainsi, une personne sachant lire répondra plus rapidement à une consigne orale puisque l'aire chargée de traiter cette information est plus activée chez une personne lettrée qu'analphabète. On peut supposer que la réorganisation cérébrale permet une spécialisation plus importante de certaines aires en les laissant plus libres de connexions qui pourront être établie par la suite.

La lecture fait appel à différentes aires cérébrales (aires visuelles, de la mémoire et du langage) qui collaborent entre elles afin de saisir le message écrit. Lors de l'apprentissage, il existe une réorganisation des connexions entre les différents neurones : on parle de plasticité cérébrale. Ce sont des stimulations répétées des mêmes circuits lors de l'apprentissage qui permettent de réaliser ce réarrangement qui provoque aussi une spécialisation accrue d'autres aires.

Anecdotes :

Maguire, Woollett & Spiers, 2006 : Les chauffeurs de taxi londoniens, ont la partie postérieure de l'hippocampe plus grande que les chauffeurs de bus parce que cette région de l'hippocampe est spécialisée dans l'acquisition et la gestion d'information spatiale complexe permettant une navigation efficace.

Andrea Mechelli et al., Science, 2004 : On observe cette plasticité de les cerveaux de personnes bilingues. Il semble que l'apprentissage d'une deuxième langue ne soit possible qu'à travers des changements fonctionnels dans le cerveau: le cortex inférieur pariétal gauche est plus grand que les personnes bilingues que dans les cerveaux de personnes qui ne parlent qu'une seule langue.



Cristallin =  
Lentille mince  
convergente

Rétine

Fovéa

mV

Message électrique

MÉMOIRE

APPRENTISSAGE

AIRES

VISUELLES

Message électrique

Message chimique

Nouveau message électrique

Neurotransmetteur

Fixation du neurotransmetteur sur son récepteur par complémentarité de forme

LSD

Droque ayant une forme ressemblant au neurotransmetteur

Nouveau faux message nerveux → hallucination

NERF OPTIQUE

GANG

BAT

BAT

C op S

C op M

C op L

BAT

Chromosome

7

Chromosome X

TRI chromatie

NEURONE PRE-SYNAPTIQUE

SYNAPSE

NEURONE POST-SYNAPTIQUE