

Invitations

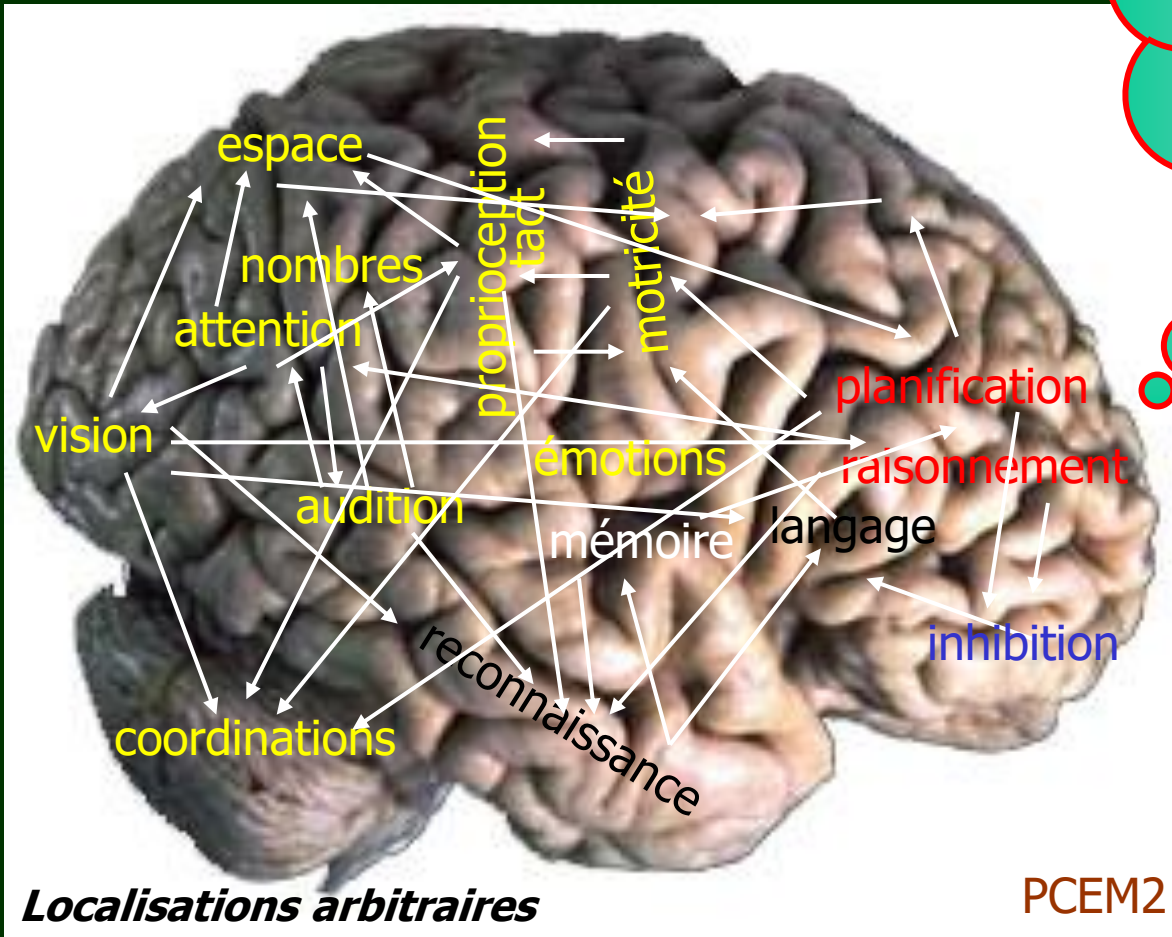
- Créez des QCM !
- Merci de m'offrir quelques minutes de votre temps pour notre étude :



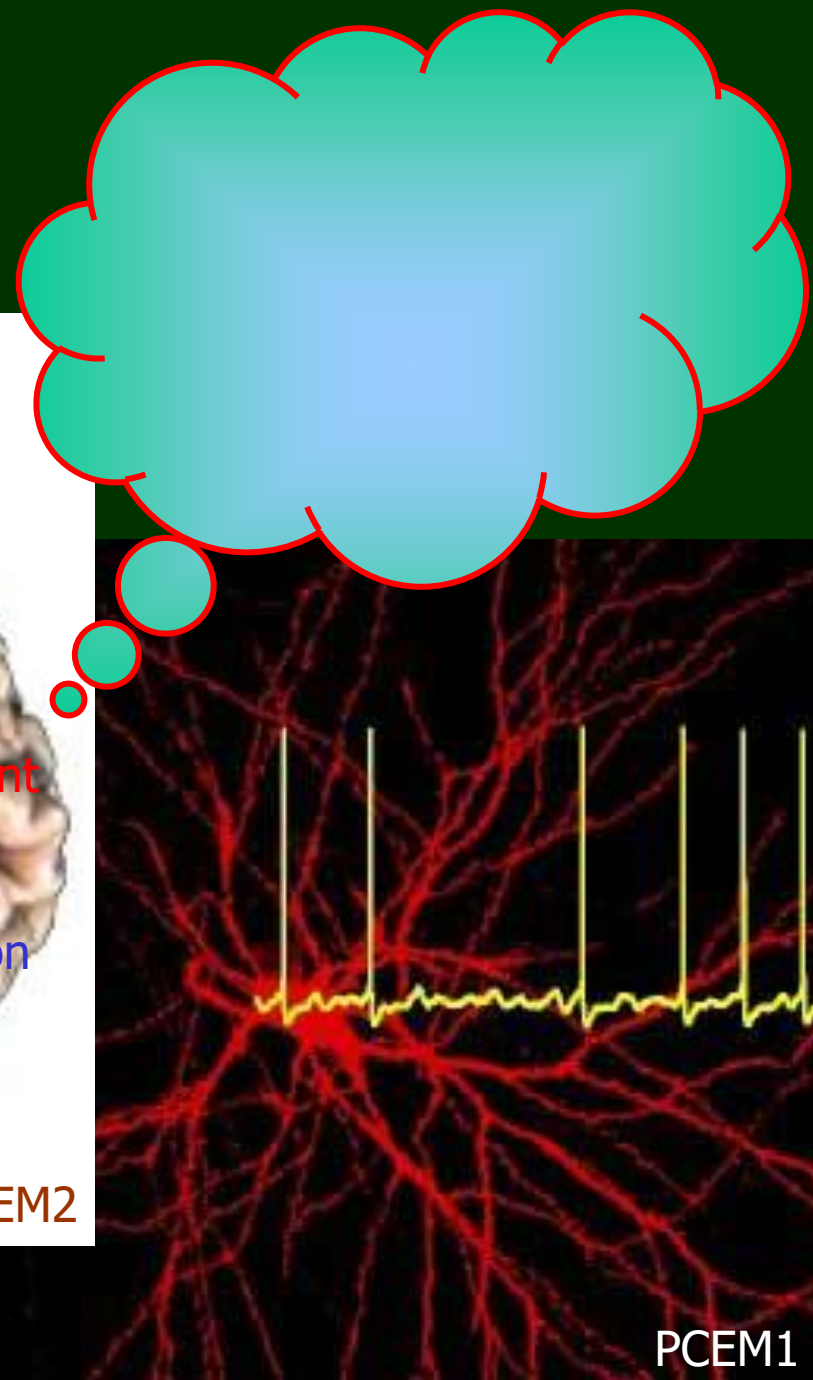
<https://form.crn1.fr/index.php/372453?lang=fr>

Le neurone dans le système nerveux : du neurone à la fonction

La Neurophysiologie: du cerveau au neurone et vice-versa



neurologie & rééducation
(séméiologie et thérapeutique)



Le neurone dans le système nerveux

1. Les niveaux d'étude : cf introduction
2. Les propriétés des neurones
3. Les fonctions des neurones
4. Les réseaux de neurones
5. Le codage neuronal de l'information

2. Les propriétés du neurone

définitions

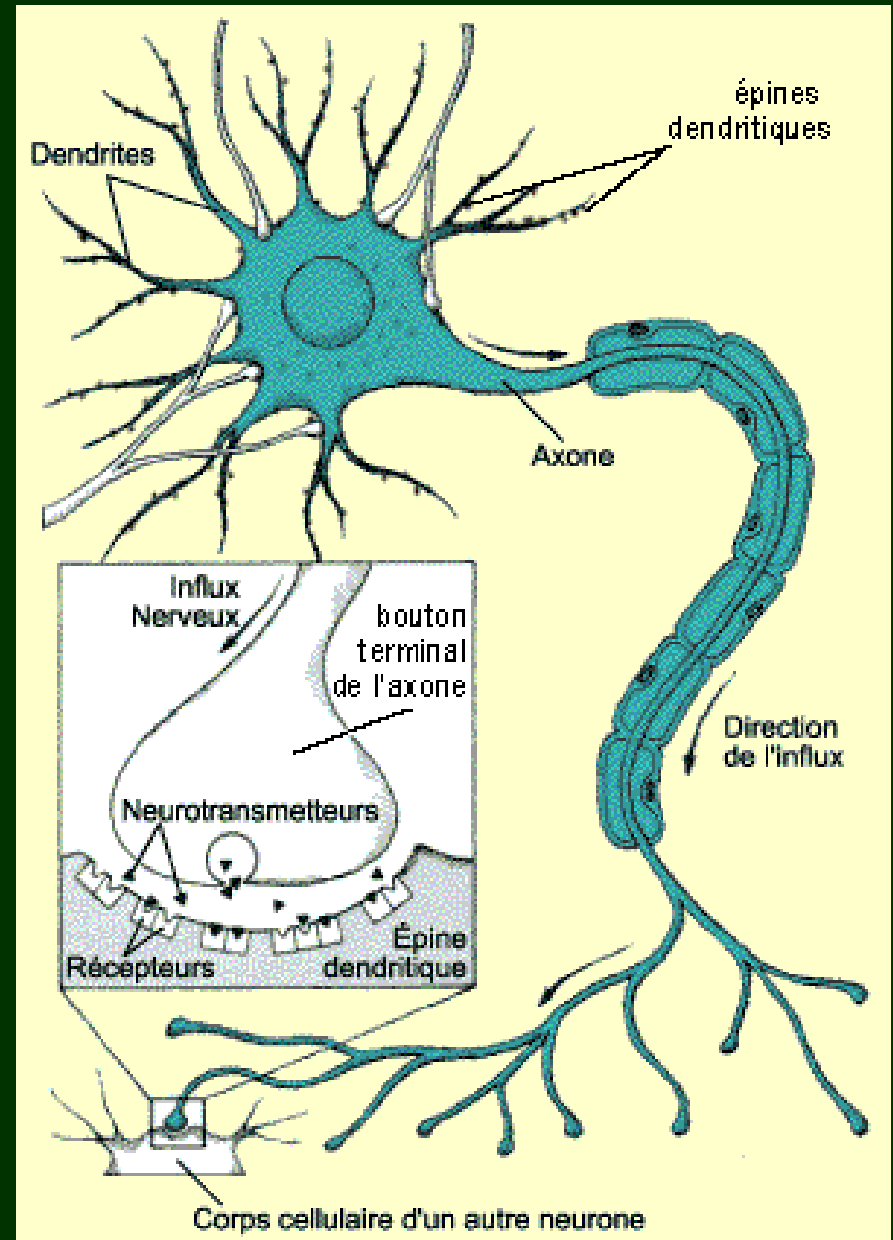
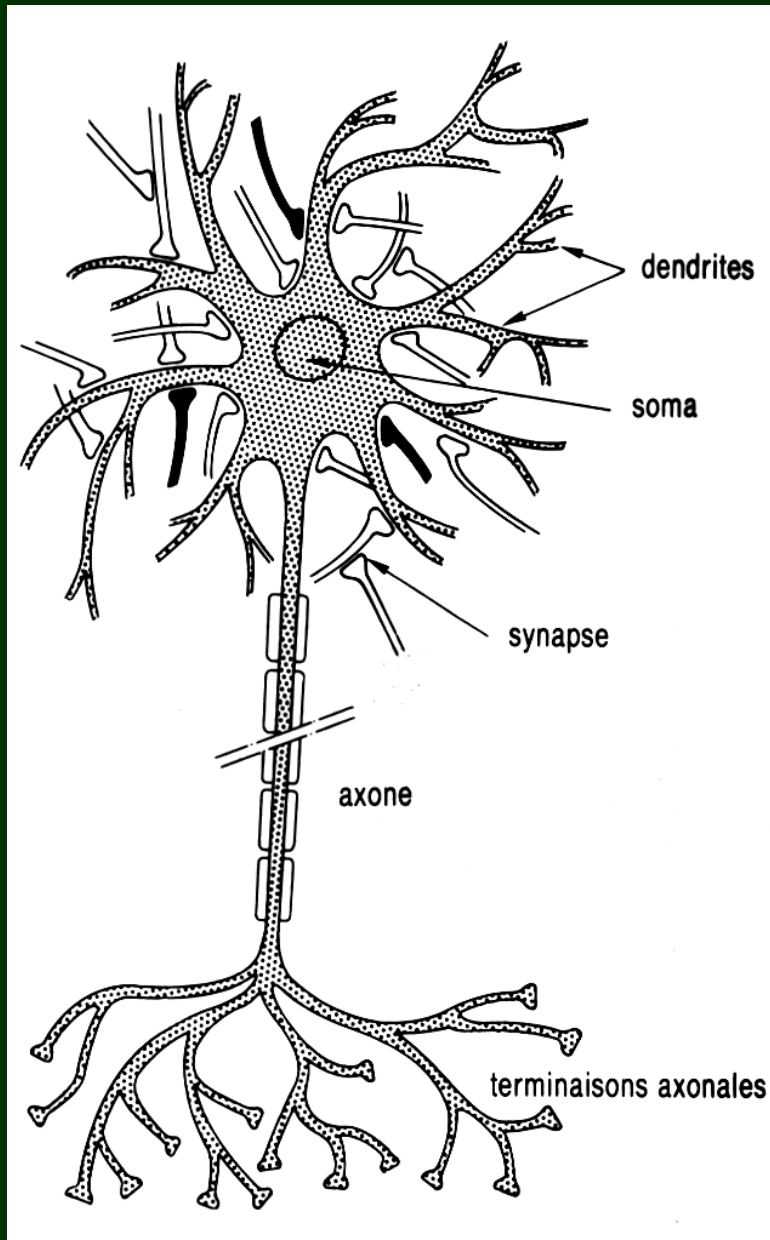
Cellules nerveuses ou **Neurones**:

cellules spécialisées pour la communication intercellulaire: dans la réception, la génération et la transmission de signaux électriques.
(100 Milliards de neurones avec des milliers de connections chacun!)

Cellules de soutien ou **cellules gliales**:

astrocytes, microglie , oligodendrocytes + cellules de Schwann:
accélèrent la transmission des influx nerveux.
>>100 Milliards

Le neurone - type



définitions

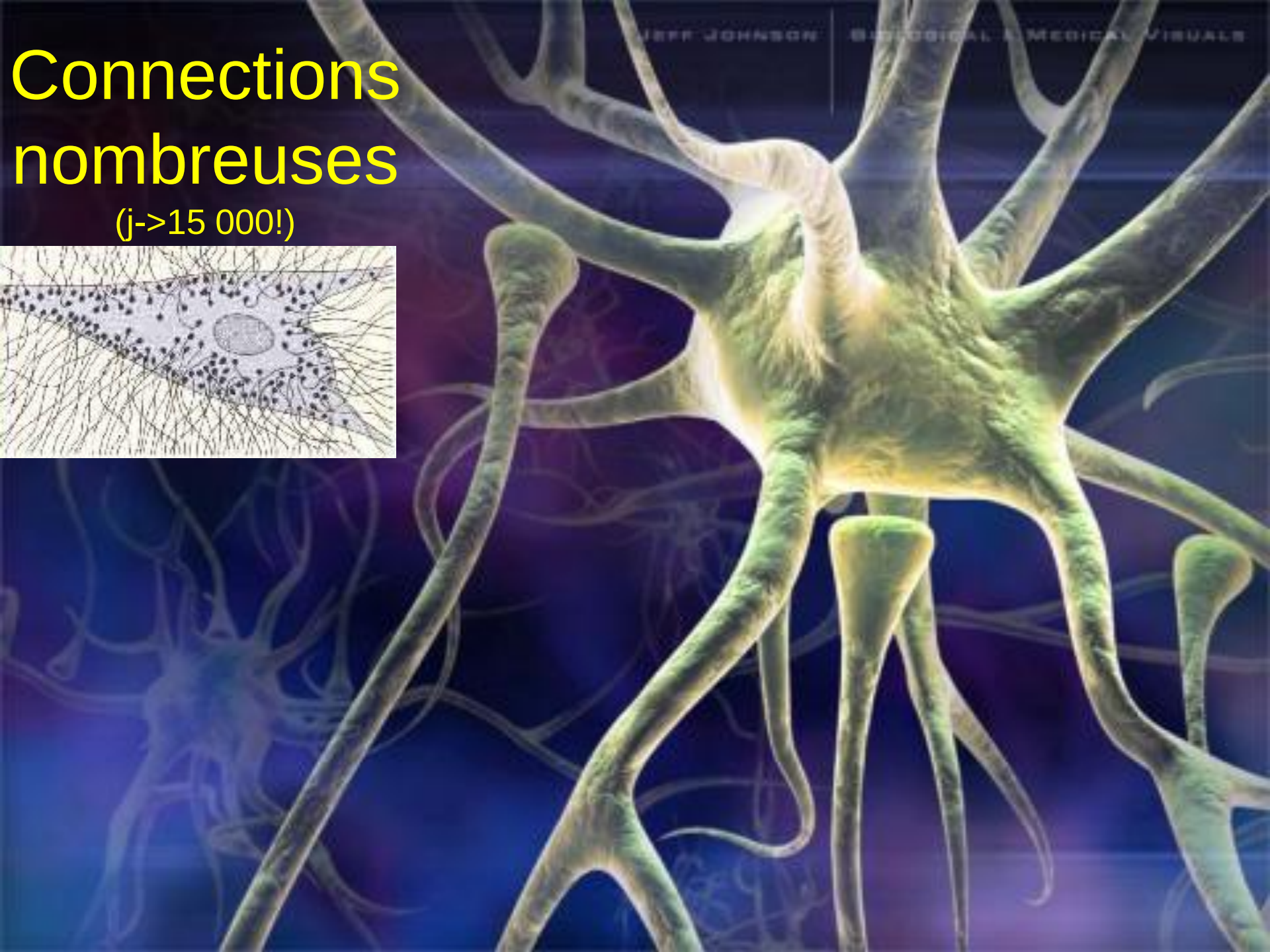
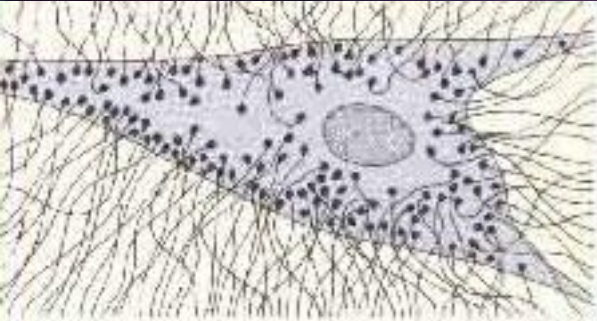
Soma: Corps cellulaire du neurone, doté des organites classiques (réticulum endoplasmique, ribosomes, Golgi, mitochondries)

Axone: prolongement cellulaire spécialisé dans l'émission et la conduction d'un signal électrique (le potentiel d'action).
Longueur = 100µm (neurone de circuit local) à 1m (neurone de projection).

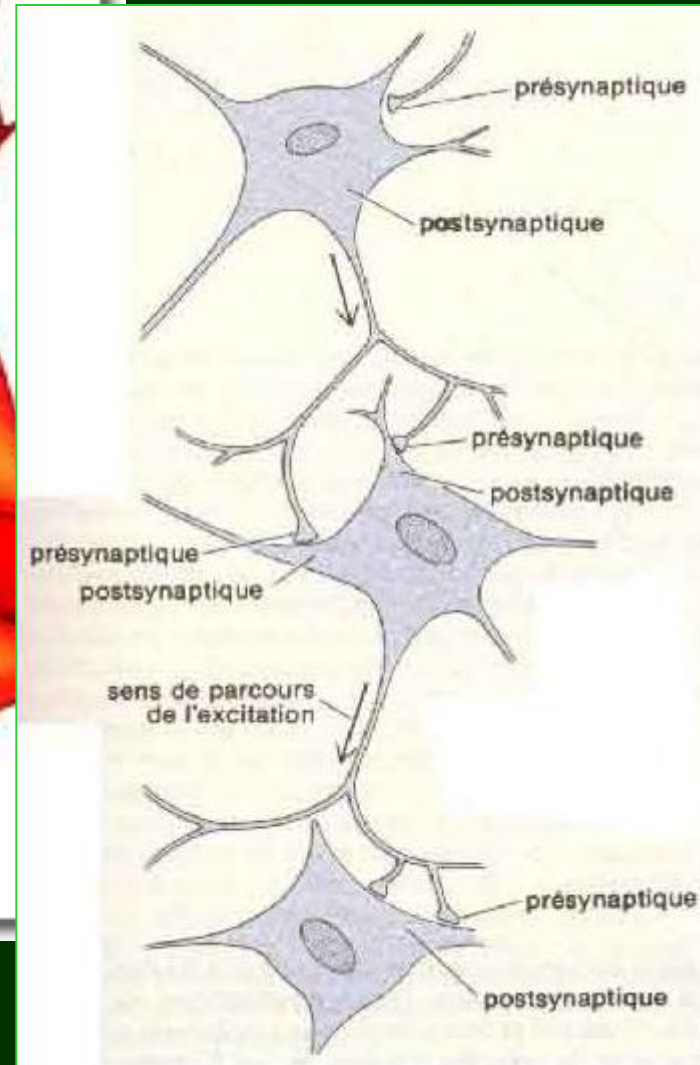
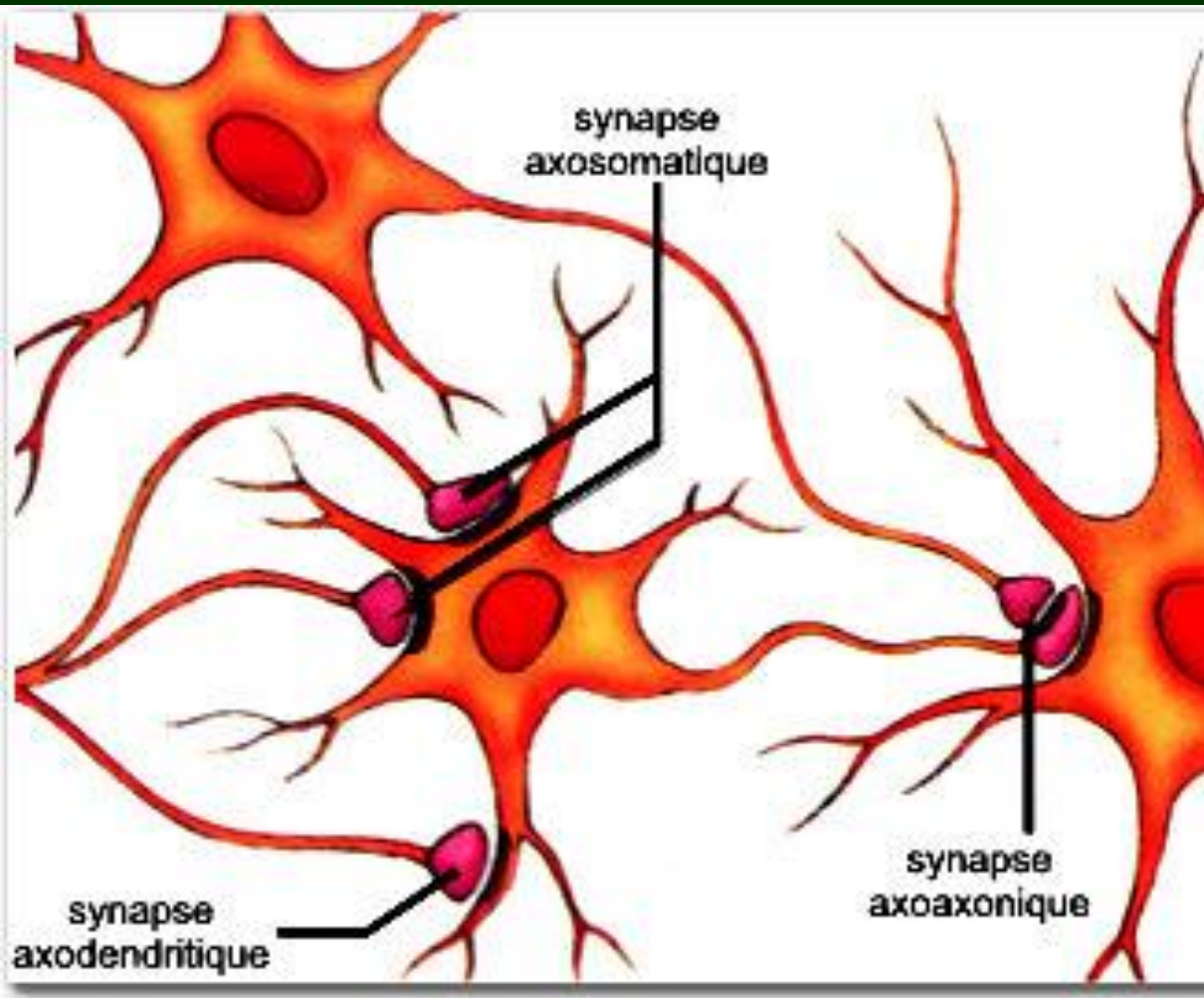
Dendrite: prolongements multiples et courts, ramifiés en abondance, qui constituent les principaux sites de contact du neurone: **réception** de messages provenant d'autres neurones.

Connections nombreuses

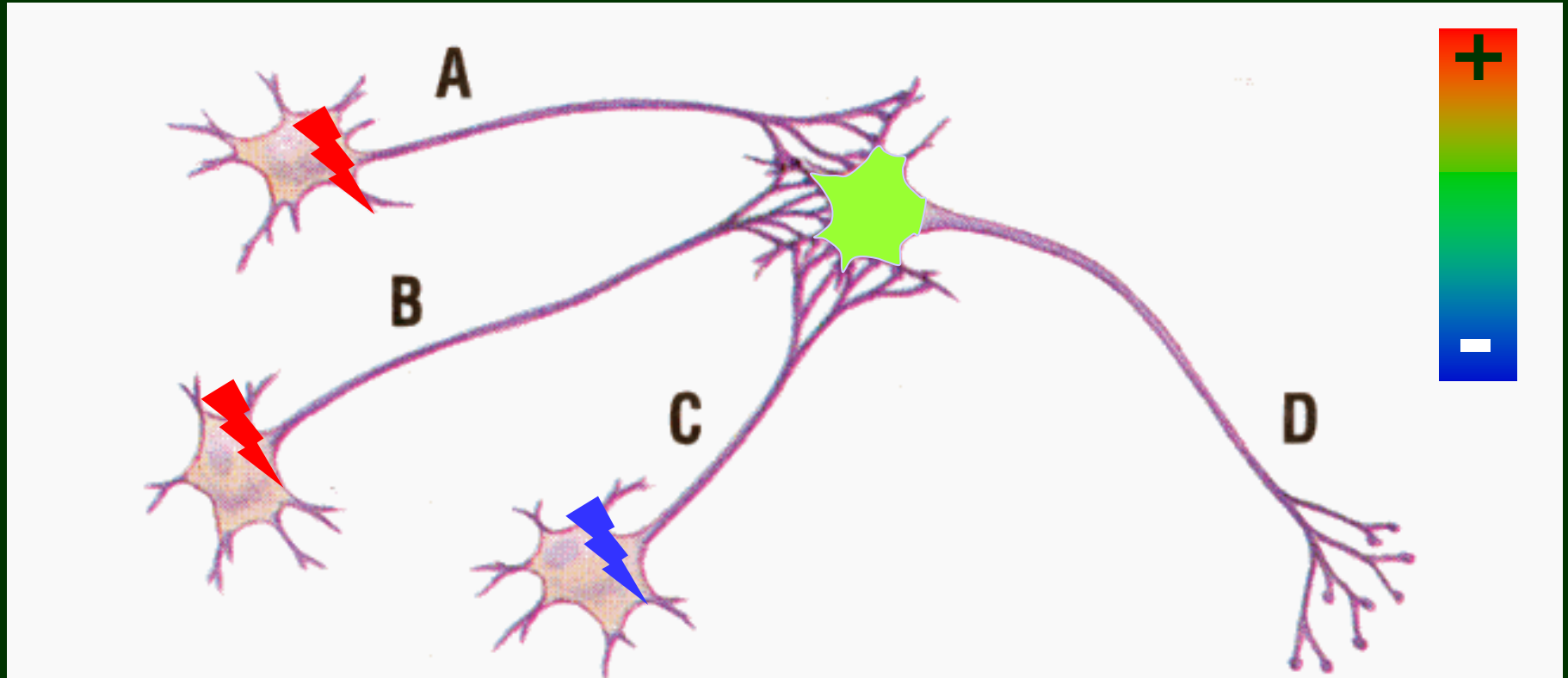
(j->15 000!)



Communication inter-neuronale

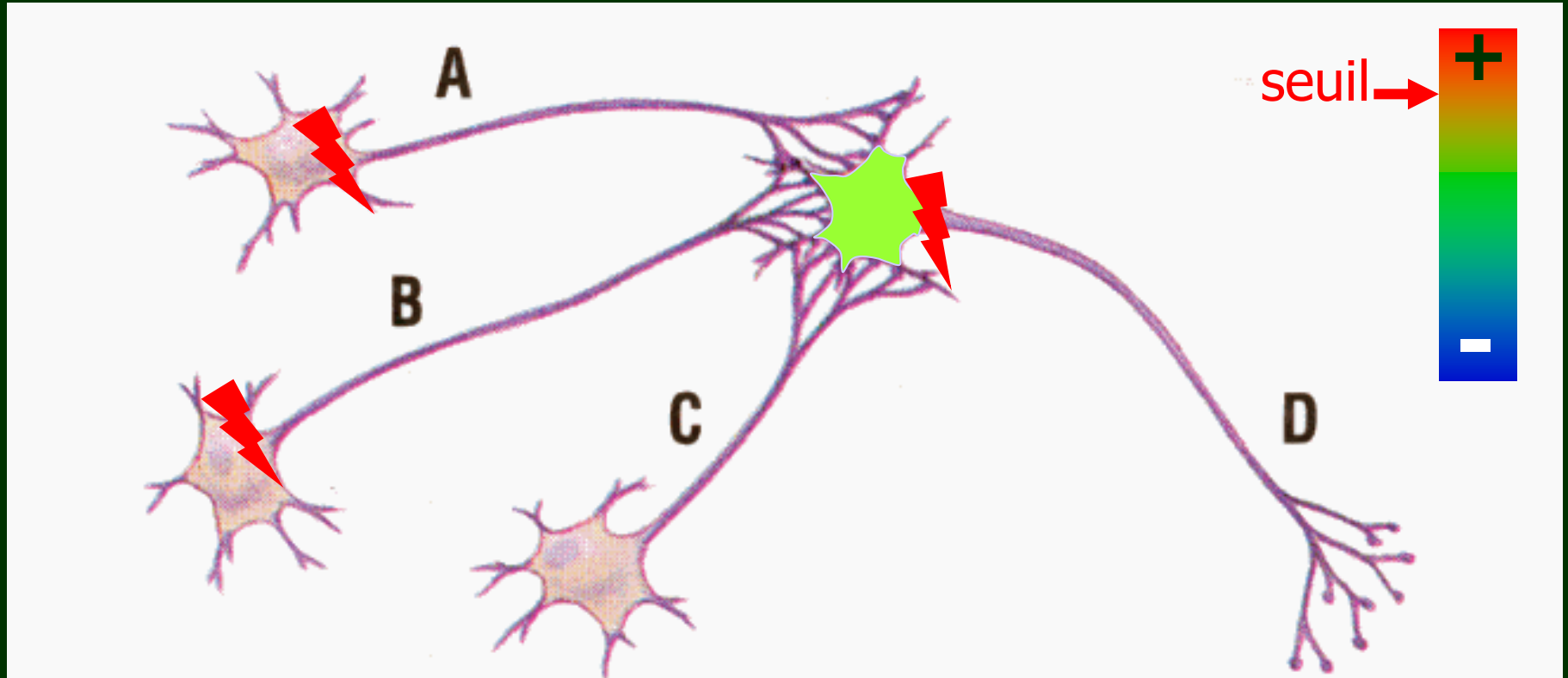


Messages activateurs et inhibiteurs



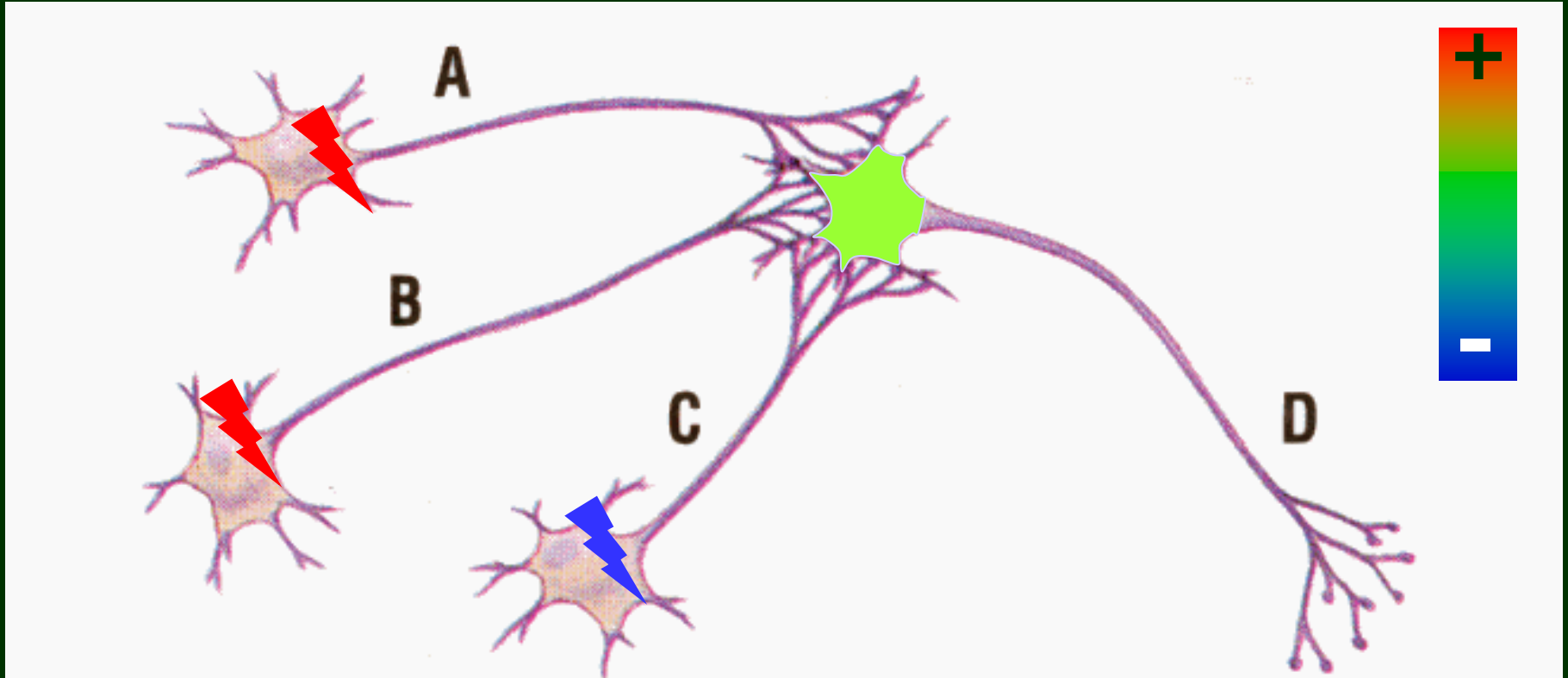
Modulation de l'activité du neurone cible: + ou -

Messages efficaces



Modulation suffisante du potentiel de repos :
=> génération d'une activité dans le neurone cible

Messages neutralisés

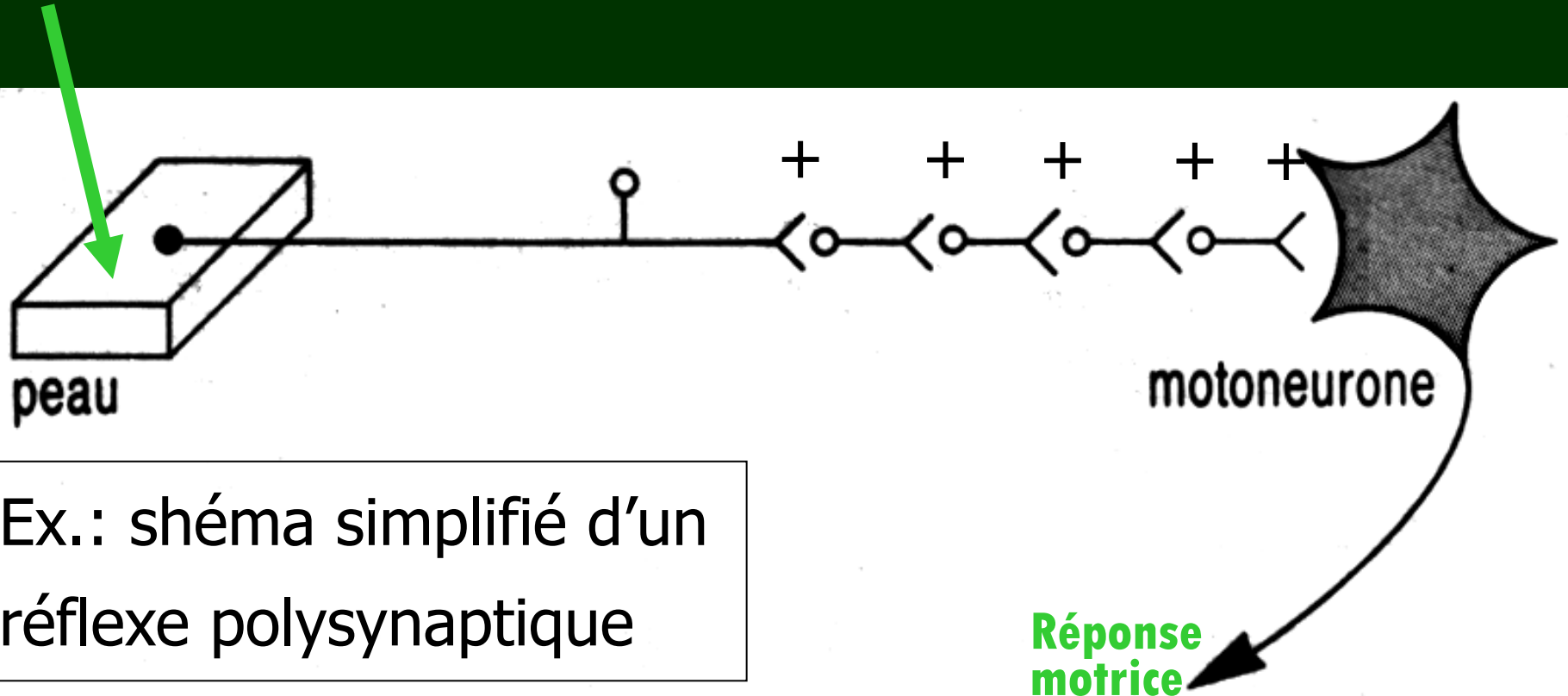


Modulation du potentiel de repos: + ou –

=> sommation des modulations au niveau du soma

Un circuit élémentaire

stimulus



Mais les fonctions cérébrales reposent sur des réseaux distribués beaucoup plus complexes, intégrant d'innombrables excitations et inhibitions

Fonctions des neurones

Réception : *sensorielle* : transformation d'un stimulus en
activité neuronale (transduction)

dendritique : sensibilité aux messages neuronaux
pré-synaptiques

Intégration : recueil de multiples signaux pour en extraire
une information

Transmission : véhiculer un message d'un endroit à un autre
du SN (système nerveux): *afférences et efférences*

Modulations des neurones

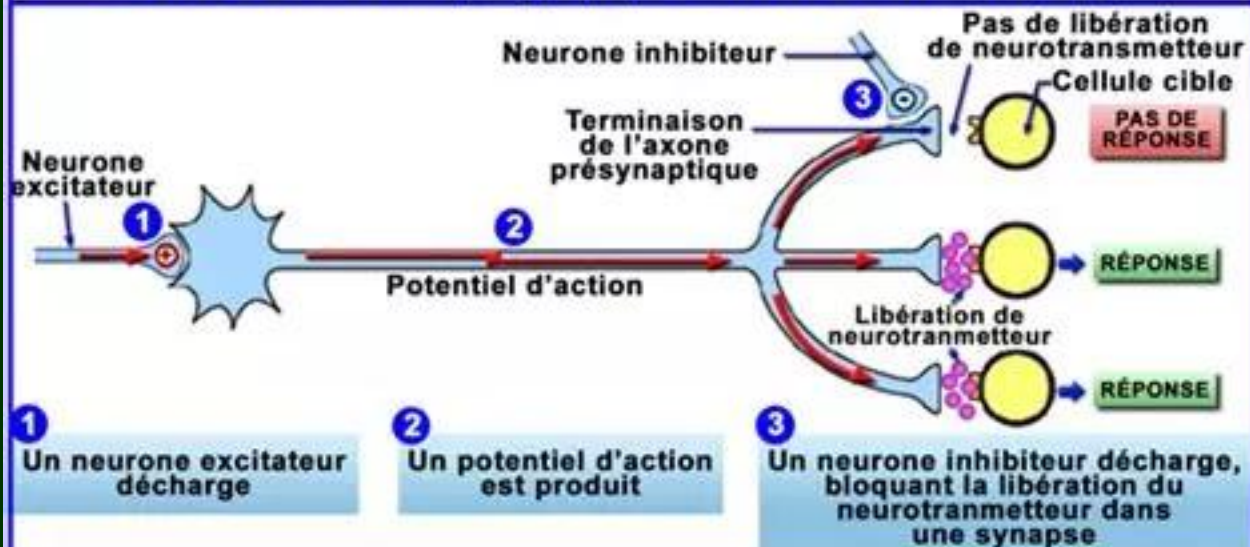
Réception : *sensorielle* : transduction

dendritique : membrane post-synaptique et interférences métaboliques avec la chaîne des messagers secondaires

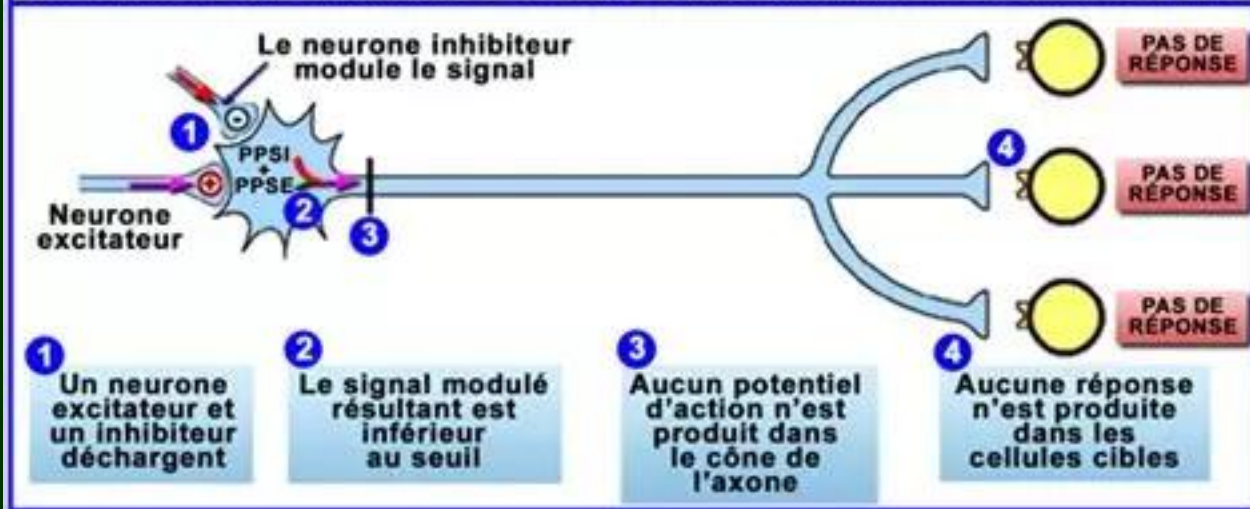
Intégration : inhibition post-synaptique

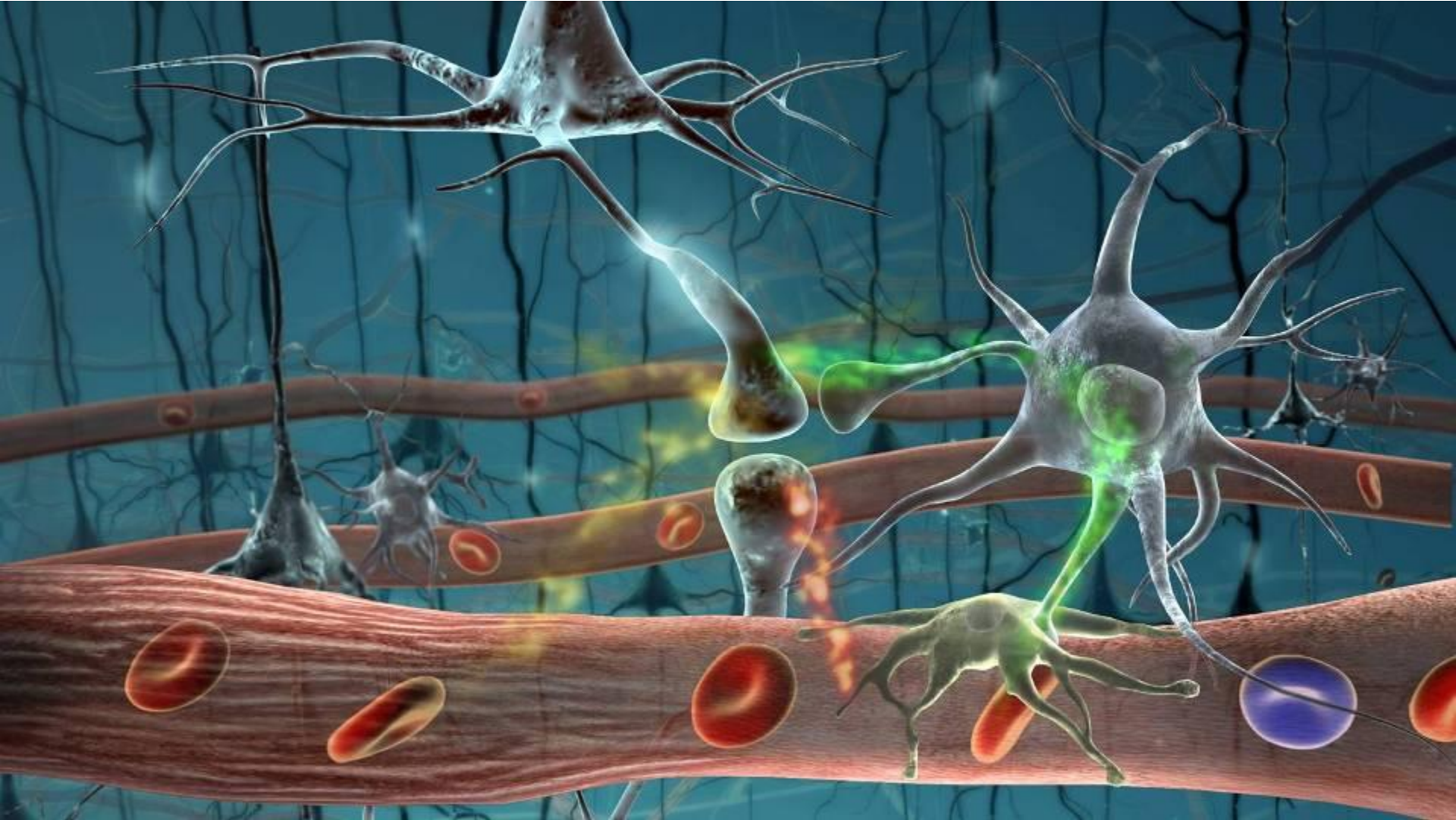
Transmission : synthèse des neurotransmetteurs, inhibition pré-synaptique, canaux à Ca^{++}

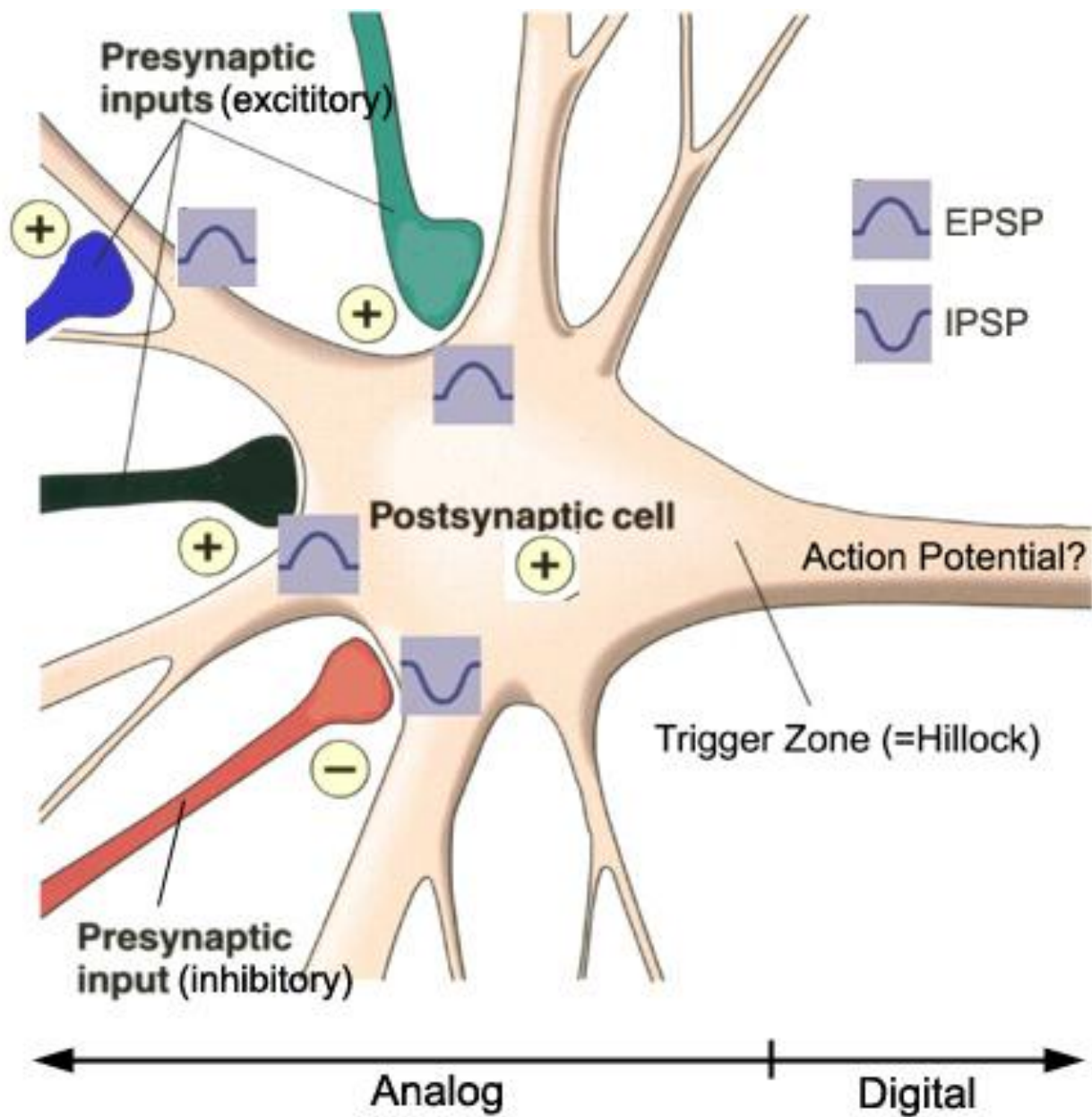
INHIBITION PRÉSYNAPTIQUE - Un neurone modulateur fait synapse avec une collatérale d'un neurone présynaptique et inhibe sélectivement une cible.



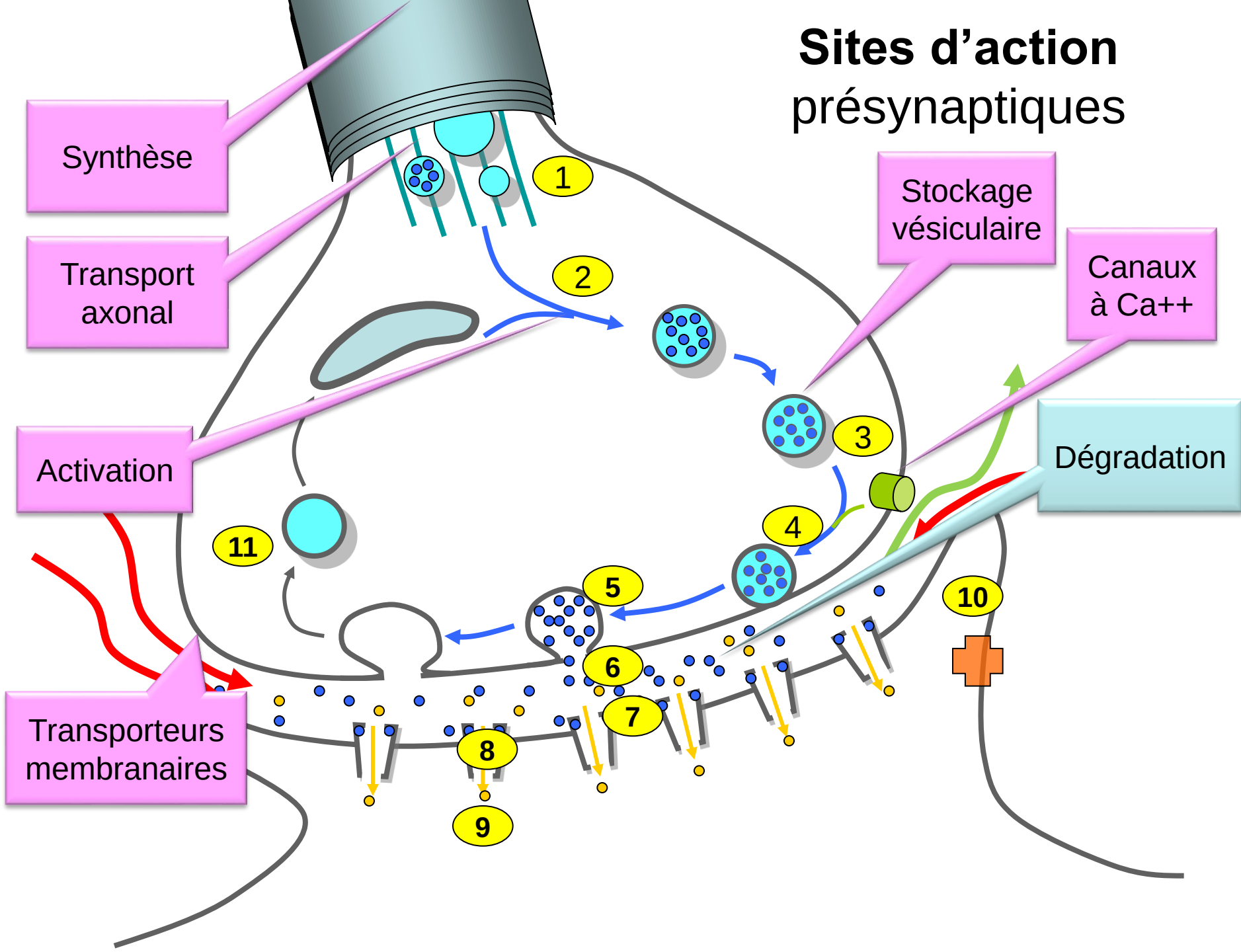
INHIBITION POSTSYNAPTIQUE - Toutes les cibles sont inhibées de manière égale



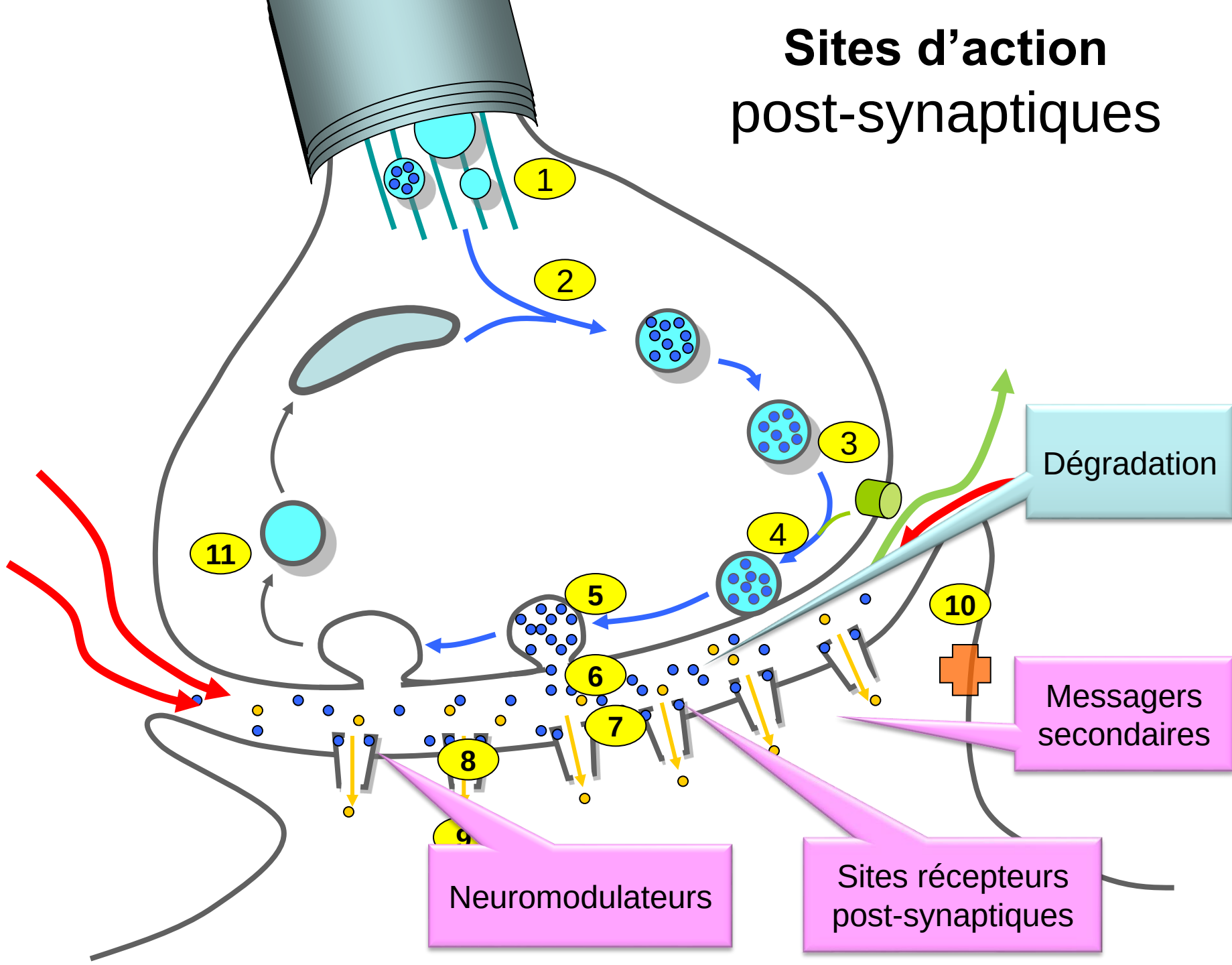




Sites d'action présynaptiques



Sites d'action post-synaptiques

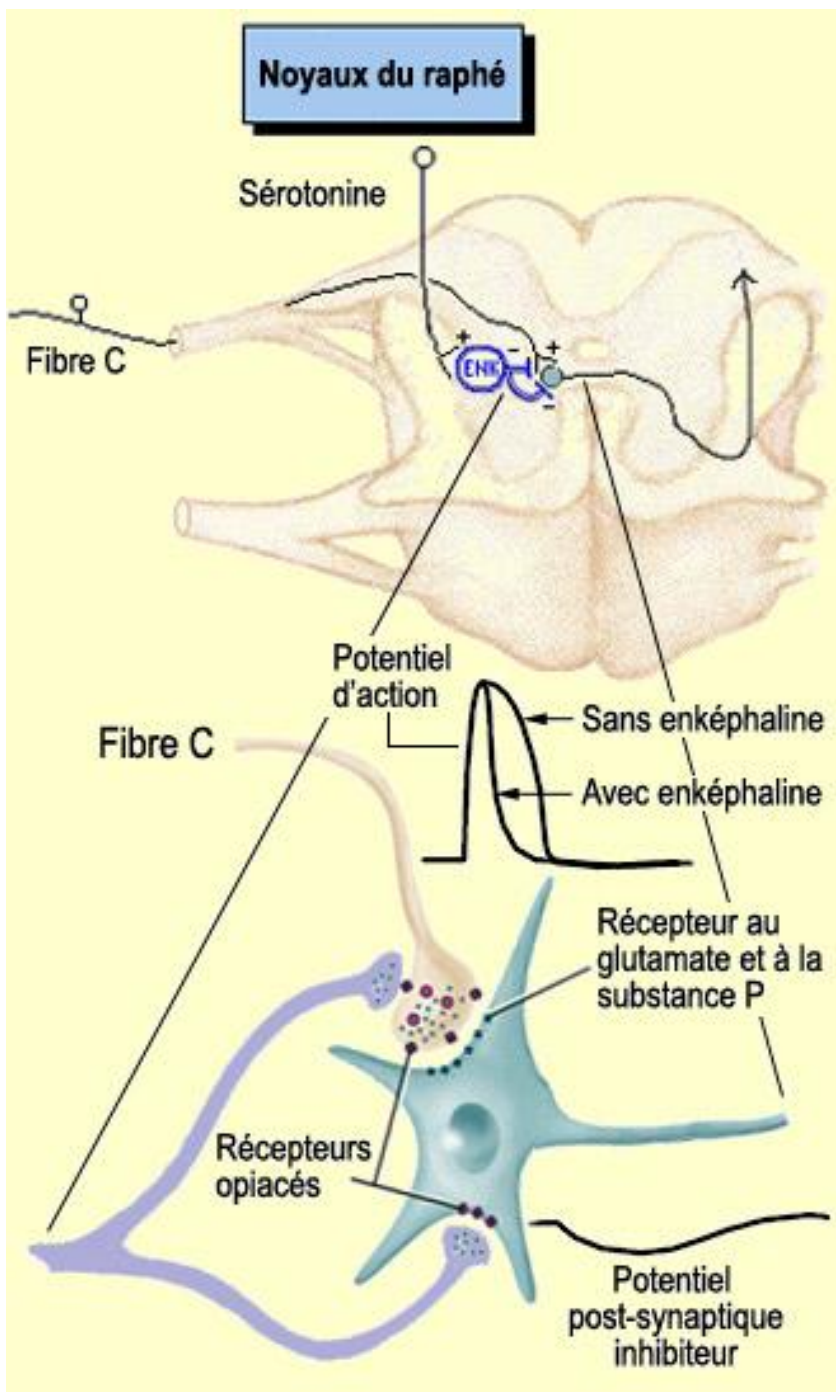


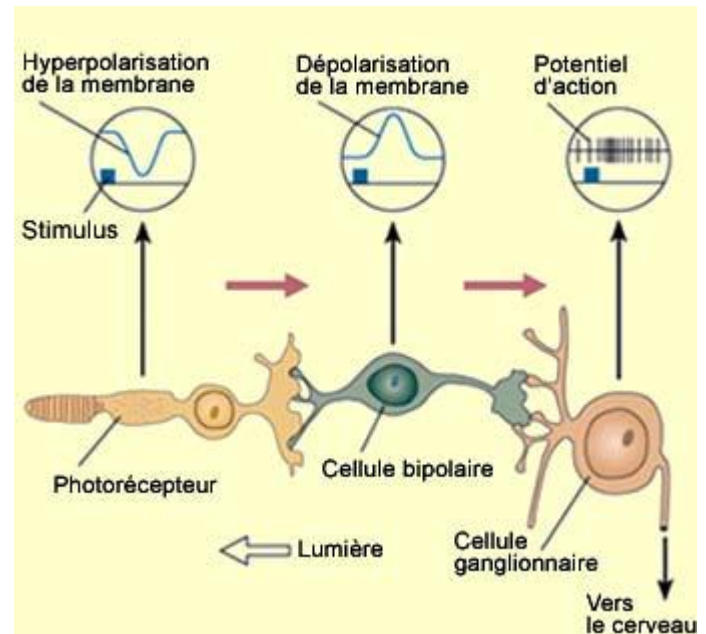
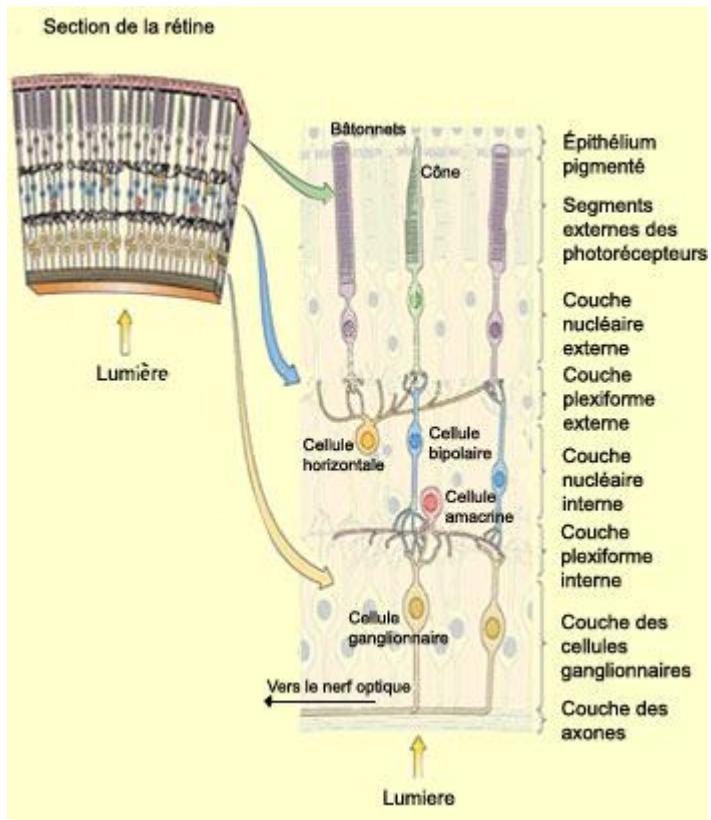
Intégration des messages nociceptifs

Les interneurones de la corne dorsale exercent leur inhibition en libérant des opiacés endogènes qui vont agir sur des récepteurs spécifiques situés tant sur les terminaisons des afférences nociceptives primaires que directement sur les neurones convergents. à la fois au niveau pré et post-synaptique, l'inhibition est doublement efficace, diminuant l'importance du message nociceptif transmis et réduisant les probabilités du neurone suivant d'émettre des potentiels d'action en l'hyperpolarisant.

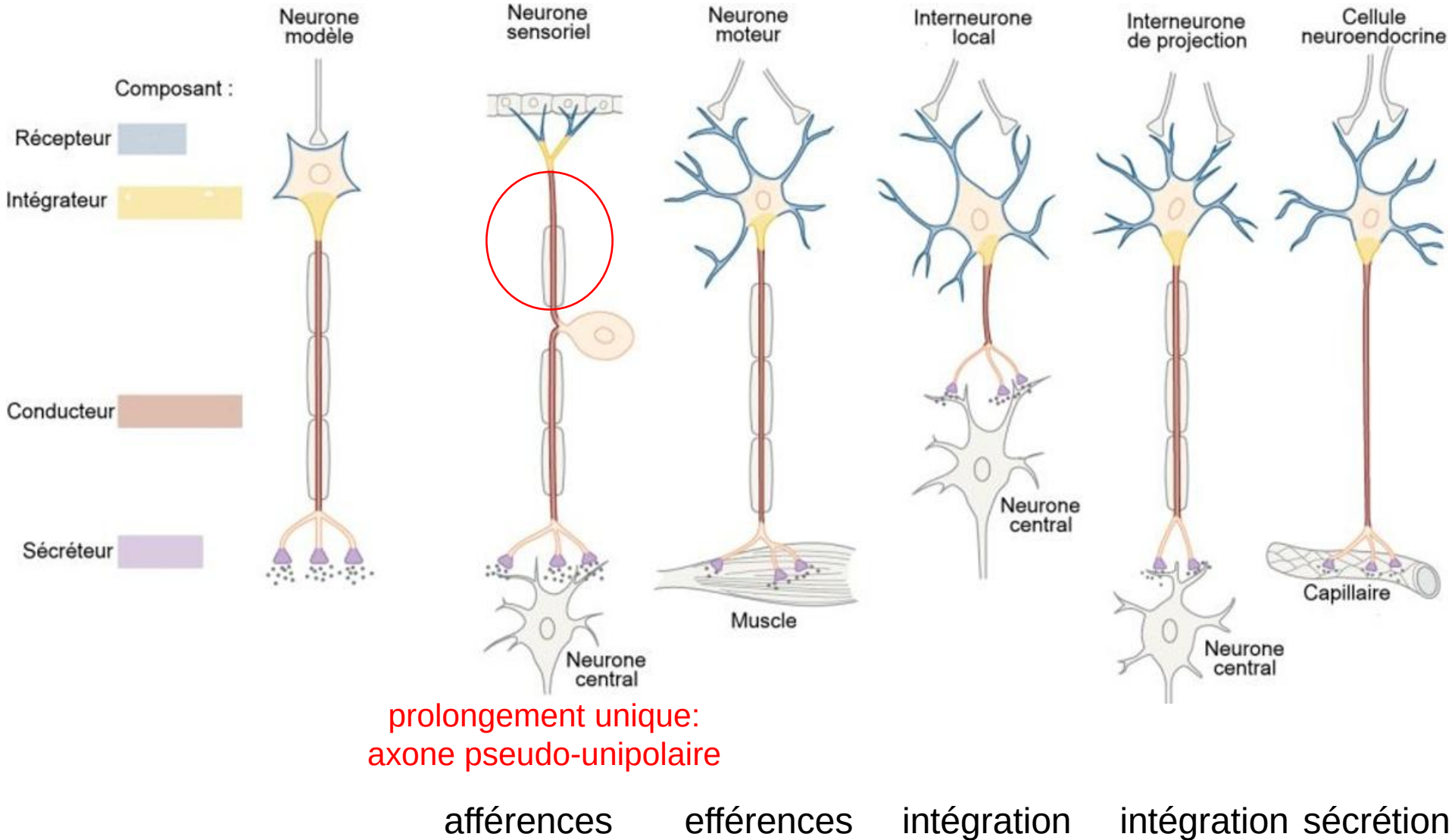
Les interneurones (en mauve) utilisent le neurotransmetteur enképhaline pour inhiber de deux façons le neurone de projection (en vert).

© le cerveau dans tous ses états

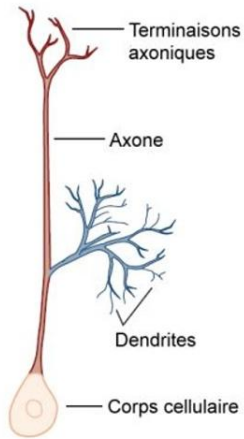




Morphologies et fonctions neuronales

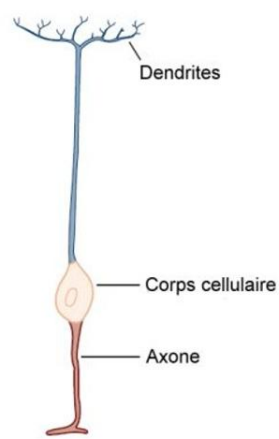


A Neurone unipolaire



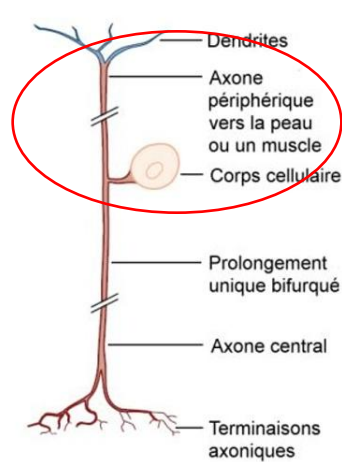
Neurone d'invertébré

B Neurone bipolaire



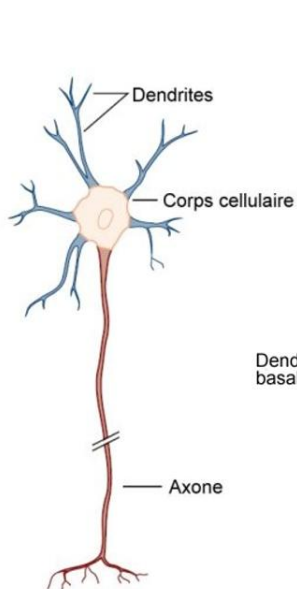
Neurone bipolaire de la rétine

C Neurone pseudo-unipolaire

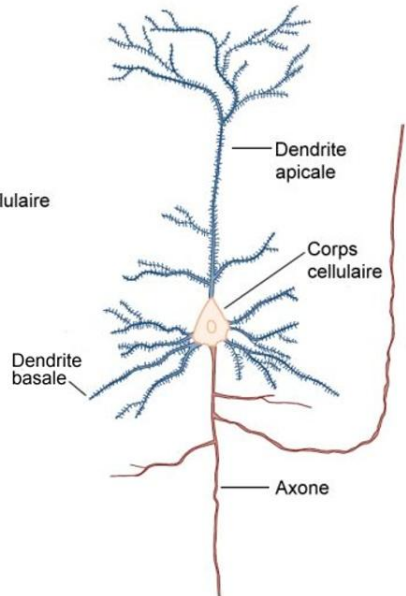


Neurone ganglionnaire de racine dorsale

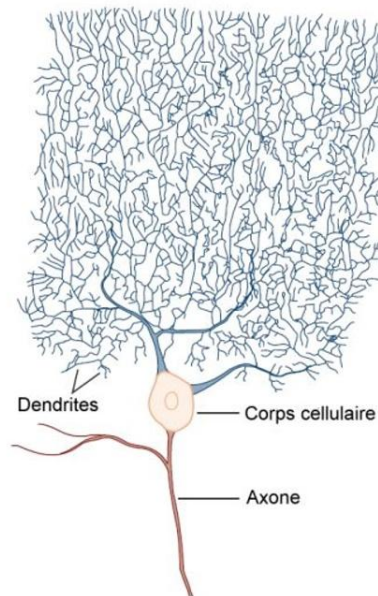
D Trois types de neurones multipolaires



Neurone moteur de la moelle épinière

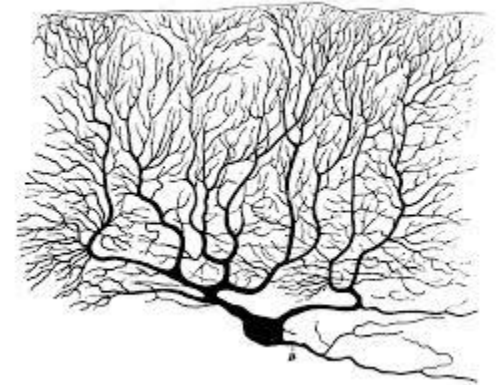


Cellule pyramidale de l'hippocampe

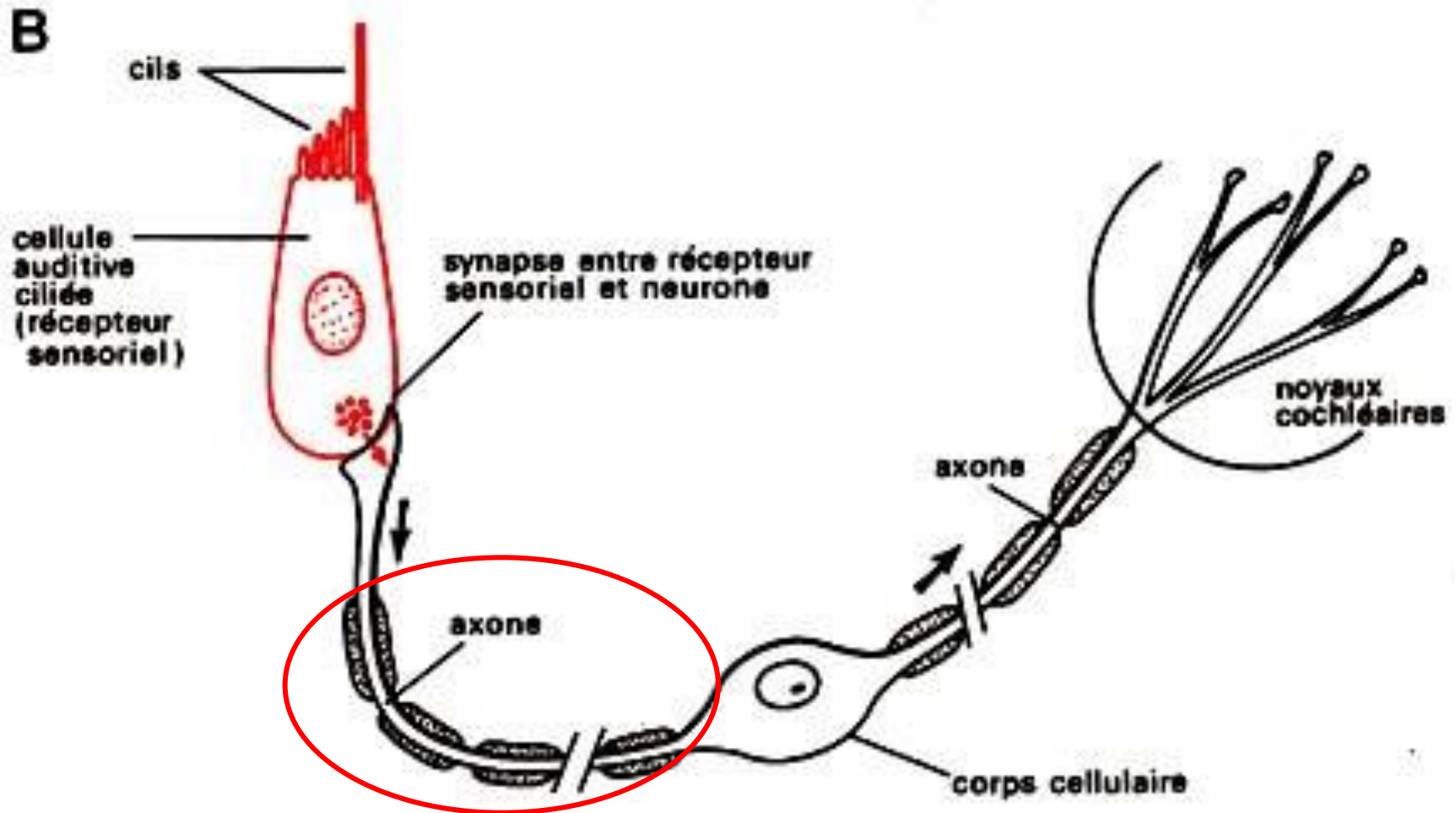


Cellule de Purkinje du cervelet

Morphologies et fonctions neuronales



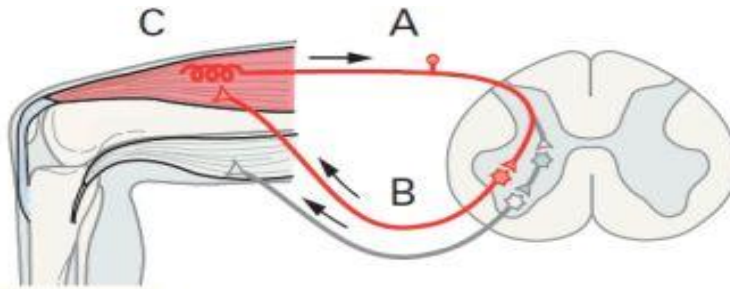
Exemple 1: les récepteurs auditifs: transduction mécanique



NB le cas des neurones récepteurs:

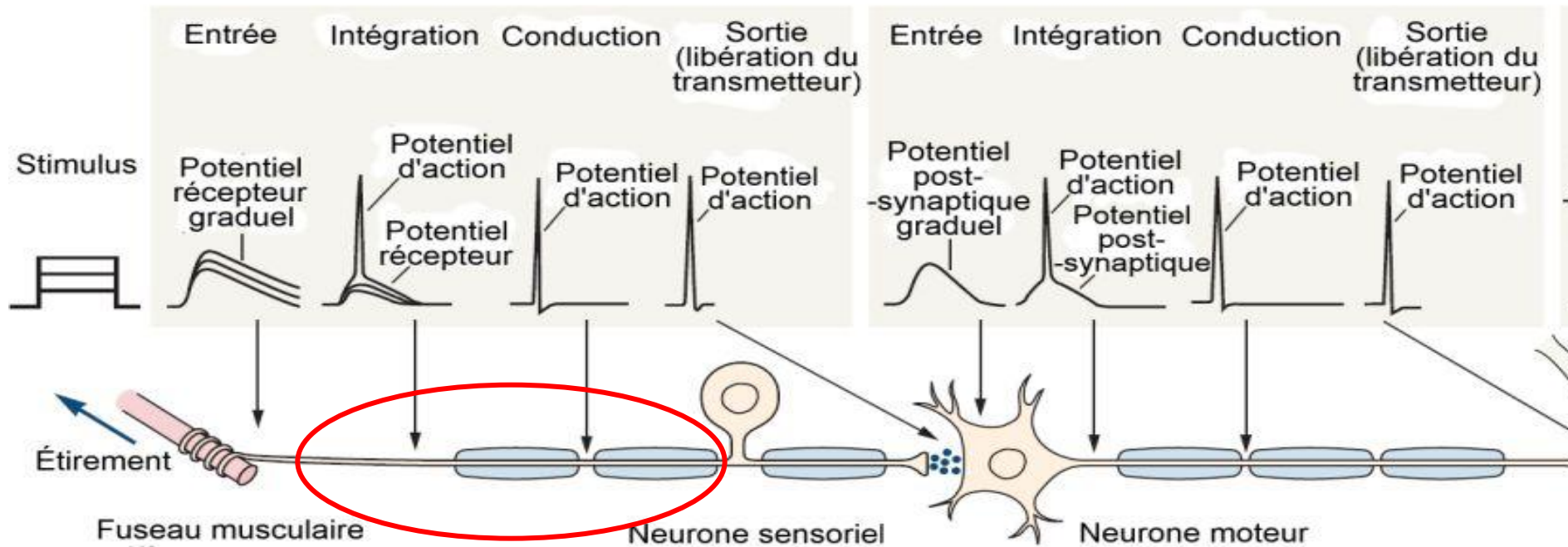
- un axone vrai
- un prolongement périphérique (structure = axone mais fonction ~ dendrite)

Exemple 2: le réflexe myotatique

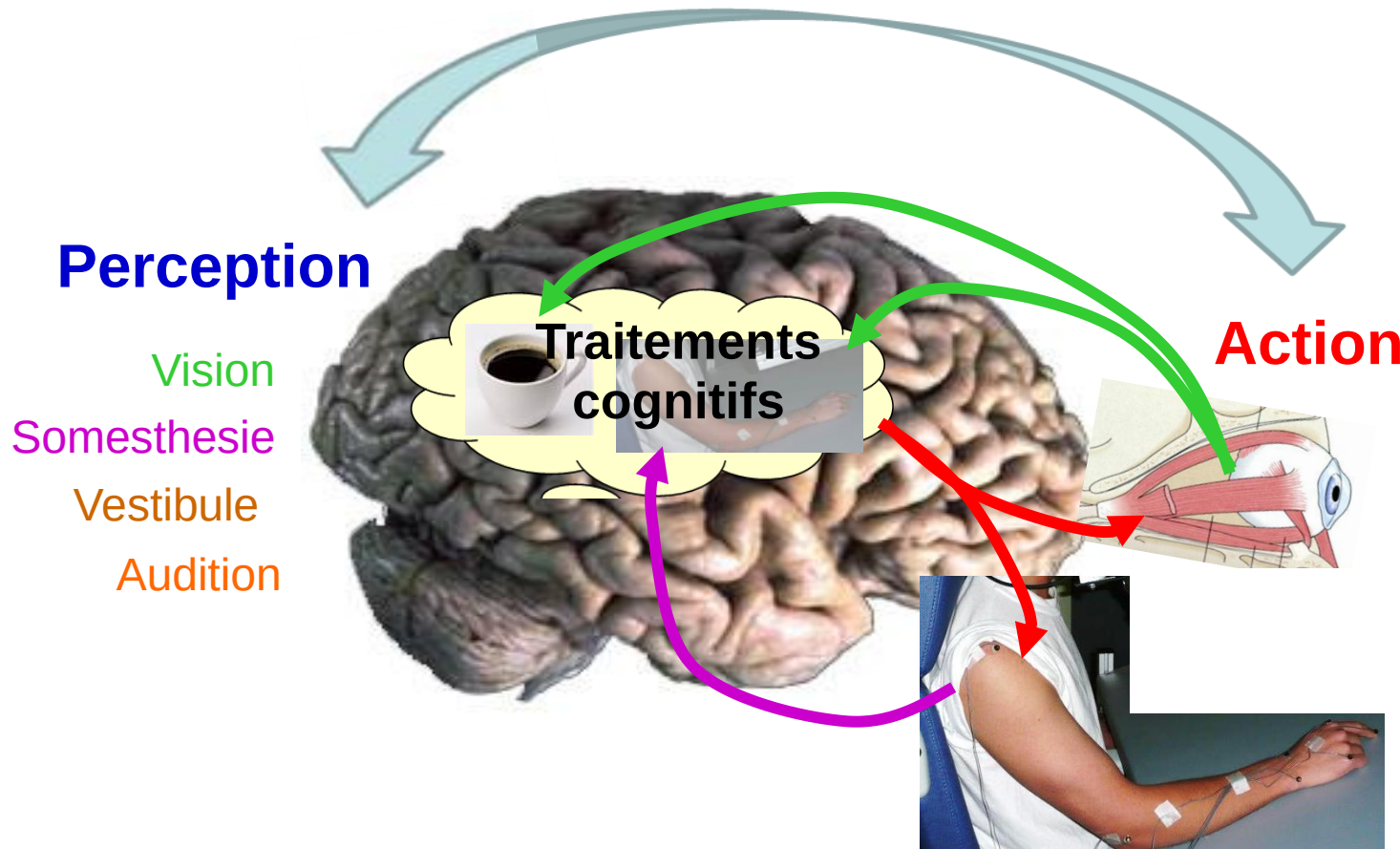


A Signaux sensoriels

B Signaux moteurs



Mêmes principes au niveau cérébral: entrées, intégrations, sorties



Les réseaux de neurones

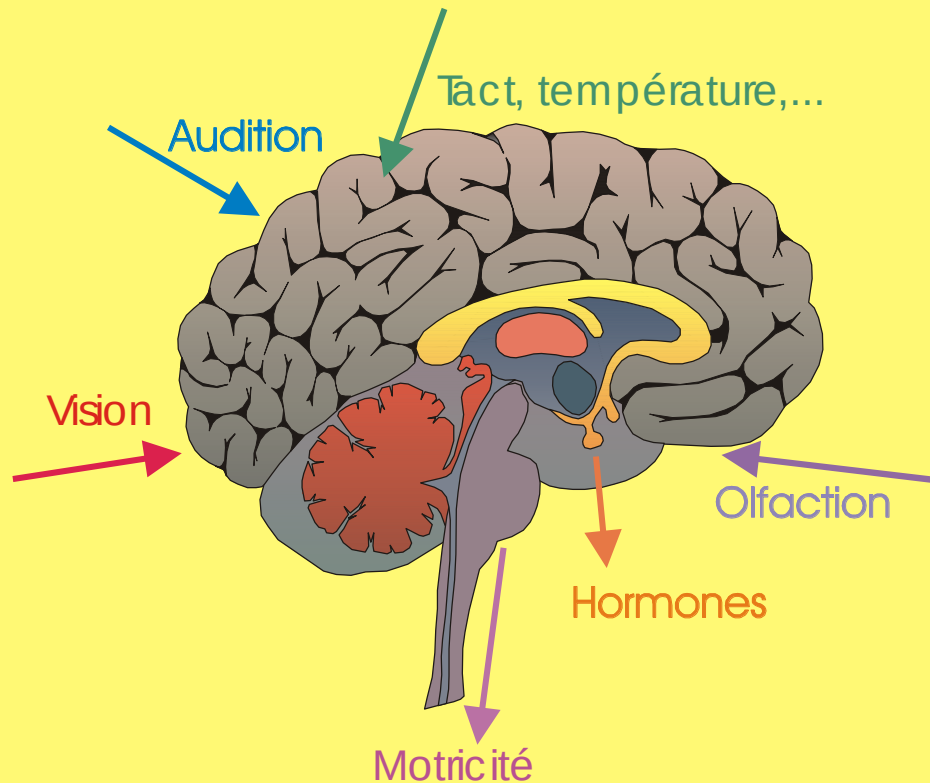
Convergence

Divergence

Parallélisme

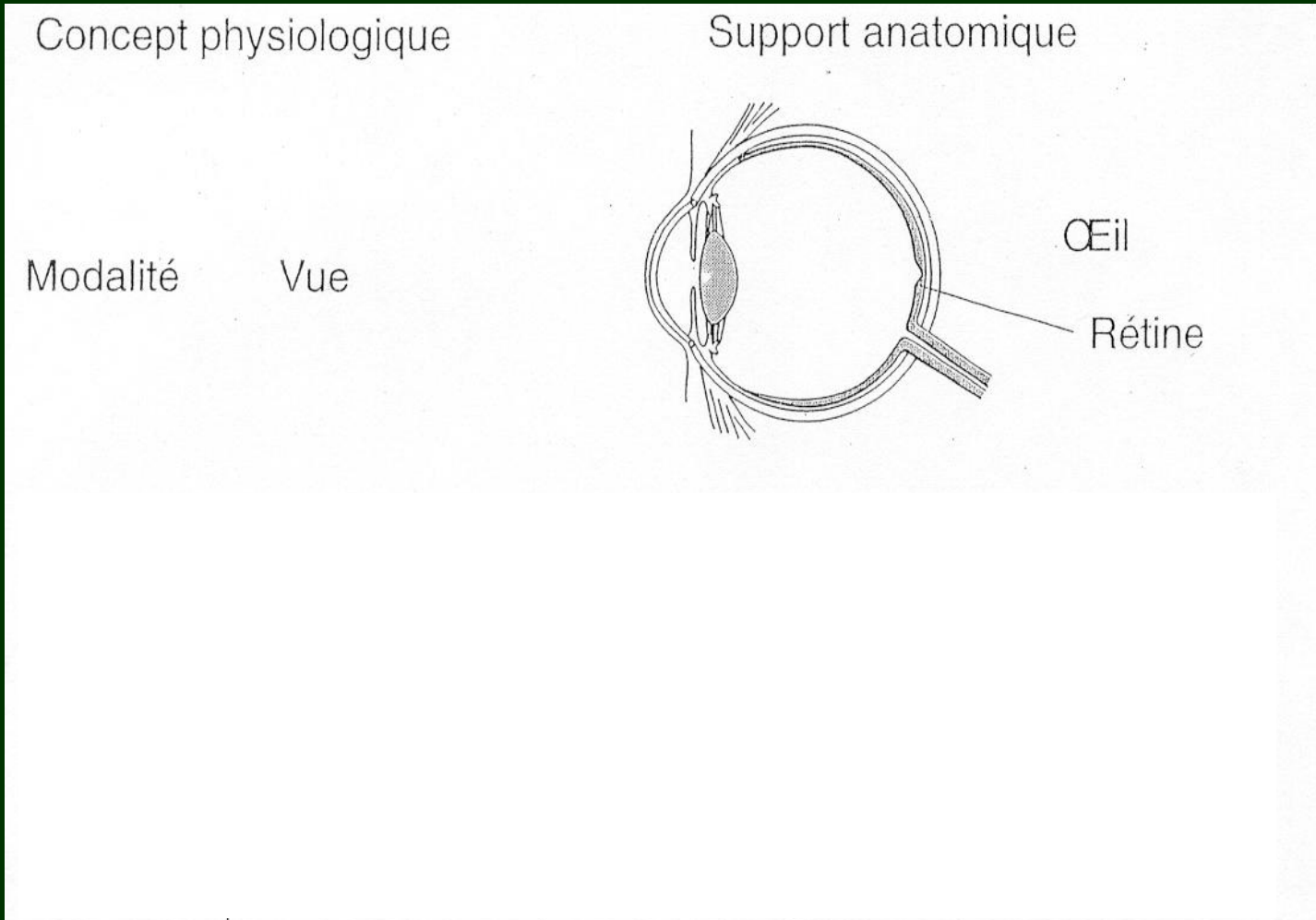
Aires, systèmes et réseaux

ENTREES-SORTIES



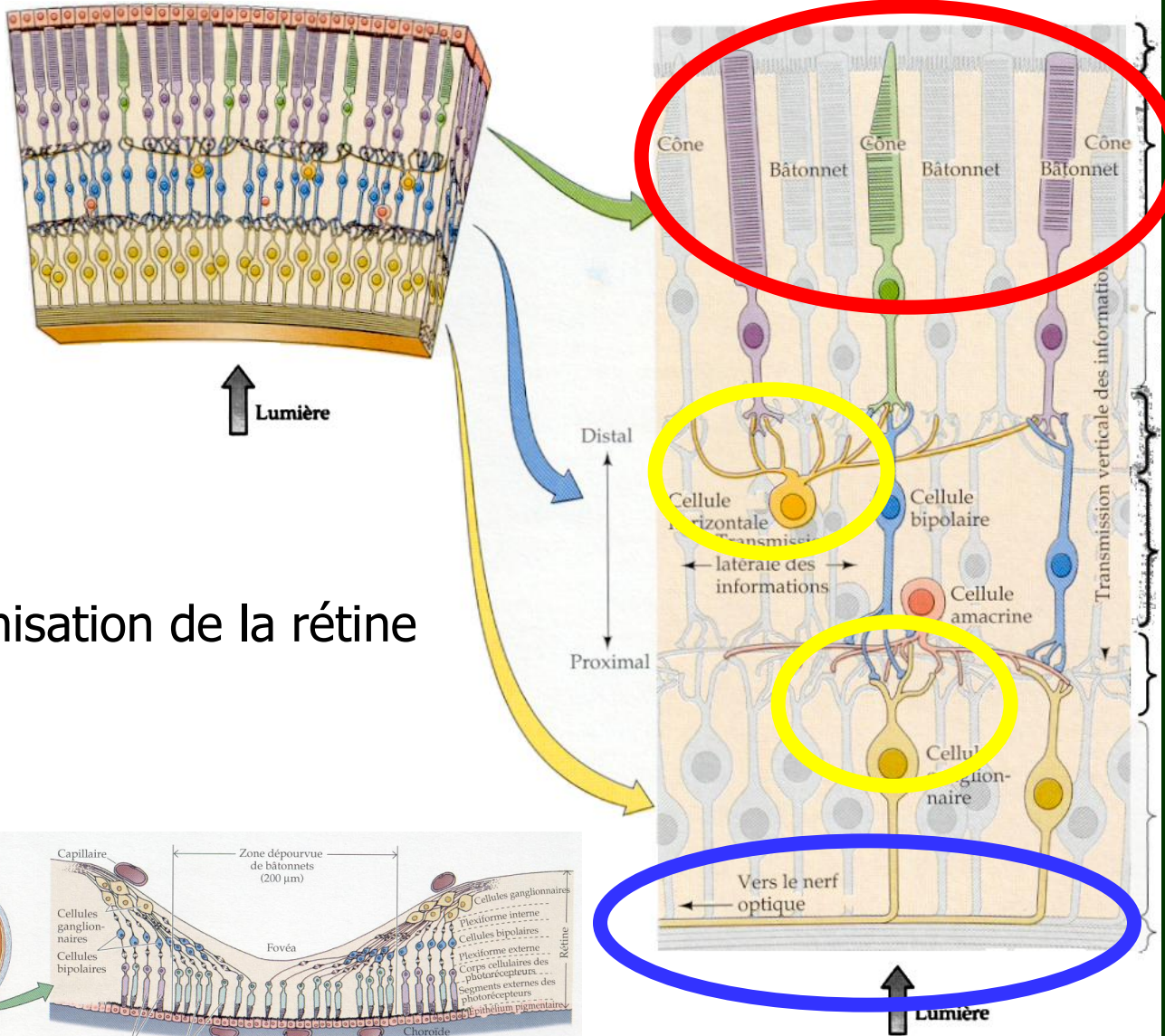
+ traitements cognitifs ...

Récepteurs visuels



Exemple: La rétine

Organisation de la rétine



réception

intégration

transmission

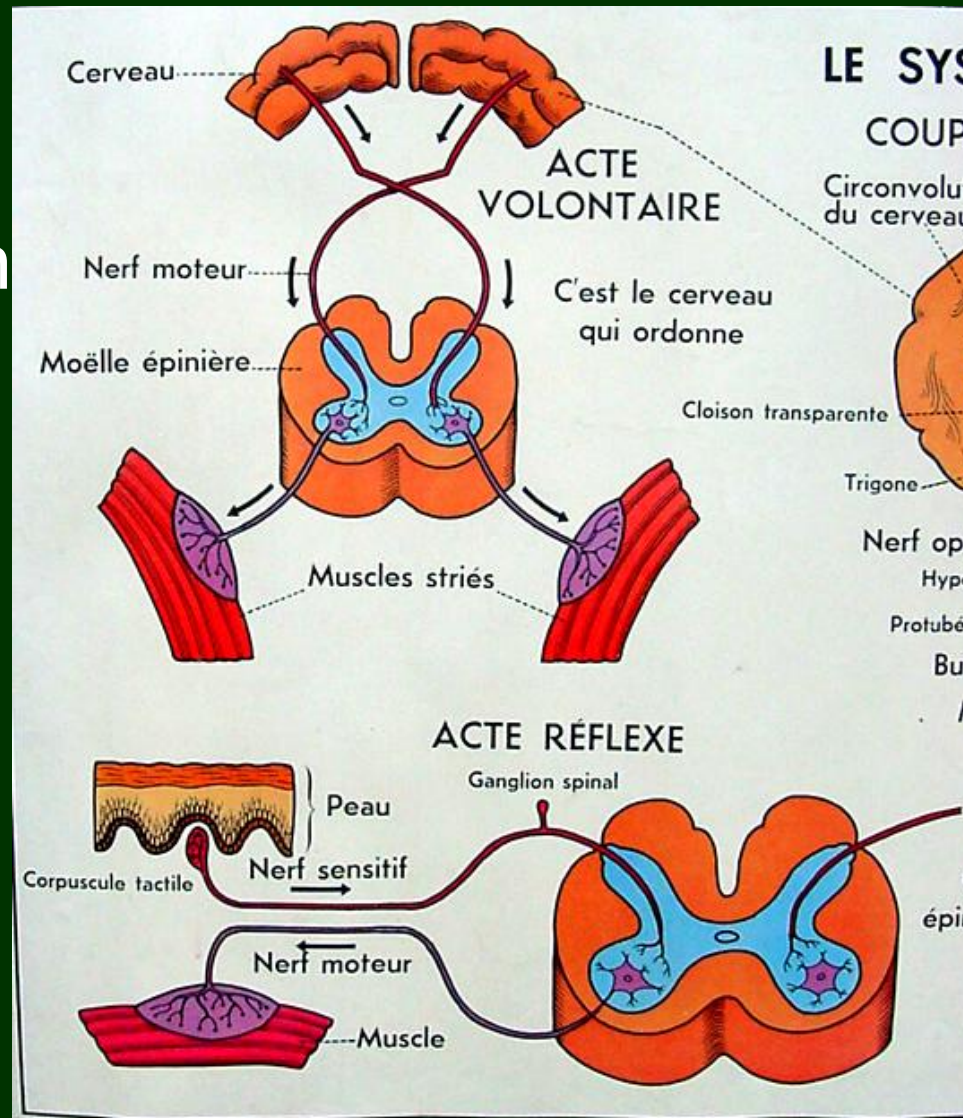
Voies de transmission:

ex: commande motrice volontaire

Commande
(cortex)

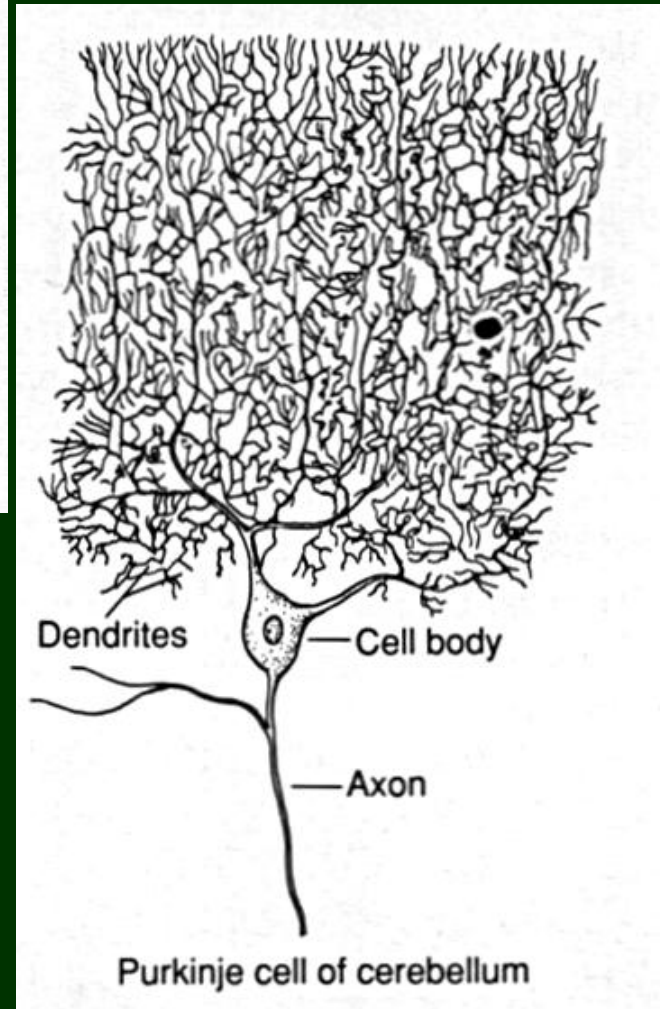
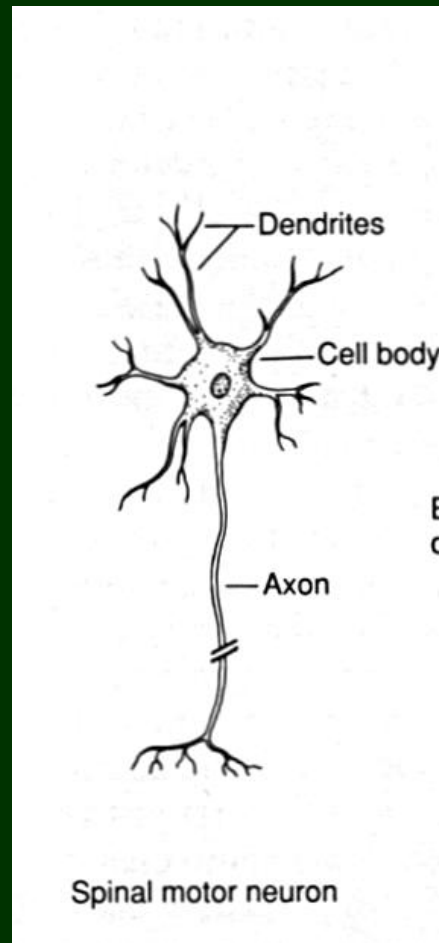
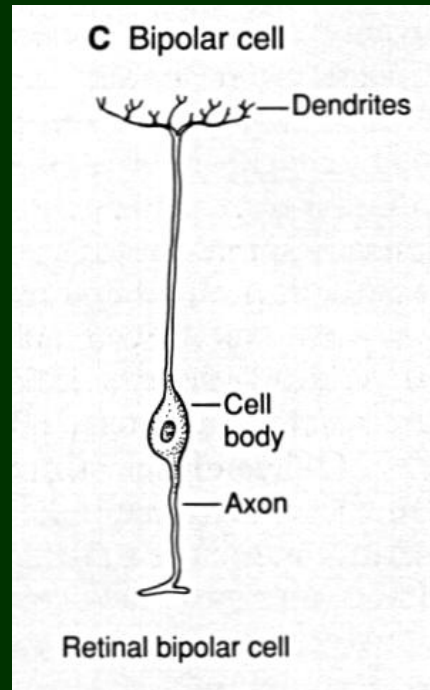
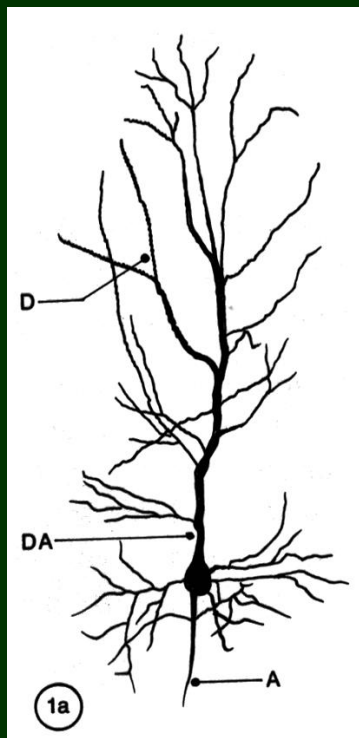
Transmission
(voies, nerfs)

Effecteurs
(muscles)



+ voies de la sensibilité

Morphologie et fonction des neurones



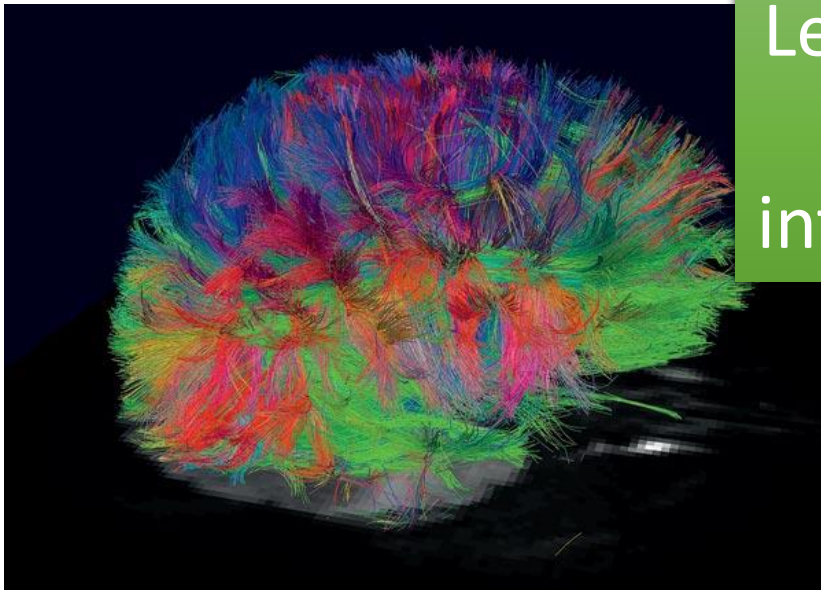
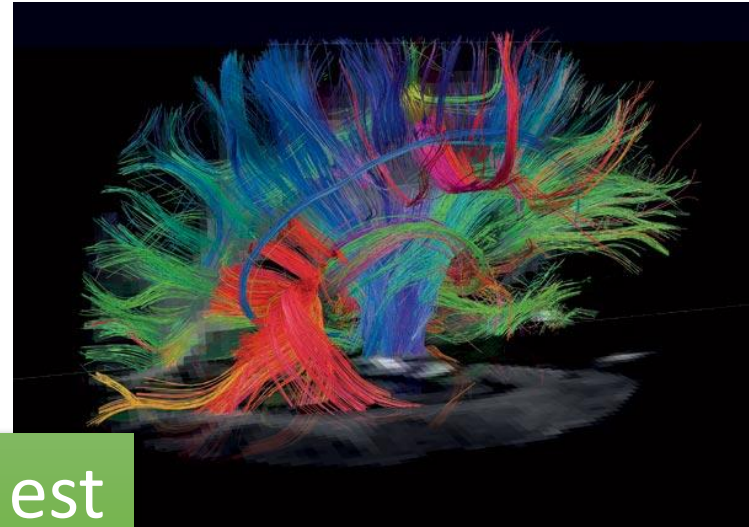
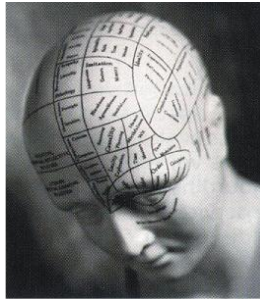
4. Les réseaux de neurones

Convergence

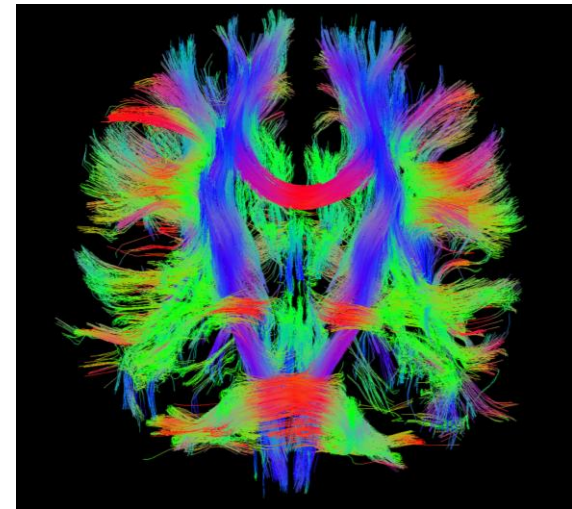
Divergence

Parallélisme

Aires, systèmes et réseaux



Le cerveau est
surtout
interconnecté!

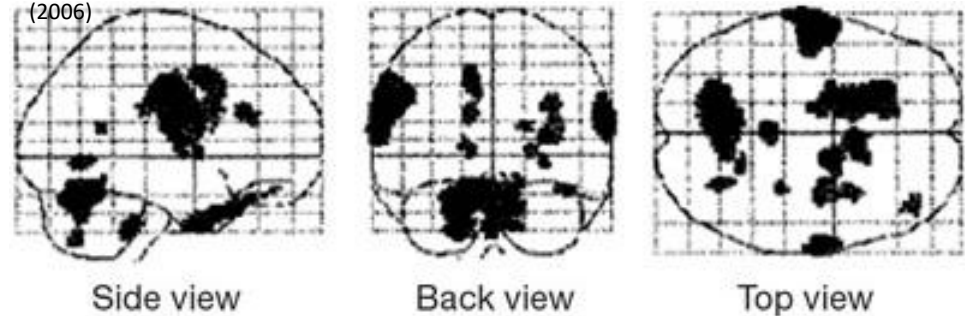


Les sorties et les entrées peuvent être bien localisées et latéralisées



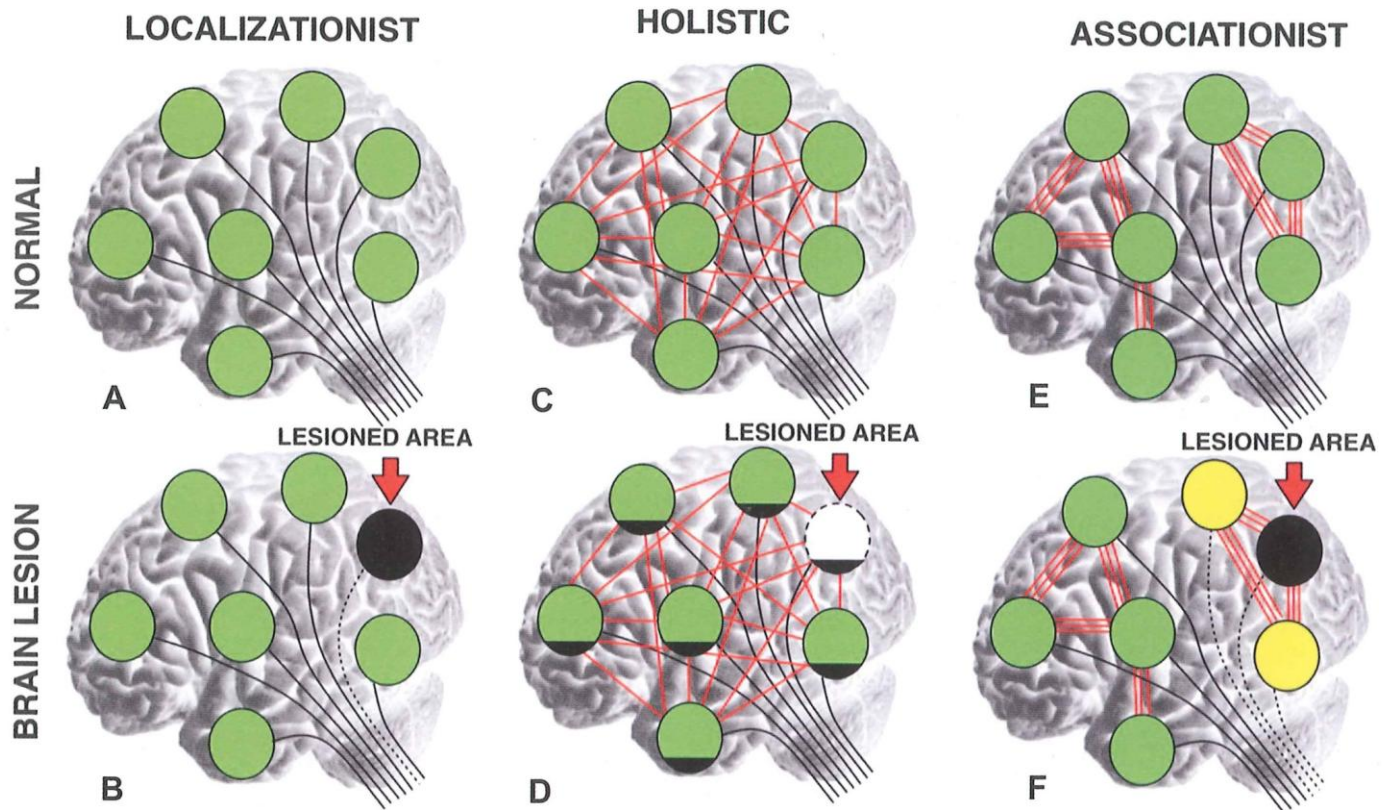
Toutes les fonctions complexes utilisent des réseaux bilatéraux

[Role of cerebral cortex in the control of swallowing](#); Shaheen Hamdy , GI Motility online (2006)



The group mean statistical parametric mapping (SPMz) maps of the areas of increased regional cerebral blood flow (rCBF) associated with swallowing are shown as three orthogonal projections through sagittal (side view), coronal (back view), and transverse (top view) views of the brain. A threshold of $p = .001$ was applied. A number of areas are activated, including regions corresponding to sensorimotor cortex, bilaterally, right insula, left cerebellum, left mesial frontal cortex, temporopolar cortex, and dorsal brain stem.

Conceptions cérébrales



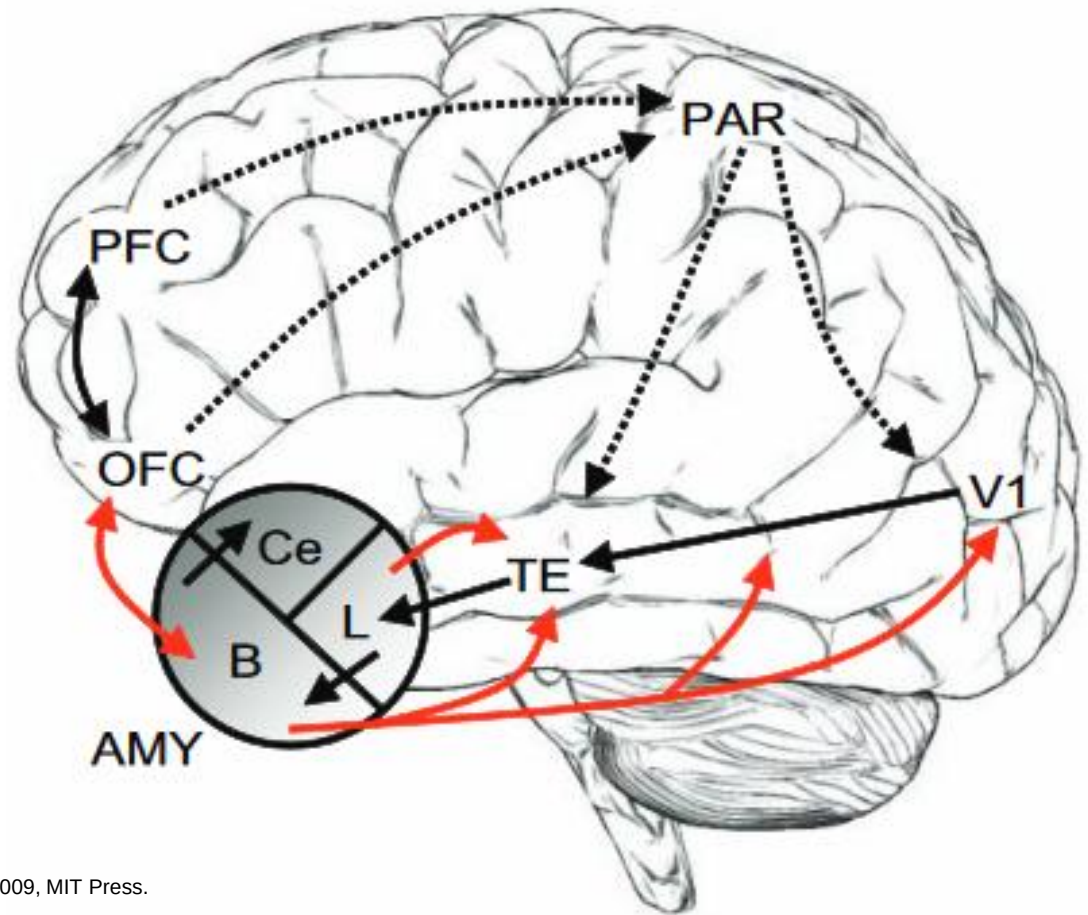
Catani Cortex 2012

Des réseaux cortico - sous-corticaux

Current Directions in Psychological Science
2012

William A. Cunningham and Tobias Brosch

Brain areas involved in motivational salience. The amygdala (AMY) has dense reciprocal connections with widespread regions in the cortex, including all stages of the perceptual pathways (primary visual cortex, V1, inferior temporal cortex, TE) as well as prefrontal regions (orbitofrontal cortex, OFC, prefrontal cortex, PFC). This connectivity enables the amygdala to receive rich sensory information and to strengthen the neural representation of emotional stimuli via feedback to and from sensory pathways. Most of these projections arise from the basal nucleus of the amygdala (B). By contrast, most visual inputs to the amygdala project to the lateral nucleus (L), which then projects to the basal nucleus and back to higher-level areas only. In addition to its connectivity to sensory regions, the amygdala has multiple connections to prefrontal areas, which relay amygdala input to regions involved in more deliberate forms of decision making and allow for modulations of amygdala activity based on more complex motivational contingencies. Thus, following amygdala activation, multiple brain systems can dynamically reorganize to appropriately deal with the current environment. PAR = parietal cortex. Figure reprinted from "Interactions of emotion and attention in perception," by P. Vuilleumier, & T. Brosch, 2009, in M. S. Gazzaniga (Ed.), The cognitive neurosciences IV, p. 928, Cambridge, MA: MIT Press. Copyright 2009, MIT Press.



Neuromythologie : Le piège du « centre » d'une fonction cognitive dans le cerveau

C'est devenu monnaie courante de lire dans les grands médias qu'on a découvert, grâce aux appareils d'imagerie cérébrale, **le « centre » de la colère**, de la jalousie, de la générosité ou de toute autre émotion ou fonction cognitive particulière. Or il s'agit, au mieux, d'une **simplification à outrance**. Et au pire, carrément d'une fausseté.

Exemple : C'est la position défendue en février 2012 par le Dr. William A. Cunningham dans la revue *Current Directions in Psychological Science*. Son article déconstruit une vision très restrictive d'une région du cerveau que l'on appelle l'amygdale et qui est souvent associée dans la presse populaire au « **centre de la peur** ».

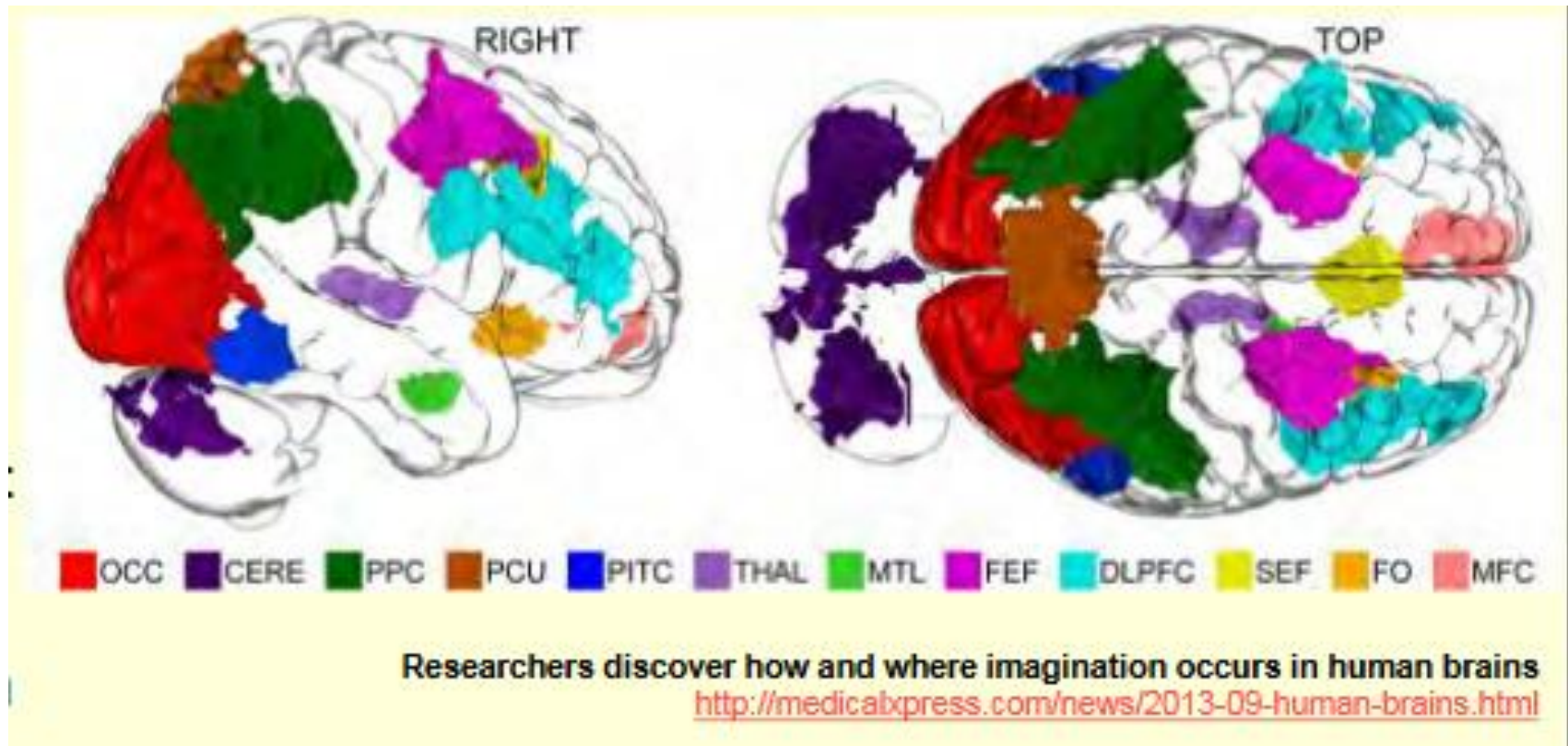
S'il est certain que l'amygdale devient très active quand une personne a peur de quelque chose, comme l'ont montré nombre d'expériences d'imagerie cérébrale, c'est loin d'être la seule situation où elle « s'enflamme » ainsi, note de Dr. Cunningham. En analysant de nombreuses études portant sur cette structure cérébrale, Cunningham constate que le rôle de l'amygdale est beaucoup plus subtil. Elle semble en effet s'activer en relation avec tout événement qui peut préoccuper quelqu'un à un instant donné. Se retrouver face à face avec un ours est effectivement une situation préoccupante. Mais voir de la bonne nourriture pour une personne qui a faim, ou un individu en détresse pour une personne empathique, aussi. Et des études montrent justement que l'amygdale est aussi très active dans ces situations.

Si **l'amygdale peut être active dans des situations si différentes**, c'est qu'elle n'agit jamais seule. En effet, le cerveau forme un vaste réseau de structures richement interconnectées et pour la moindre émotion ou tâche cognitive ce n'est jamais une seule région qui s'active, mais plusieurs. Deux, cinq, dix, douze, cela dépend de la fonction en question, de la précision des appareils, et même de la méthodologie employée (voir les 3e et 4e liens ci-bas).

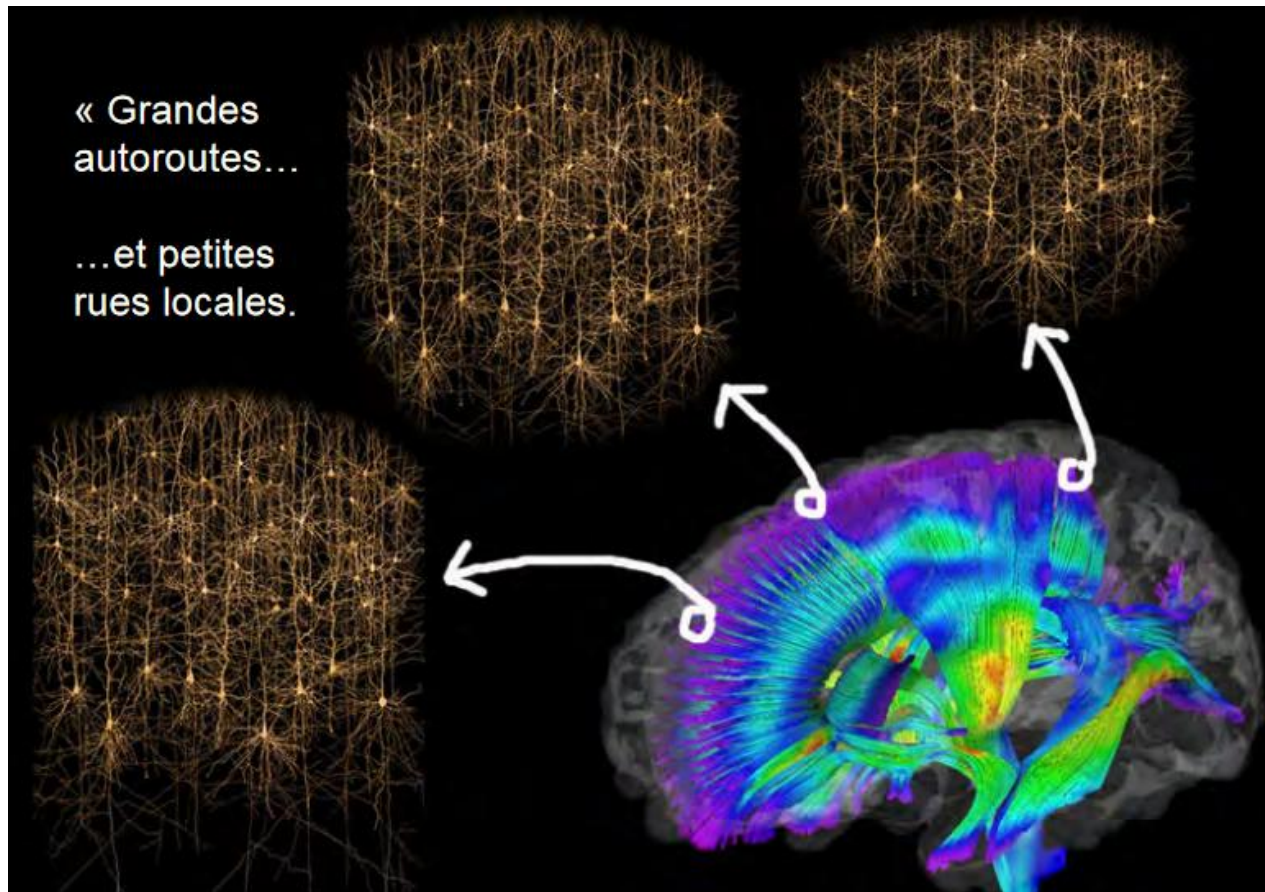
Une structure cérébrale particulière comme l'amygdale peut donc se retrouver à faire partie de différents réseaux fonctionnels dont l'activation distribuée dans l'ensemble du cerveau peut être associée, elle, à une tâche ou une émotion particulière.

Au lieu de vouloir imposer nos catégories langagières à des « centres » cérébraux qui en seraient responsables, mieux vaudrait alors considérer l'ensemble du réseau impliqué. Et peut-être un jour en arriver à déduire une fonction particulière pour une structure donnée, mais une fonction qui ne correspondrait alors pas nécessairement aux mots les plus vendeurs pour les grands médias. Comme la « préoccupation immédiate pour quoi que ce soit » dans le cas de l'amygdale qui, avouons-le, est tout de même moins sexy que la peur pour faire vendre de la copie...

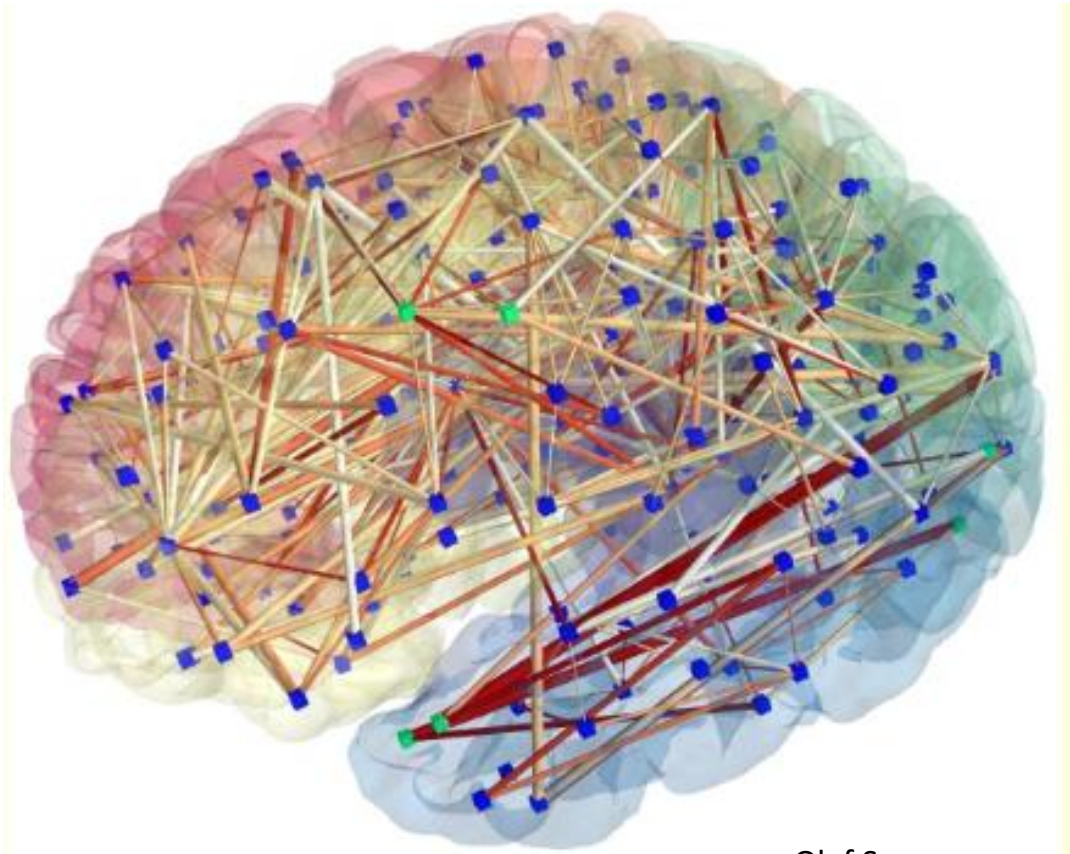
Espace de travail neuronal



'Network structure and dynamics of the mental workspace',
Alexander Schlegel, et al. PNAS 2013

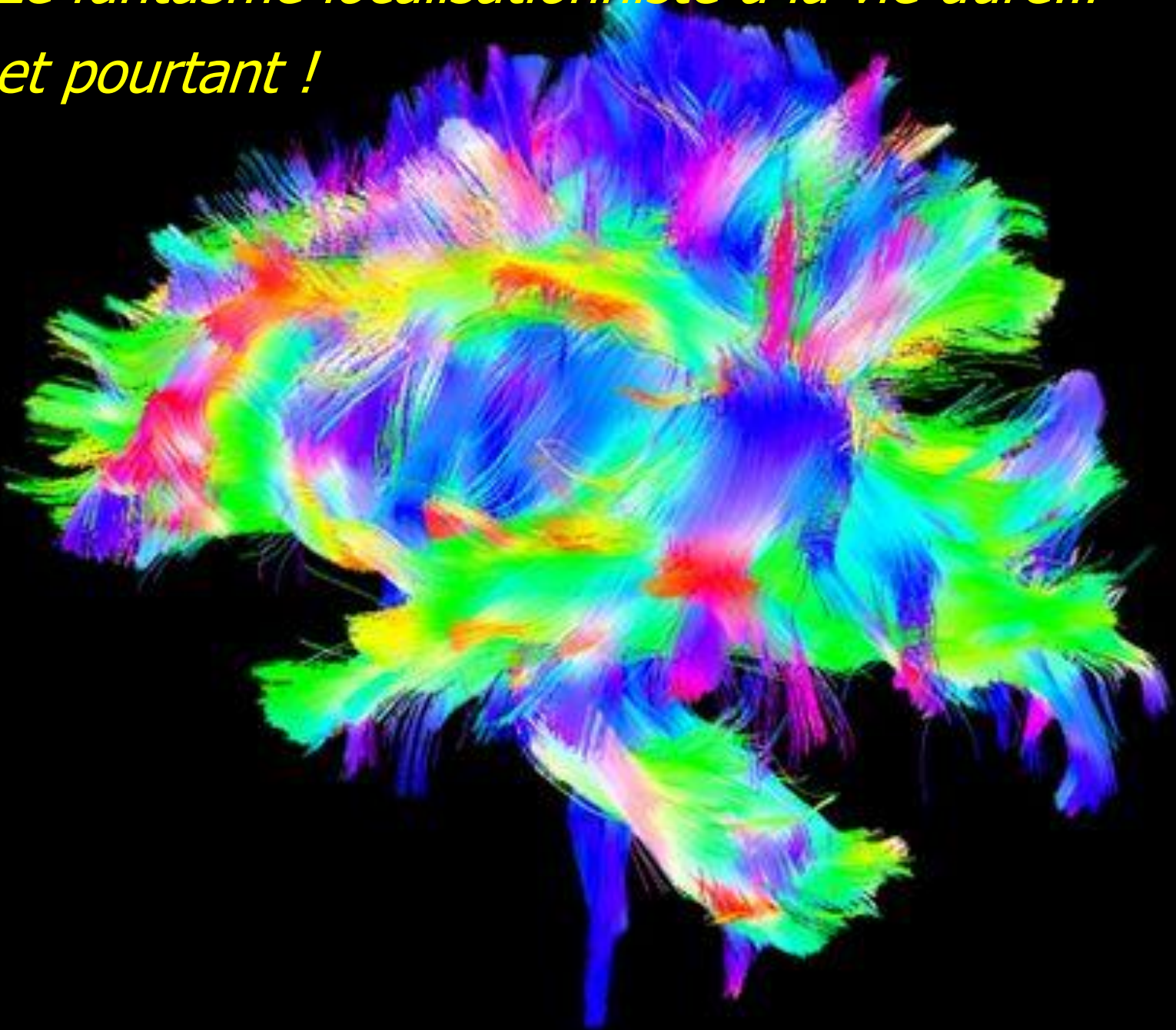


http://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop_pres/6-La%20cartographie%20du%20connectome%20humain%20et%20ses%20limites%20%E0%20diff%E9rentes%20%E9chelles%20-%20v%20finale%20-%20pour%20pfd.pdf



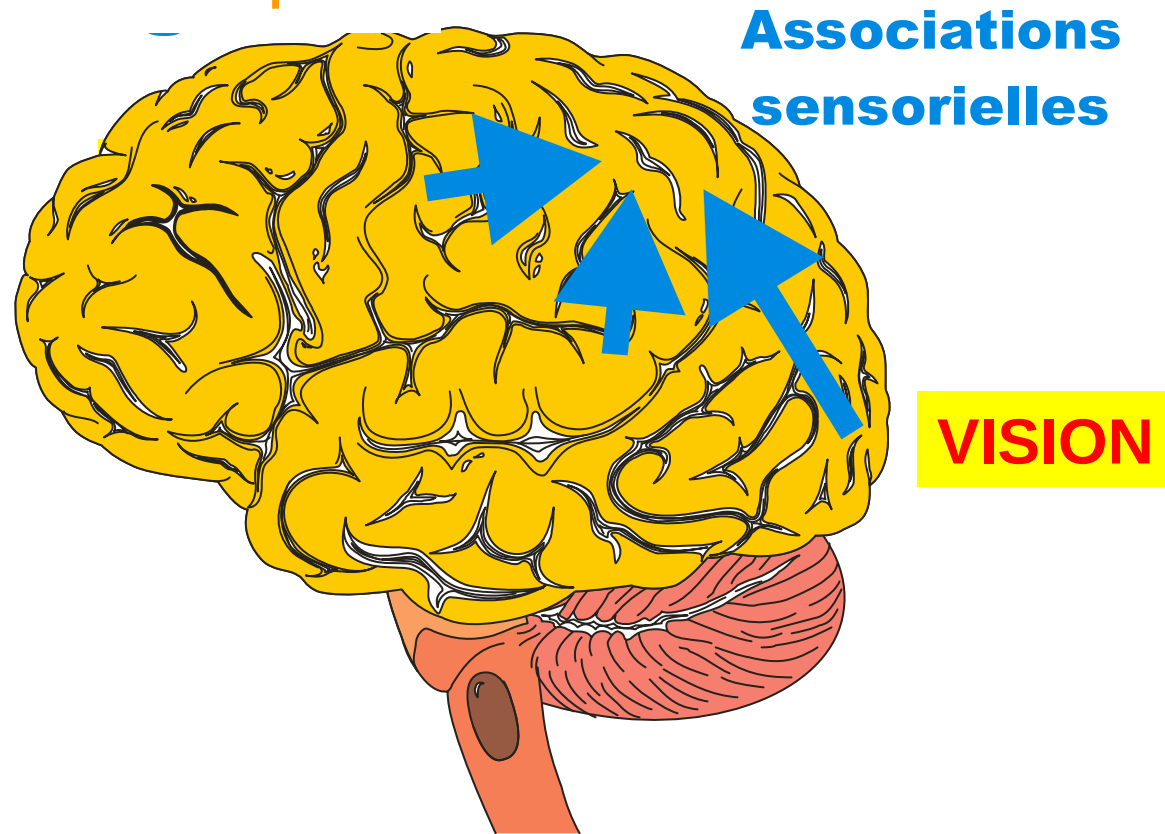
Olaf Sporns

*Le fantasme localisationniste a la vie dure...
et pourtant !*



CONVERGENCE

Ex: le sens de l'espace



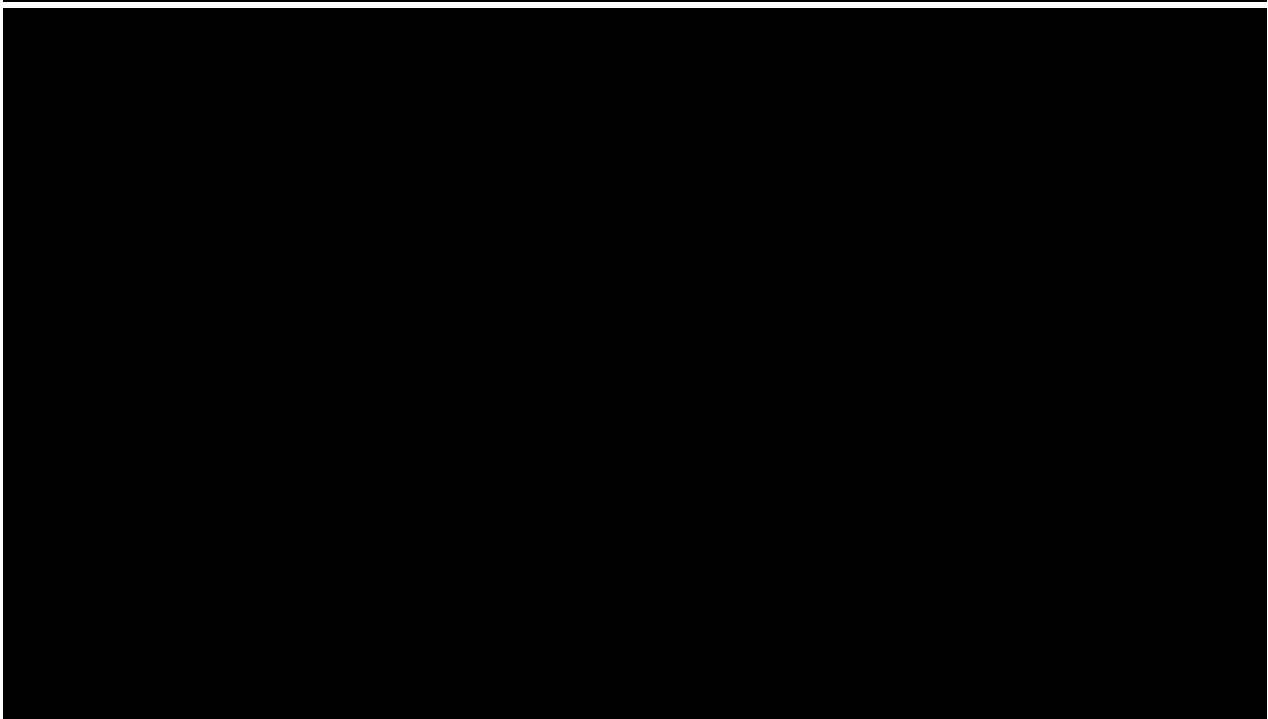
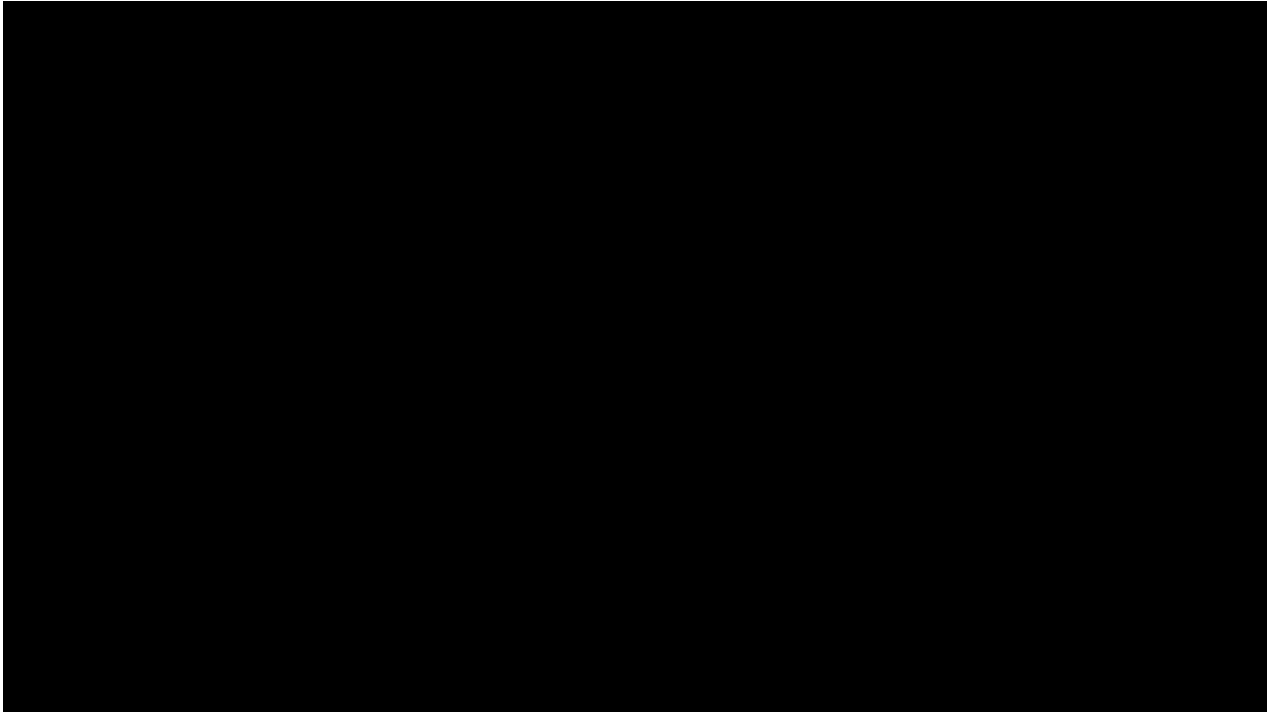
Exemple: Le ventriloquisme

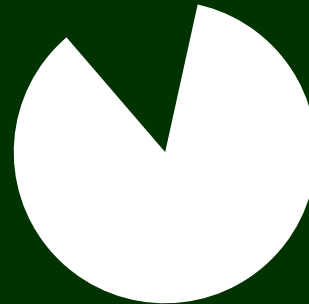
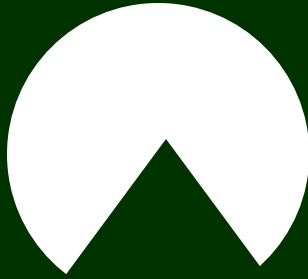


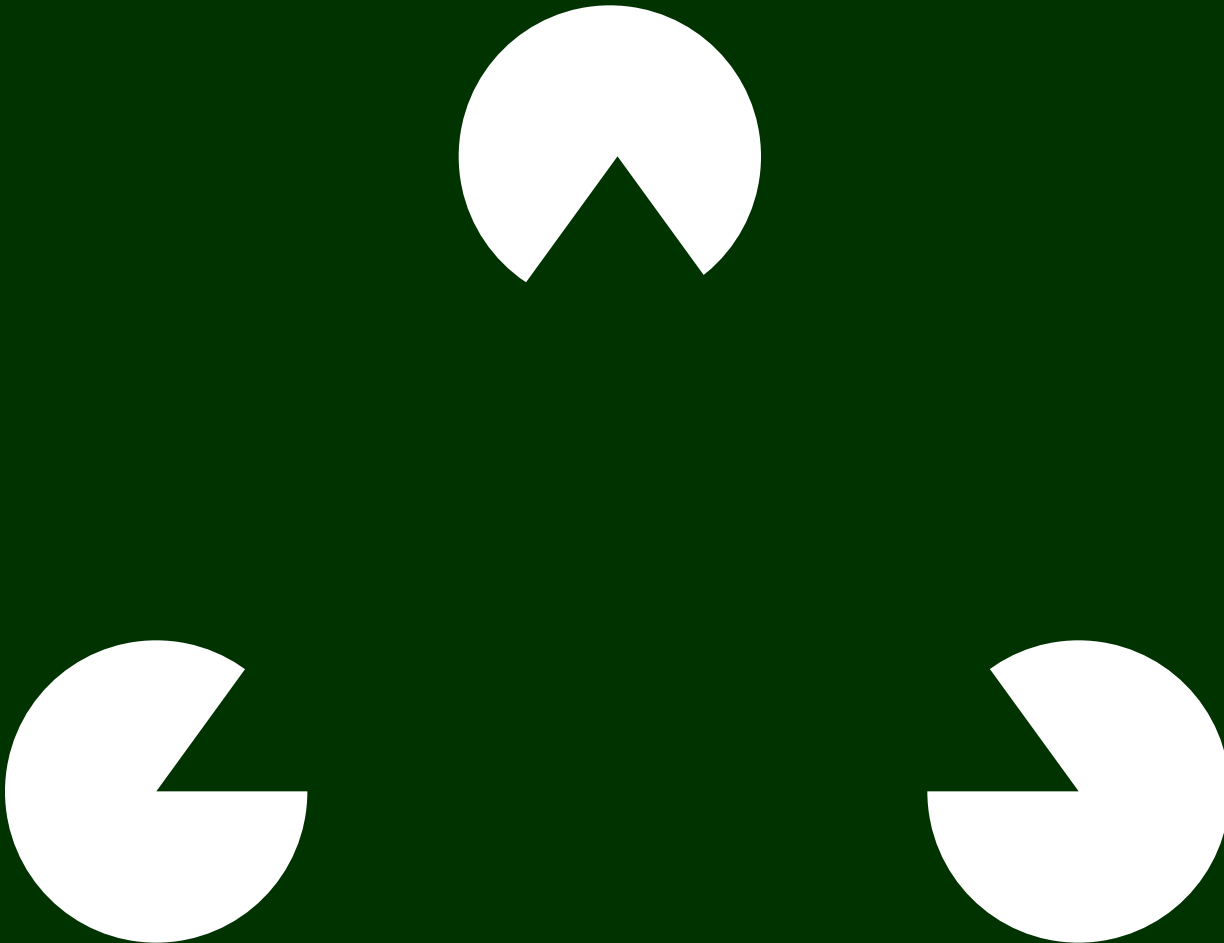
Effet McGurk

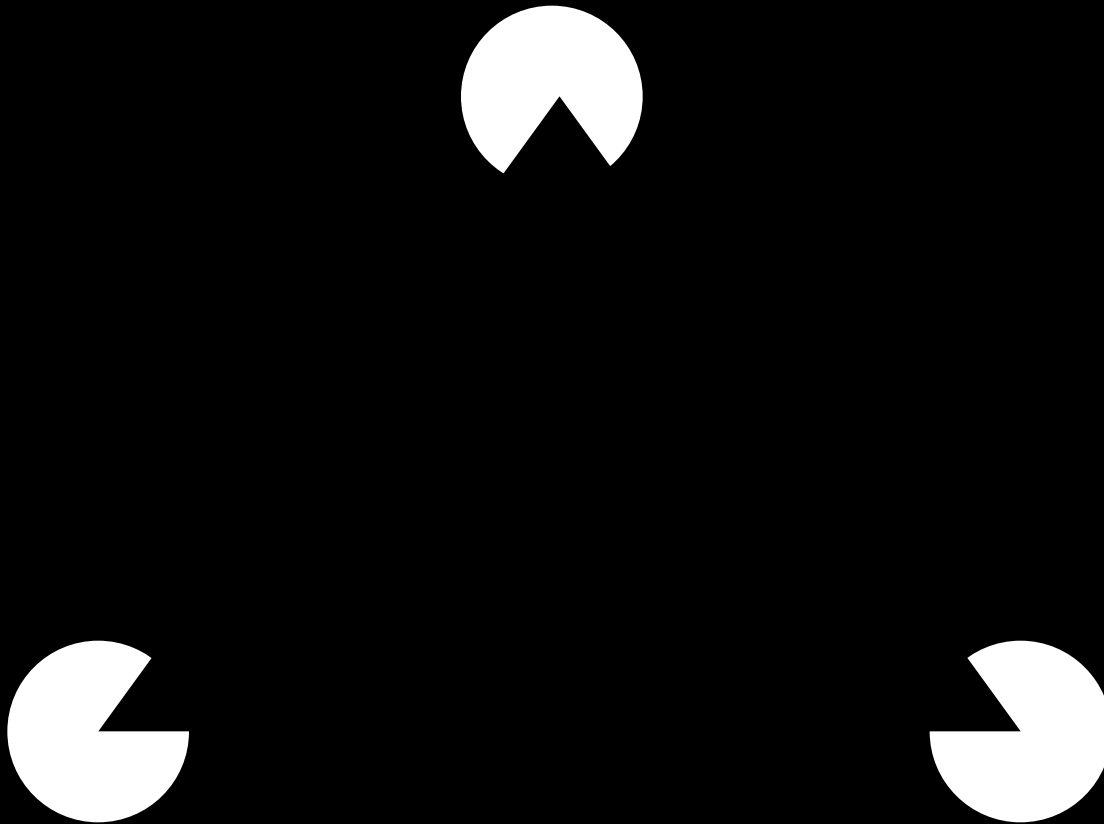


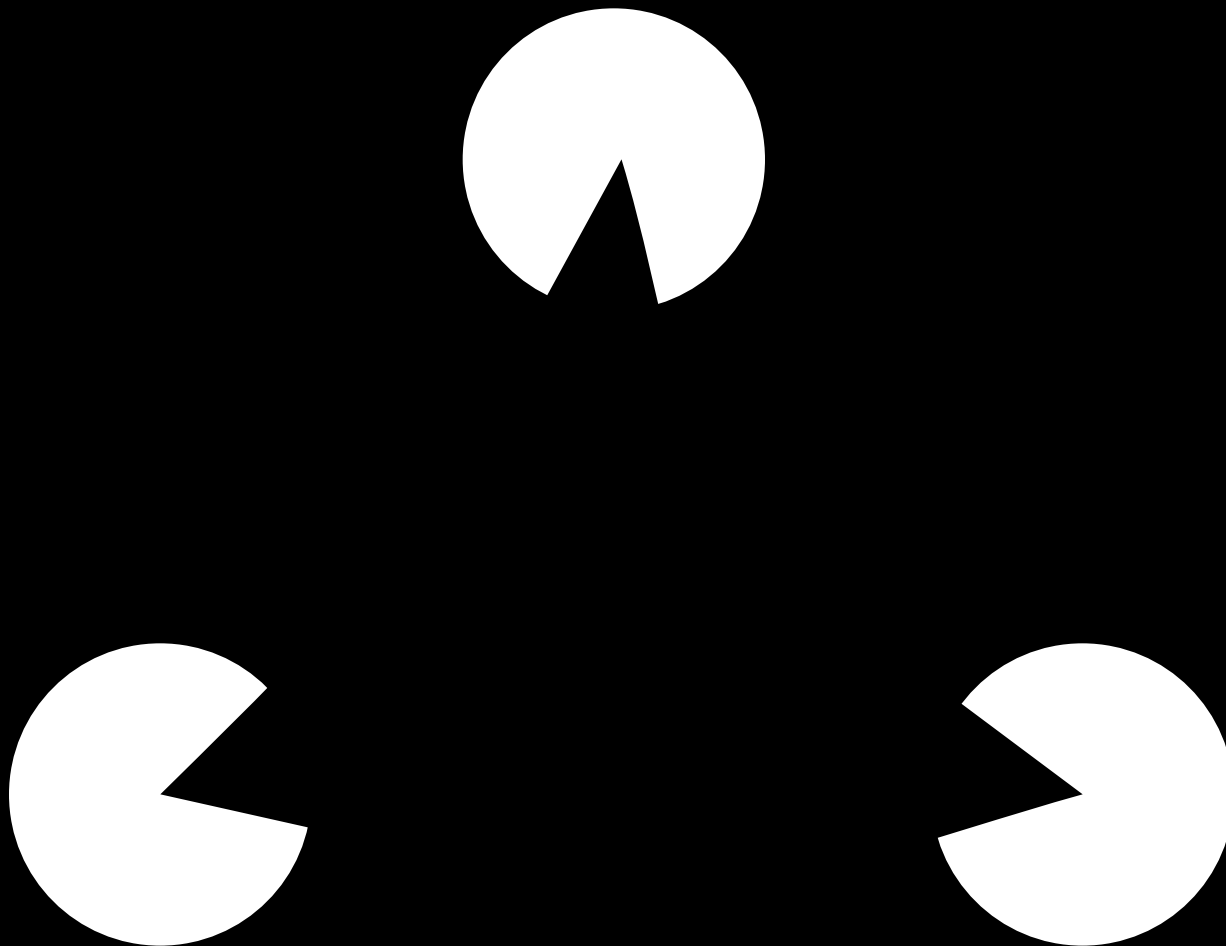




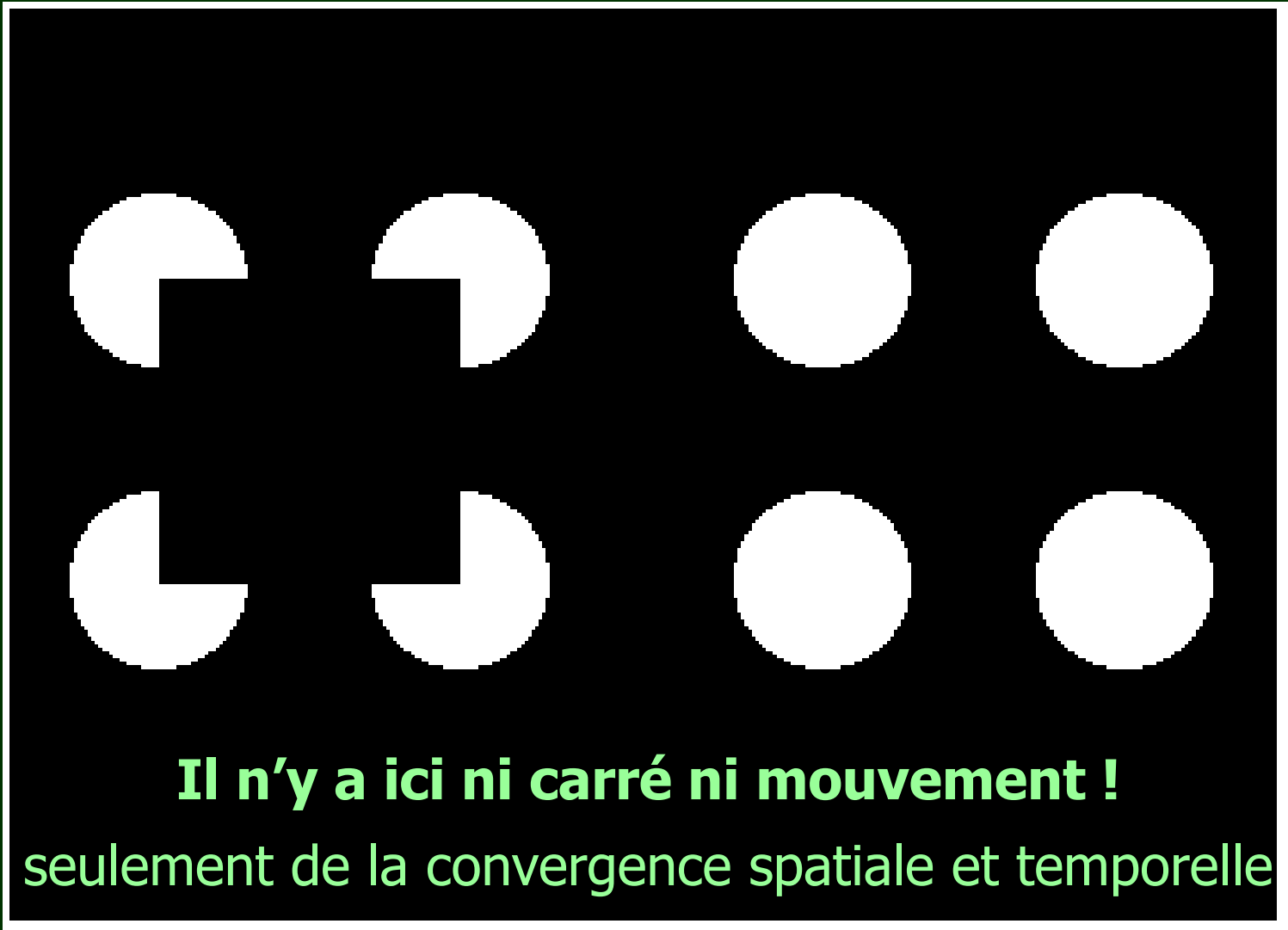






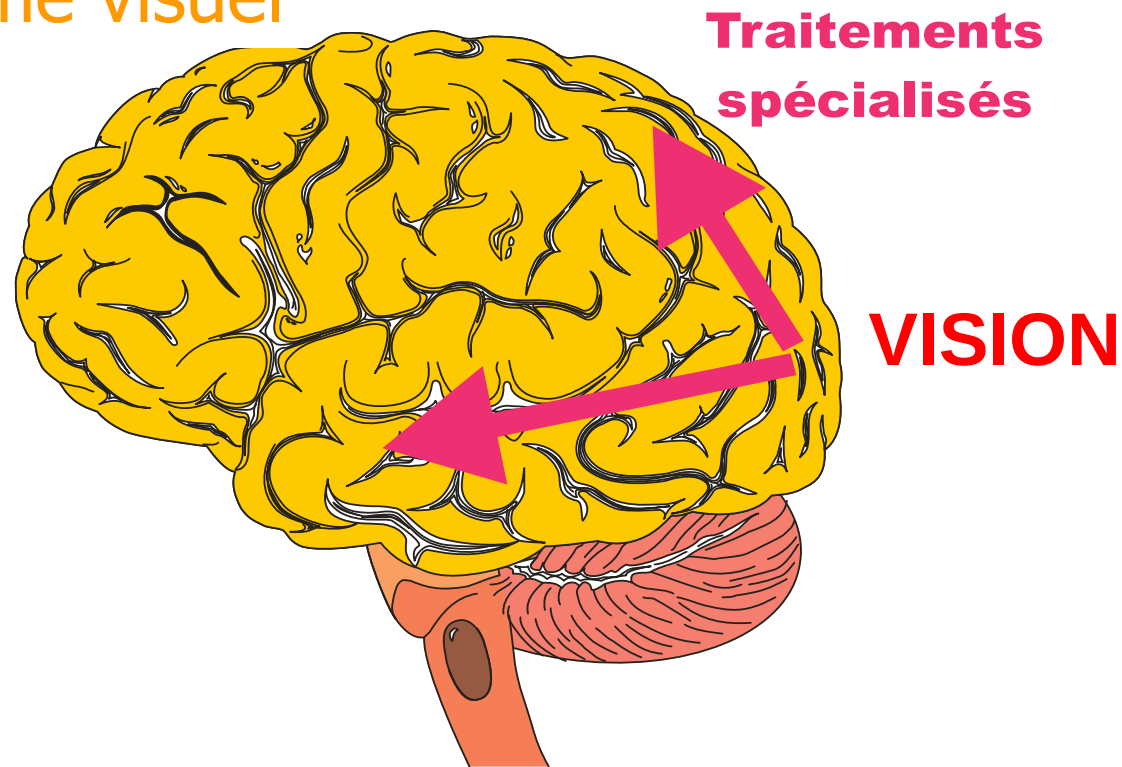


Mouvement apparent codé par des contours illusoires !



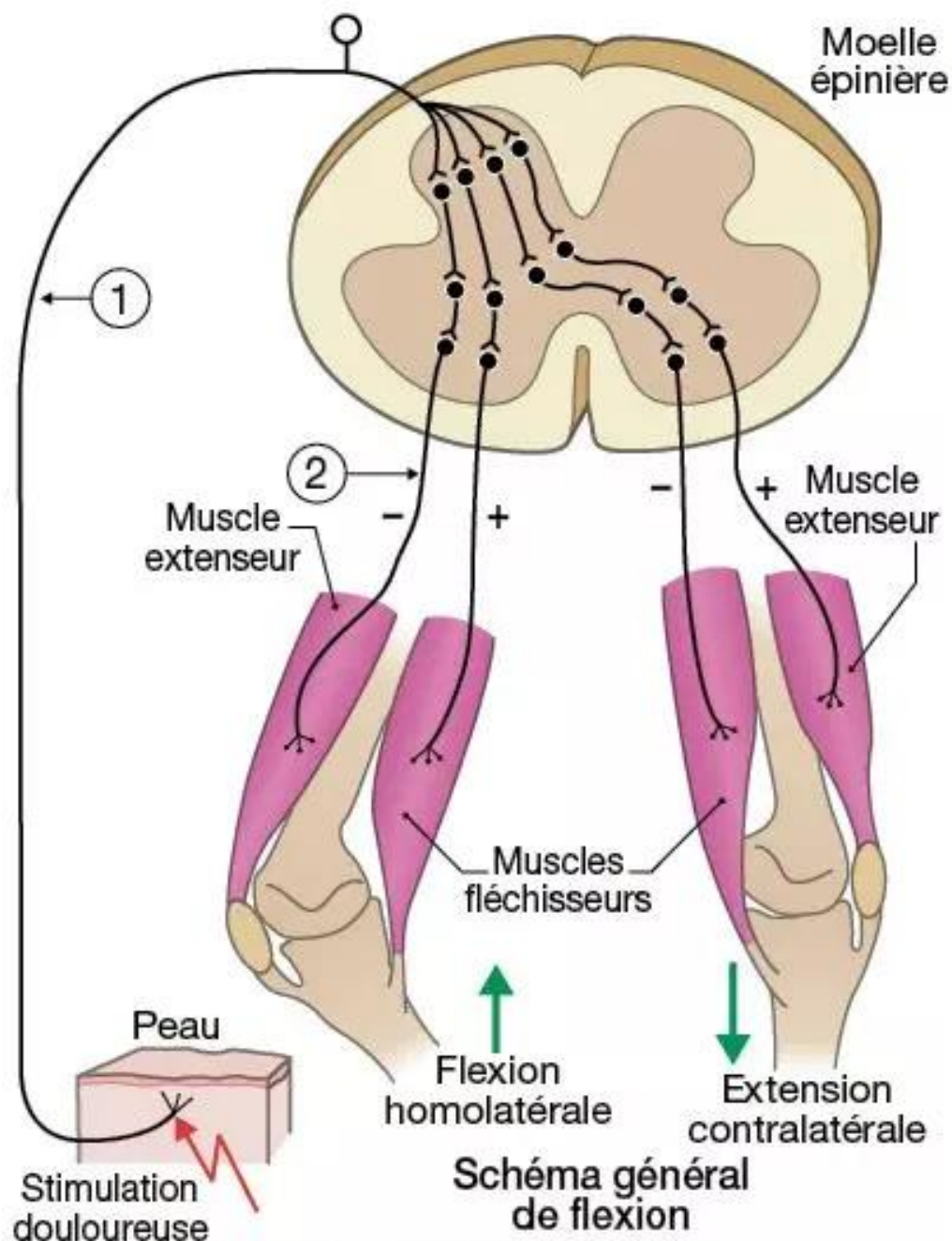
DIVERGENCE

Ex : le système visuel



Ex : les réactions motrices peuvent être plus rapides
que la conscience visuelle





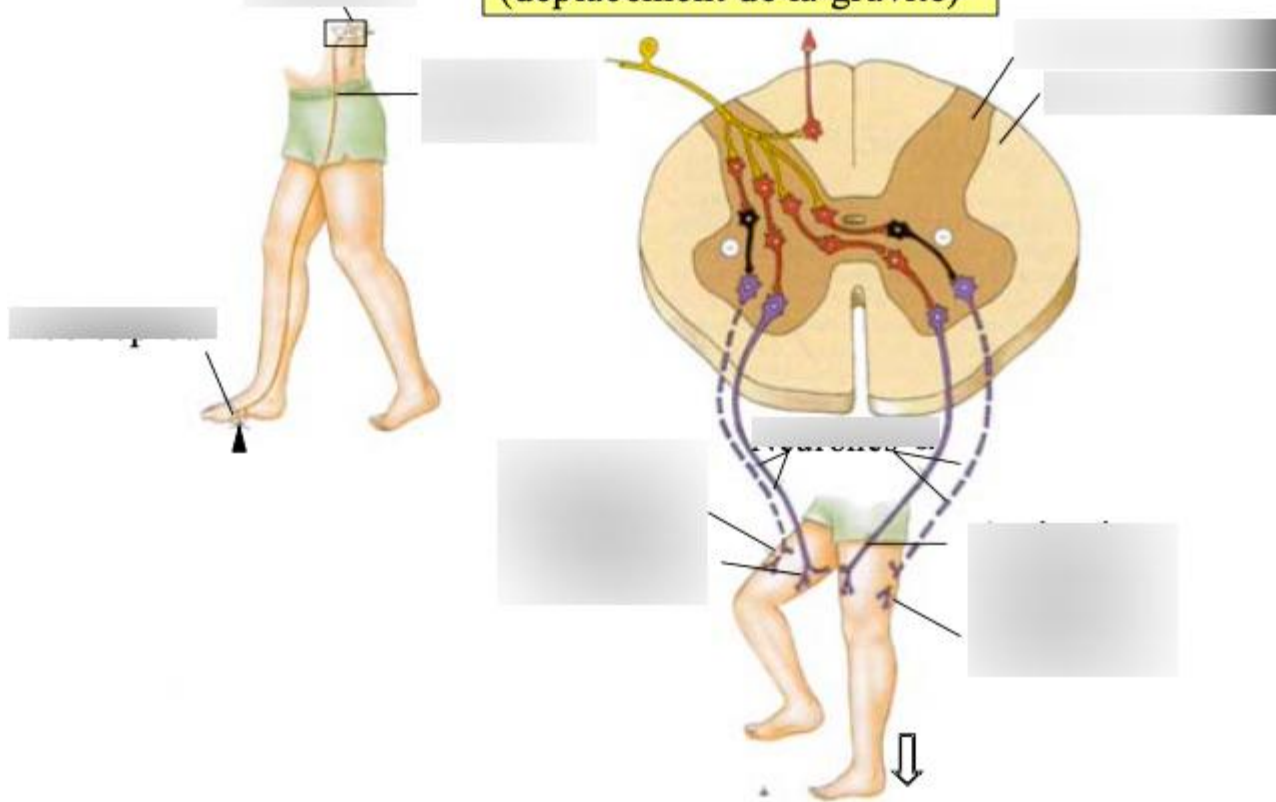
Stimulation
douloureuse

Schéma général de flexion

(+) signifie « stimulation de la contraction du muscle »

(-) signifie « absence de stimulation de la contraction du muscle »

Voie _____
pour sensation (douleur)
et
(déplacement de la gravité)



Voies visuelles: ségrégations horizontale (hémi-rétines nasale et temporales)

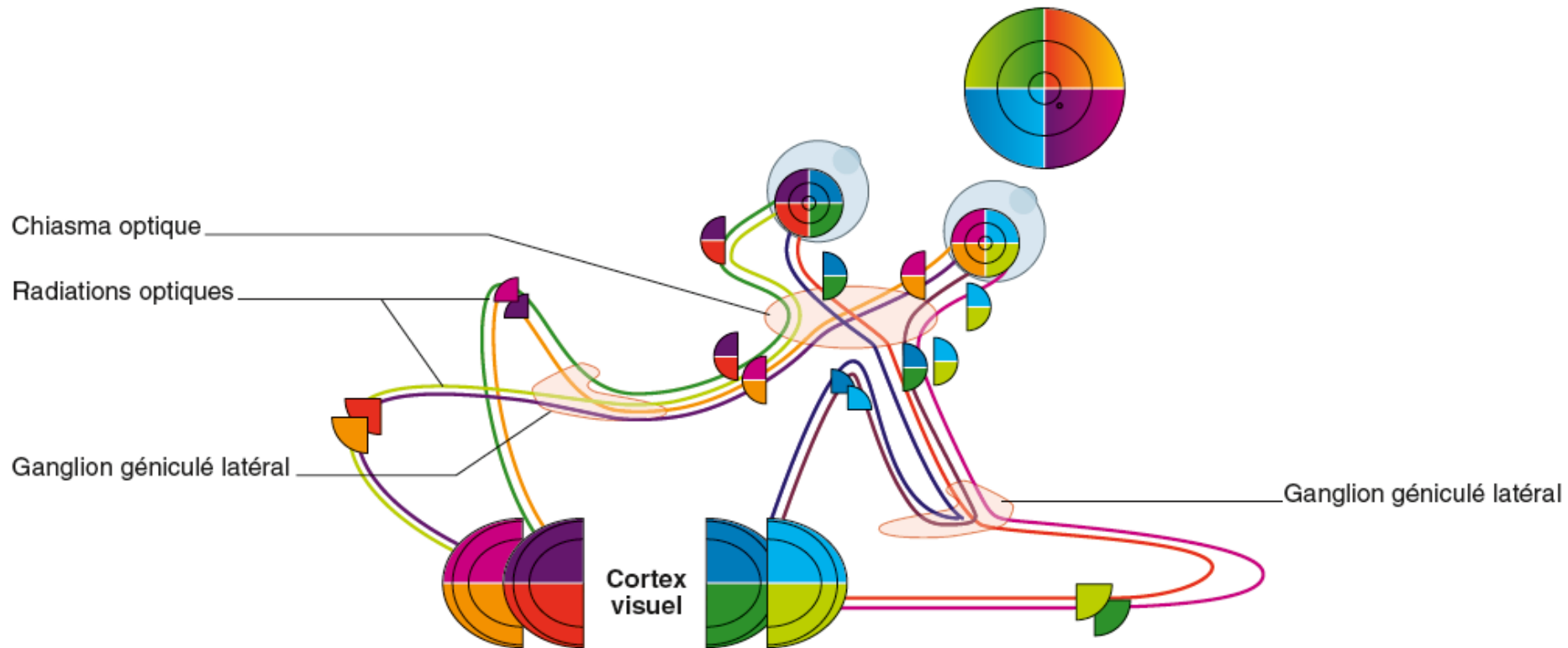
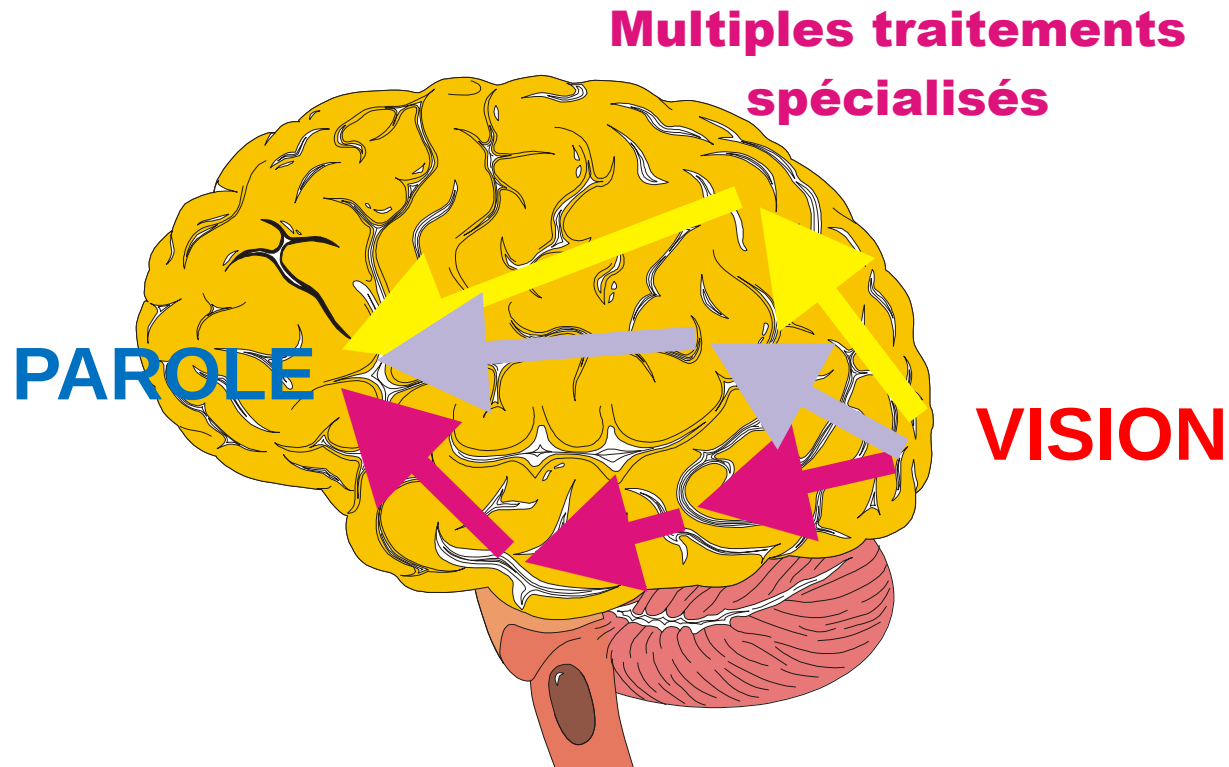


Figure 5.9 Représentation des projections d'une image sur la rétine de chaque oeil puis des informations issues des quatre quadrants de chaque rétine au niveau des nerfs optiques, du chiasma (division nasal/temporal), des bandelettes, des corps géniculés latéraux, des radiations optiques (division supérieur/inferieur) et du cortex visuel primaire (magnification fovéale). Les axones des cellules ganglionnaires venant de l'hémirétine temporale (champ visuel nasal) traversent le chiasma sans croisement, alors que les axones des cellules ganglionnaires venant des hémirétines nasales (champ visuel temporal) croisent au niveau du chiasma. Dans les radiations optiques, les fibres issues de l'hémirétine supérieure (champ visuel inférieur) cheminent dans le contingent pariétal, alors que les fibres issues de l'hémirétine supérieure (champ visuel inférieur) cheminent dans le contingent temporal. On observe une magnification de la représentation du champ visuel central au niveau des corps géniculés latéraux et du cortex visuel primaire.

Bases neuro-anatomiques et fonctionnelles des voies visuelles centrales : du chiasma aux cortex visuels. C. Tilikete, M.-C. Gaumond, Y. Rossetti (Neuro-ophtalmologie, chapitre 5), Elsevier Masson S.A.S, p. 64-72-II)

PARALLELISME



Ex: synergie, compétition ou suppléance entre les différentes voies

Parallélisme

exemple: effet stroop

Blanc

ROUGE

carré

BLEU

ROUGE

vert

JAUNE

VERT

BLEU

ROUGE

neurone

GRIS

JAUNE

BLANC

VERT

bleu

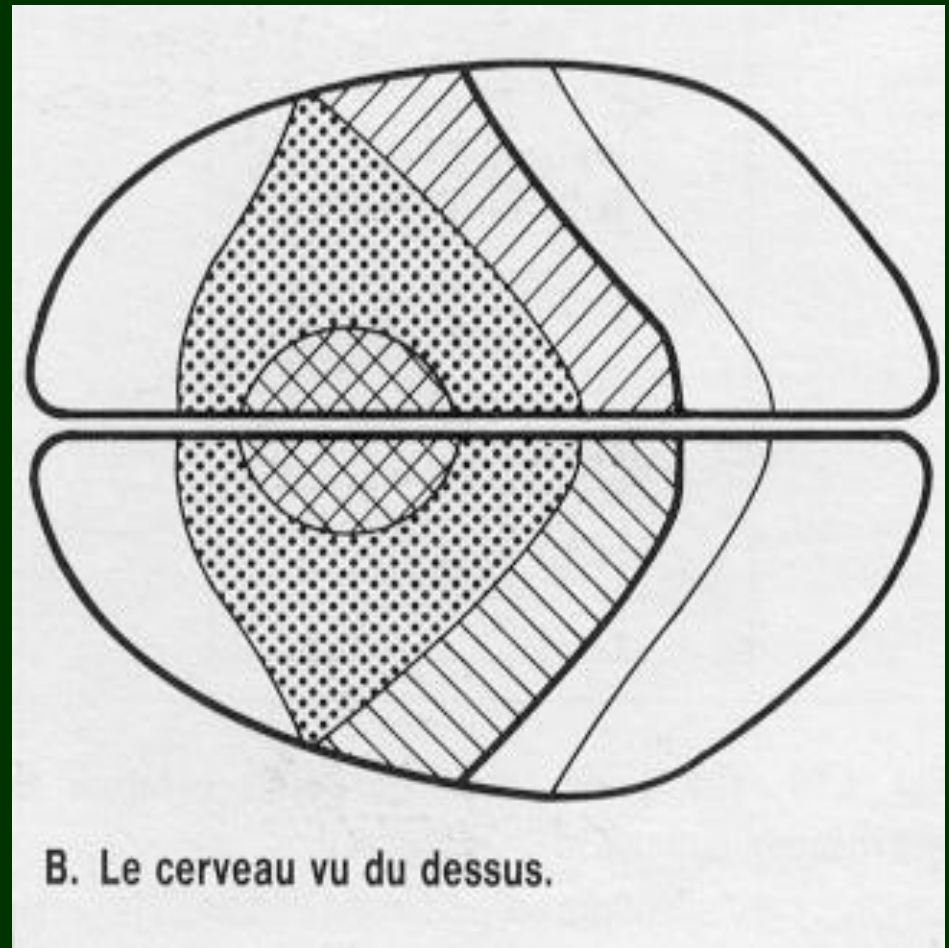
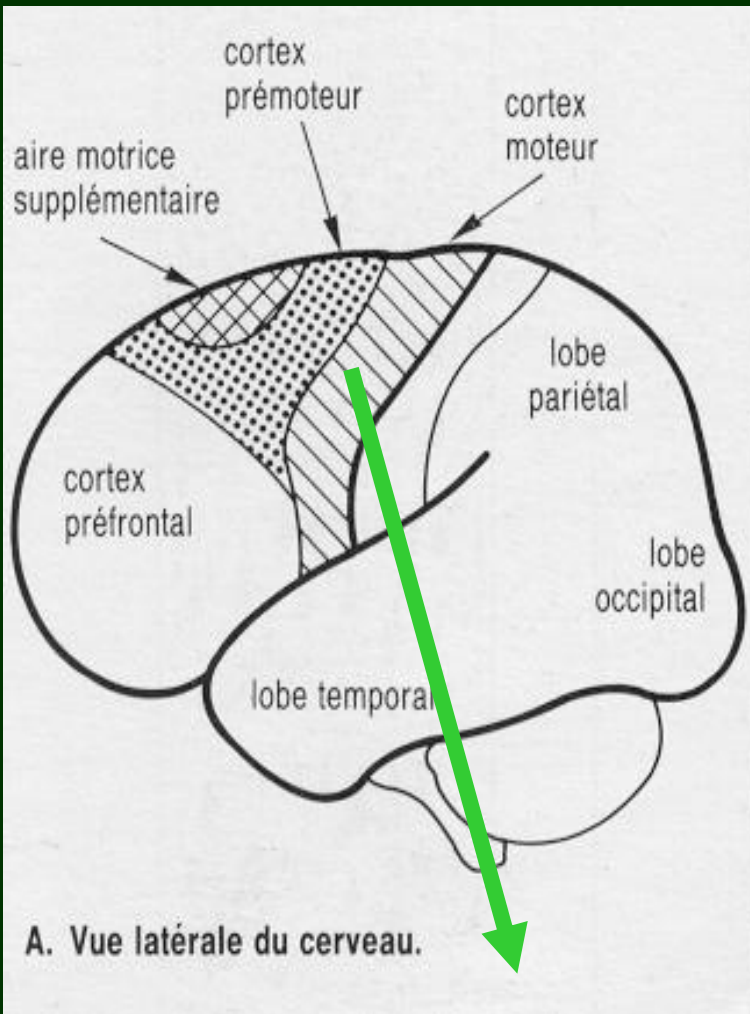
Deux informations indépendantes, congruentes ou incongruentes

=> pas d'effet , facilitation ou conflit

Aires, Systèmes et Réseaux

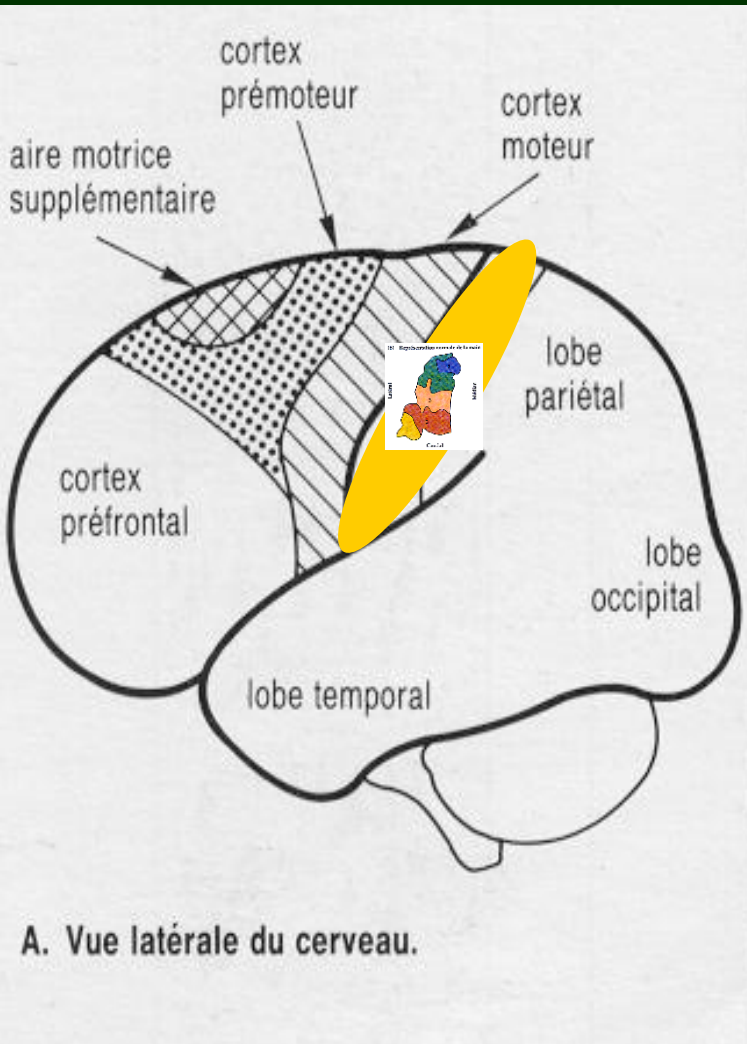
- Aire fonctionnelle: zone du cortex spécialisée dans une fonction précise (ex: motricité, audition...)
- Système: ensemble d'aires et de structures sous-corticales participant à une fonction (ex: le système visuel, le système moteur)
- Réseau: type d'organisation le plus fréquent dans le SNC : structures interconnectées sous forme de circuits ou de boucles (+ parallélisme)

Exemple: Les aires motrices

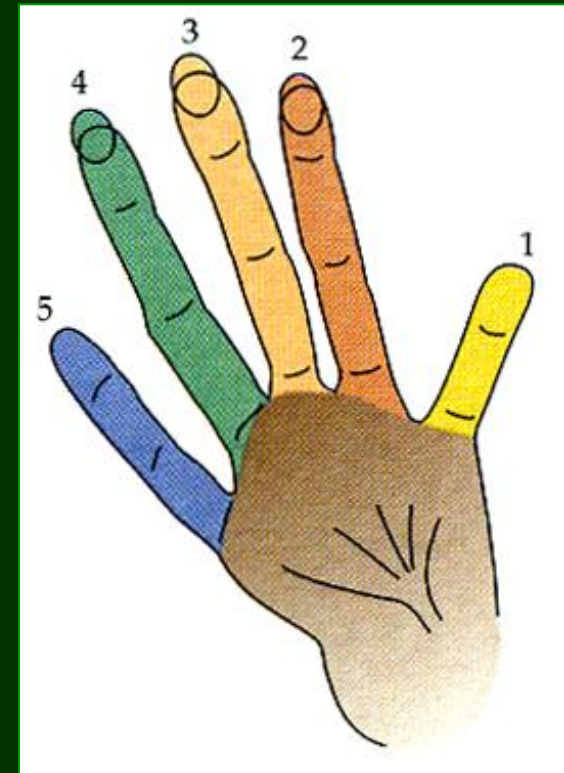


Exemple: Hyper-spécialisation de certaines aires

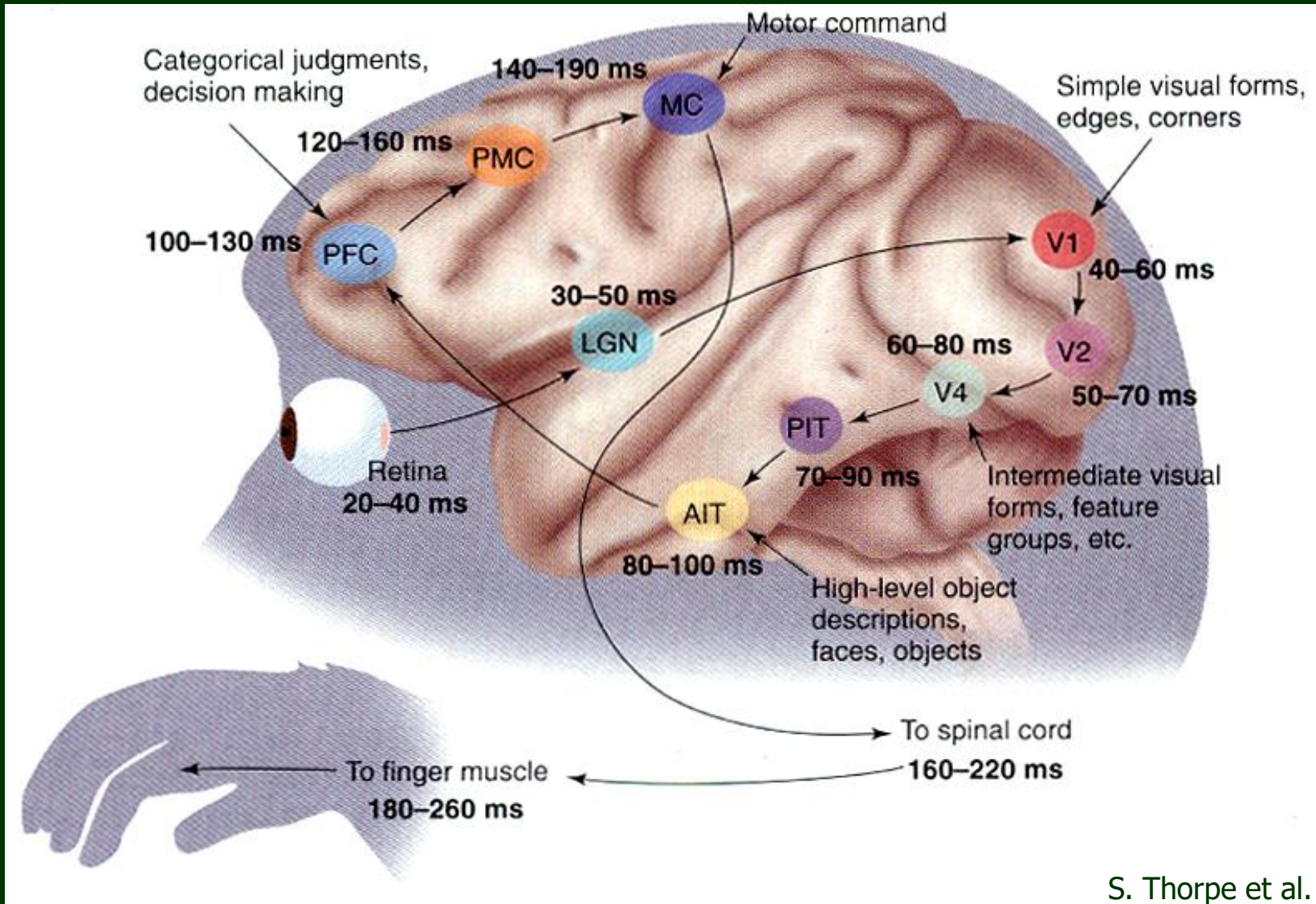
Cortex somesthésique



Zone de la main



Example: Circuit visuo-moteur



S. Thorpe et al.

+ nombreux parallélismes

5. Le codage neuronal de l'information

Fréquence de décharge

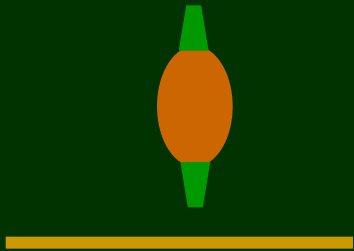
Codage par synchronie

Codage par population

Plasticité: mémoire, apprentissage, ...

Codage par la fréquence des potentiels d'action

exemple: codage de la longueur du muscle

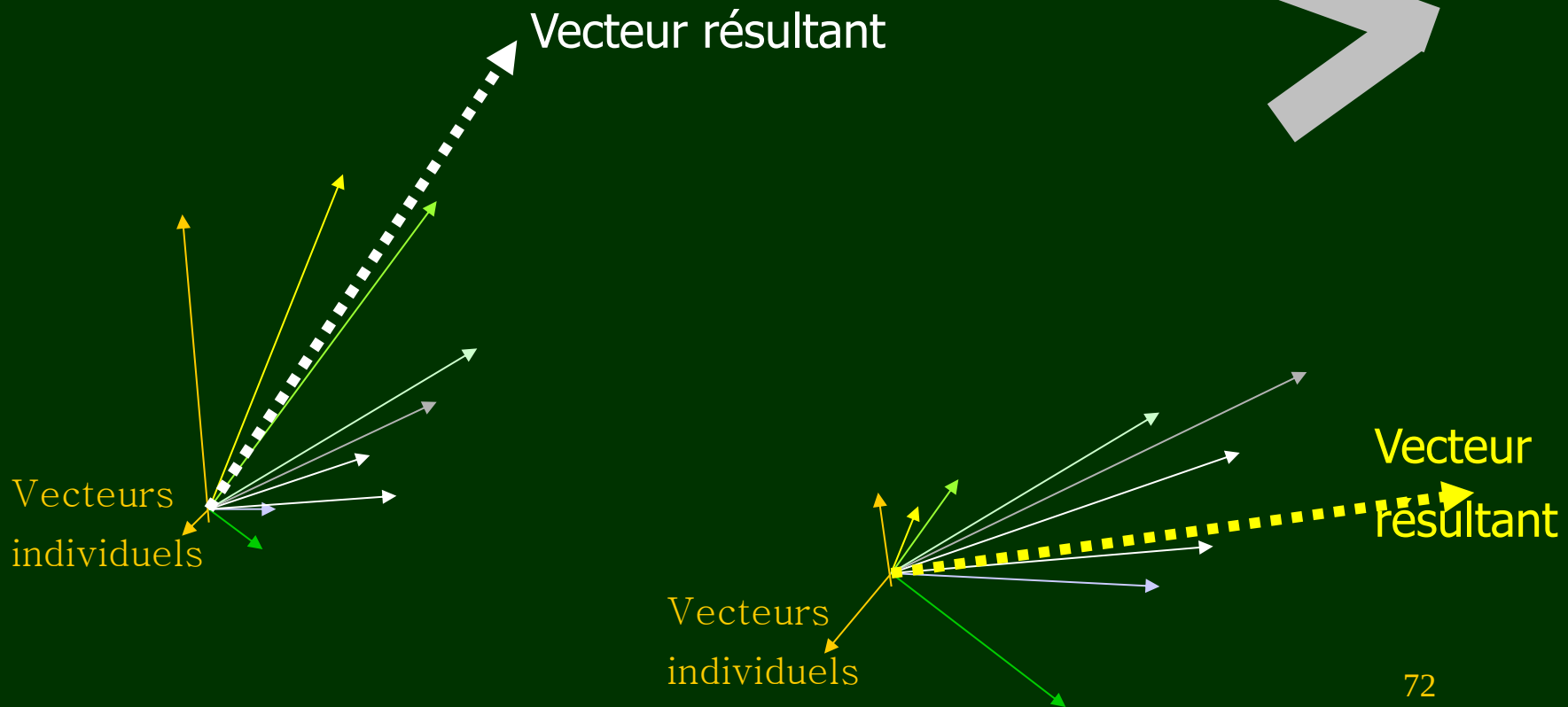


Activité électrique du neurone récepteur:

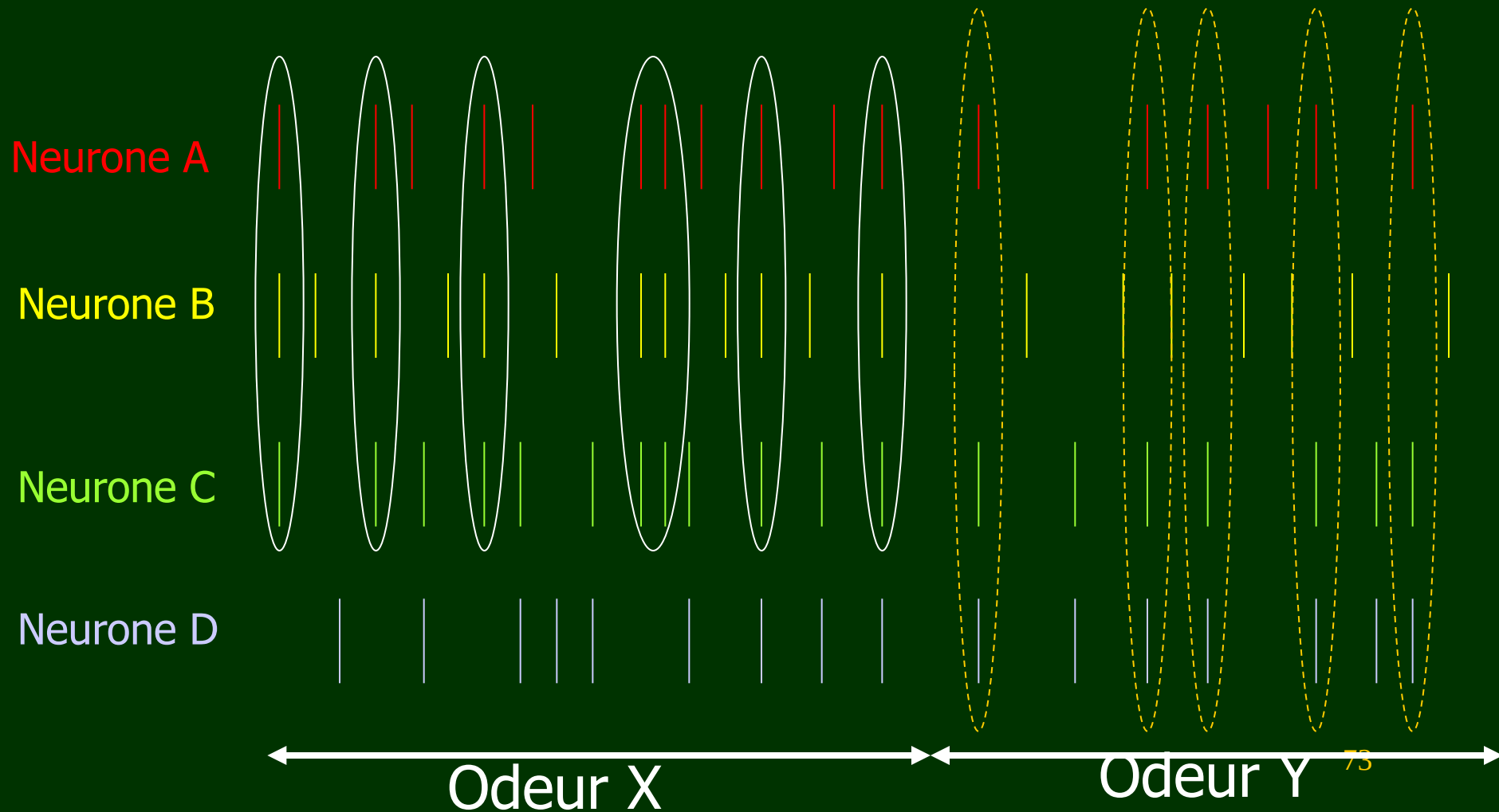
Codage de la longueur

Codage par population neuronale

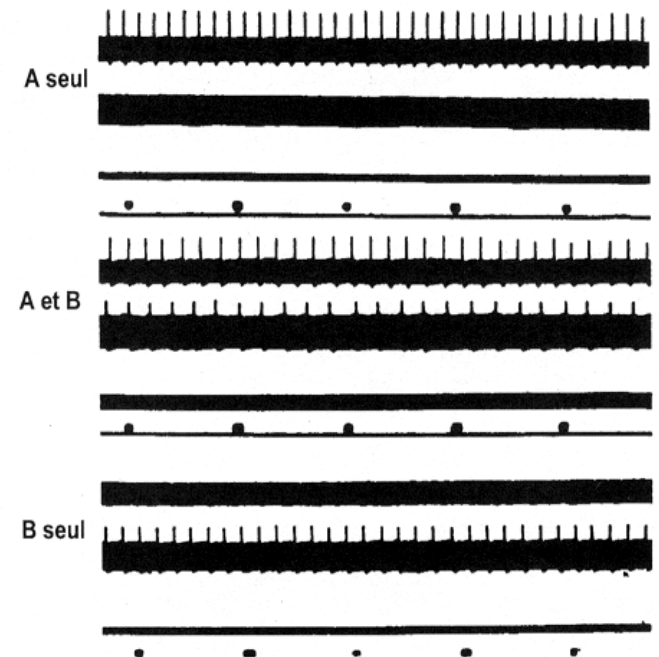
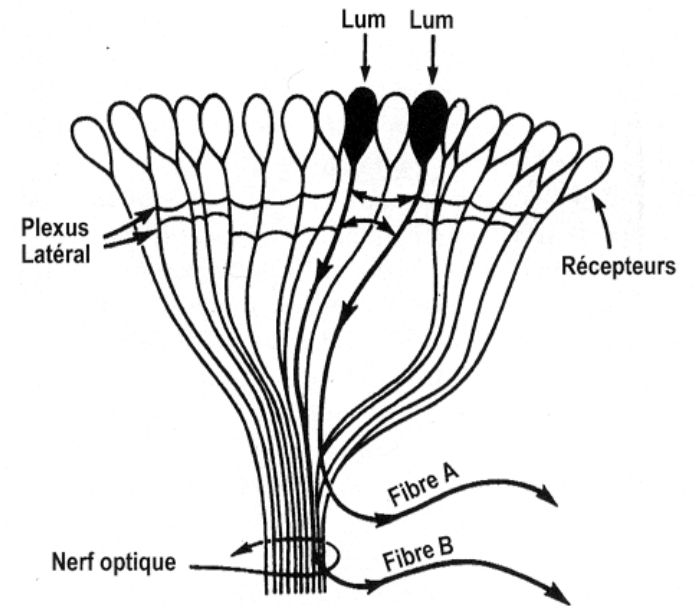
Exemple: direction du mouvement



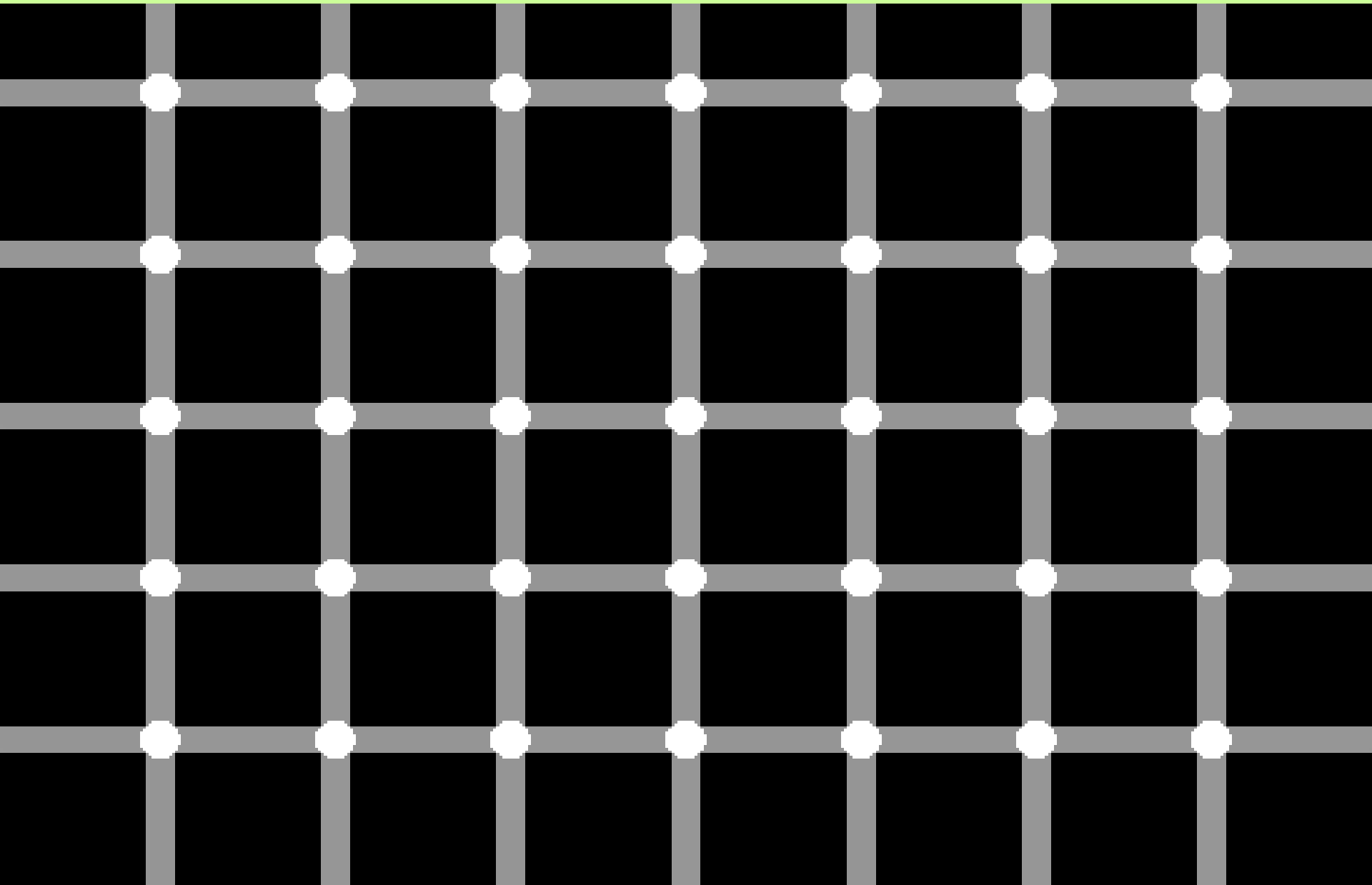
Codage par synchronie. Ex: l'olfaction



Inhibition latérale

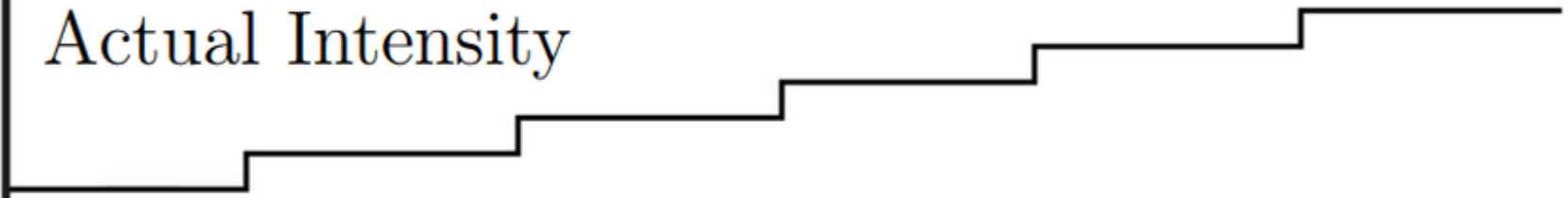


2. LA RETINE

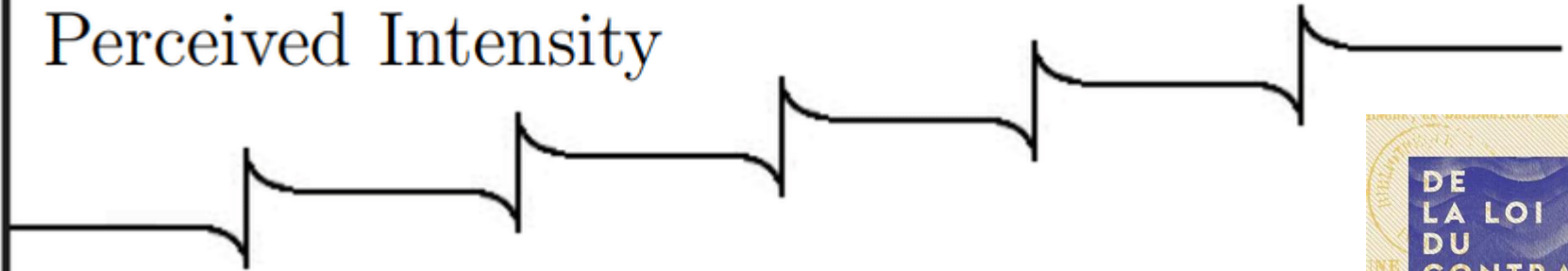




Actual Intensity

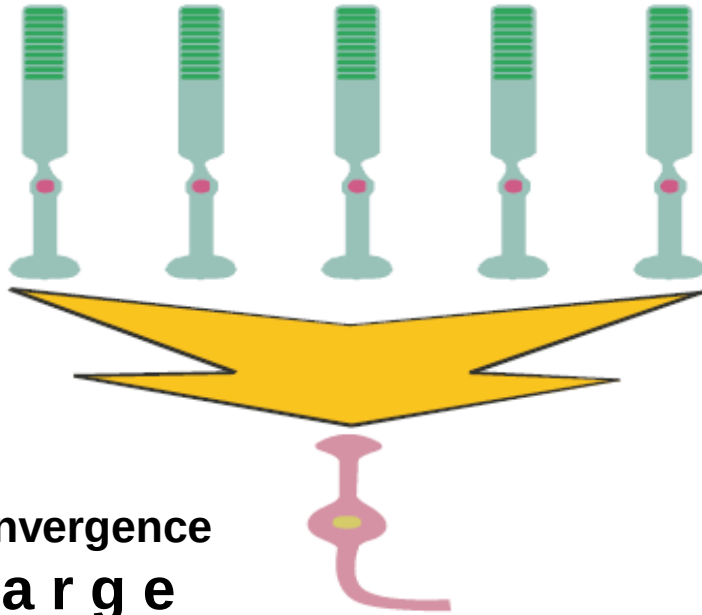


Perceived Intensity



Pourquoi le système des cônes a t'il une meilleure acuité visuelle?

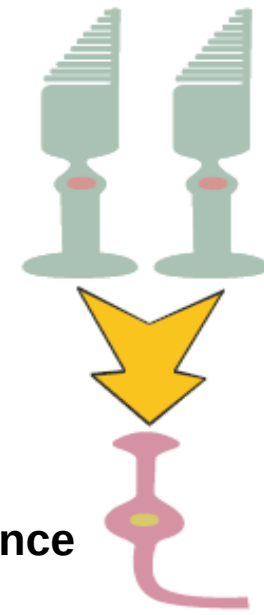
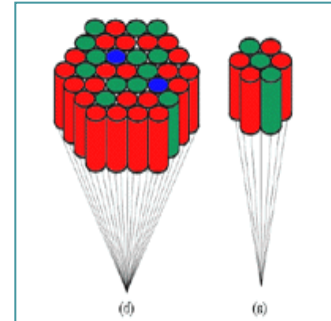
Bâtonnets (périphérie): espacés
=> Faible densité



La cellule ganglionnaire intègre l'information reçue par une large surface rétinienne: 3 deg

L'espacement et la convergence large sont responsables d'une faible acuité

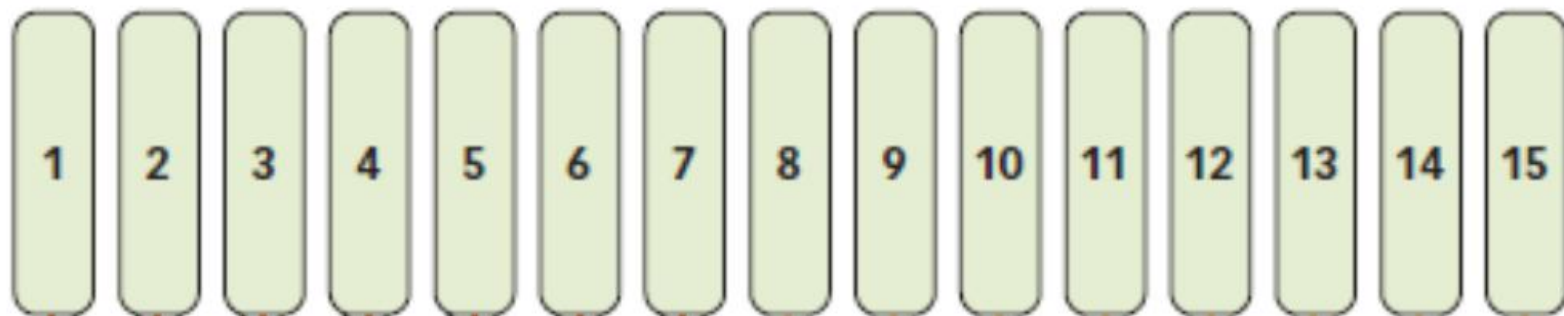
Cones (fovéa): nombreux
=> Haute densité



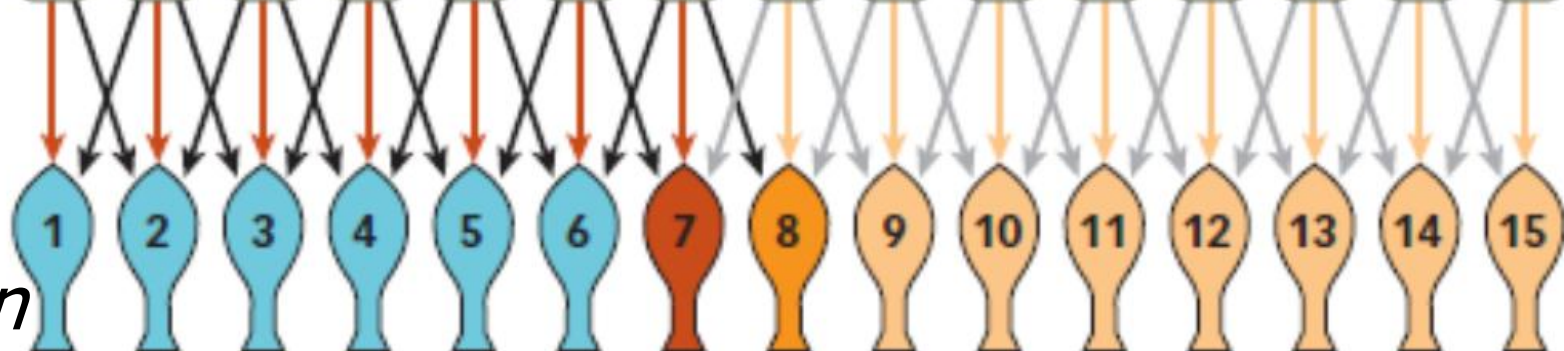
La cellule ganglionnaire intègre l'information reçue par une petite surface rétinienne: 0,03 deg

La densité et la convergence faible sont responsables d'une bonne acuité

Récepteurs

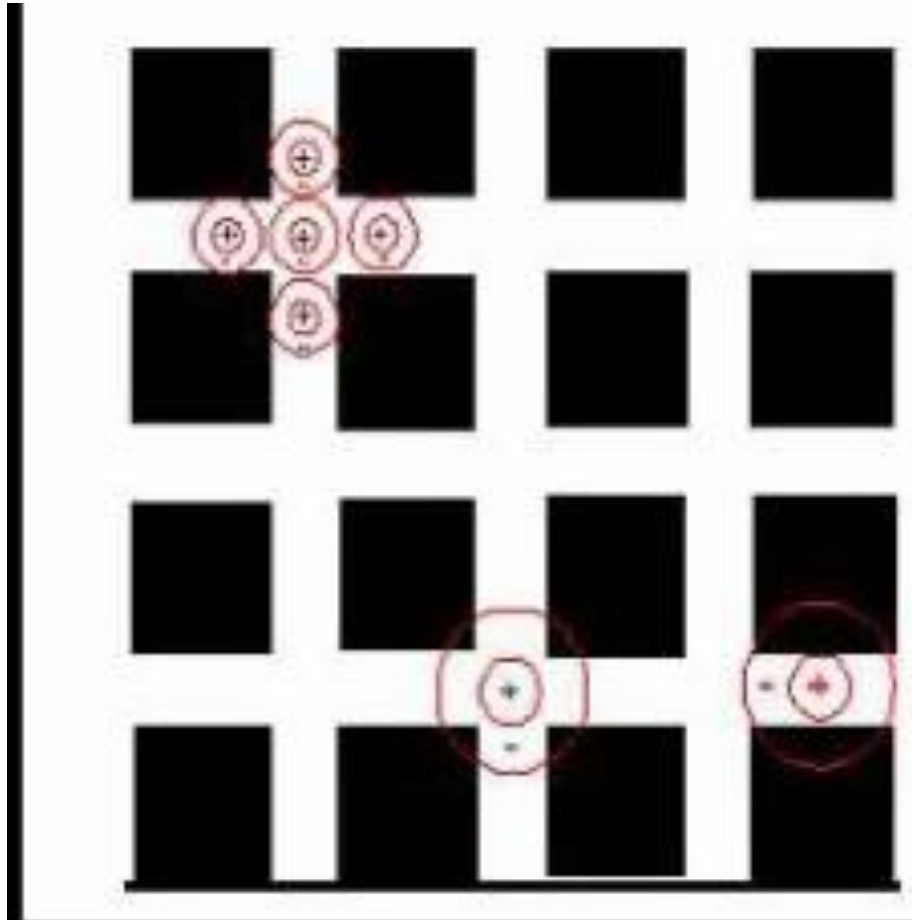


*Cellules
ganglion
aires*



Perception

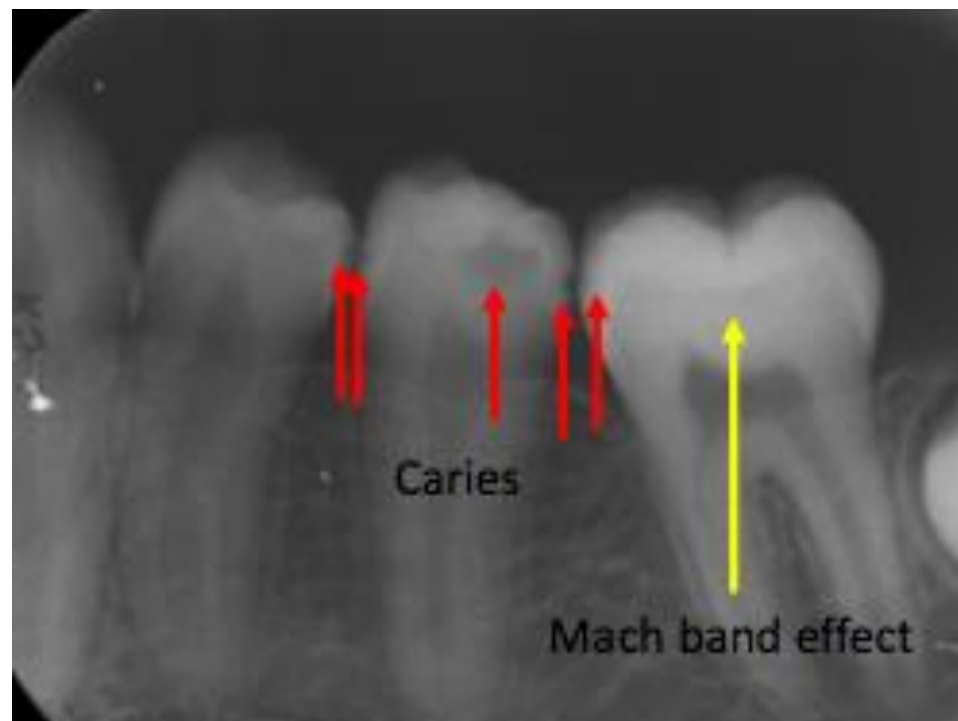
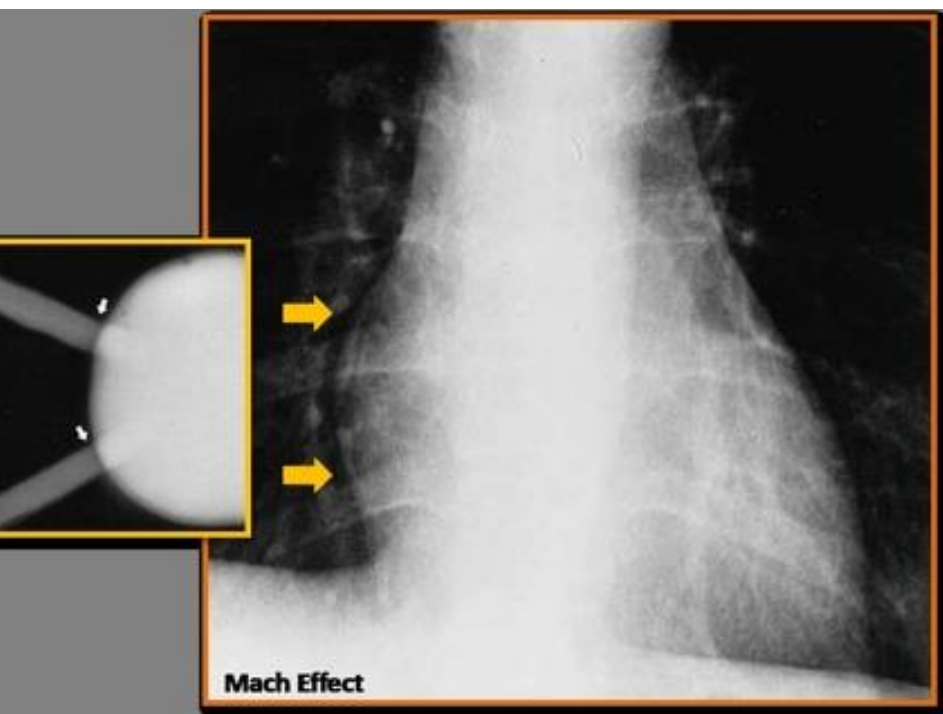
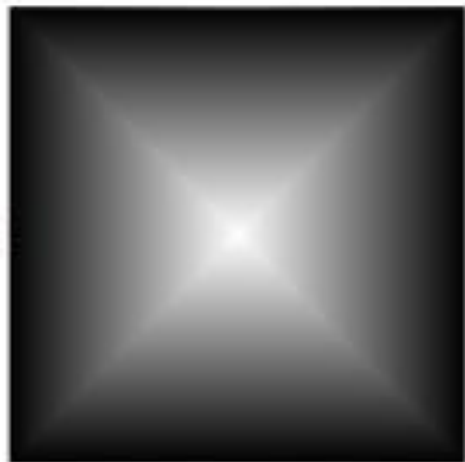


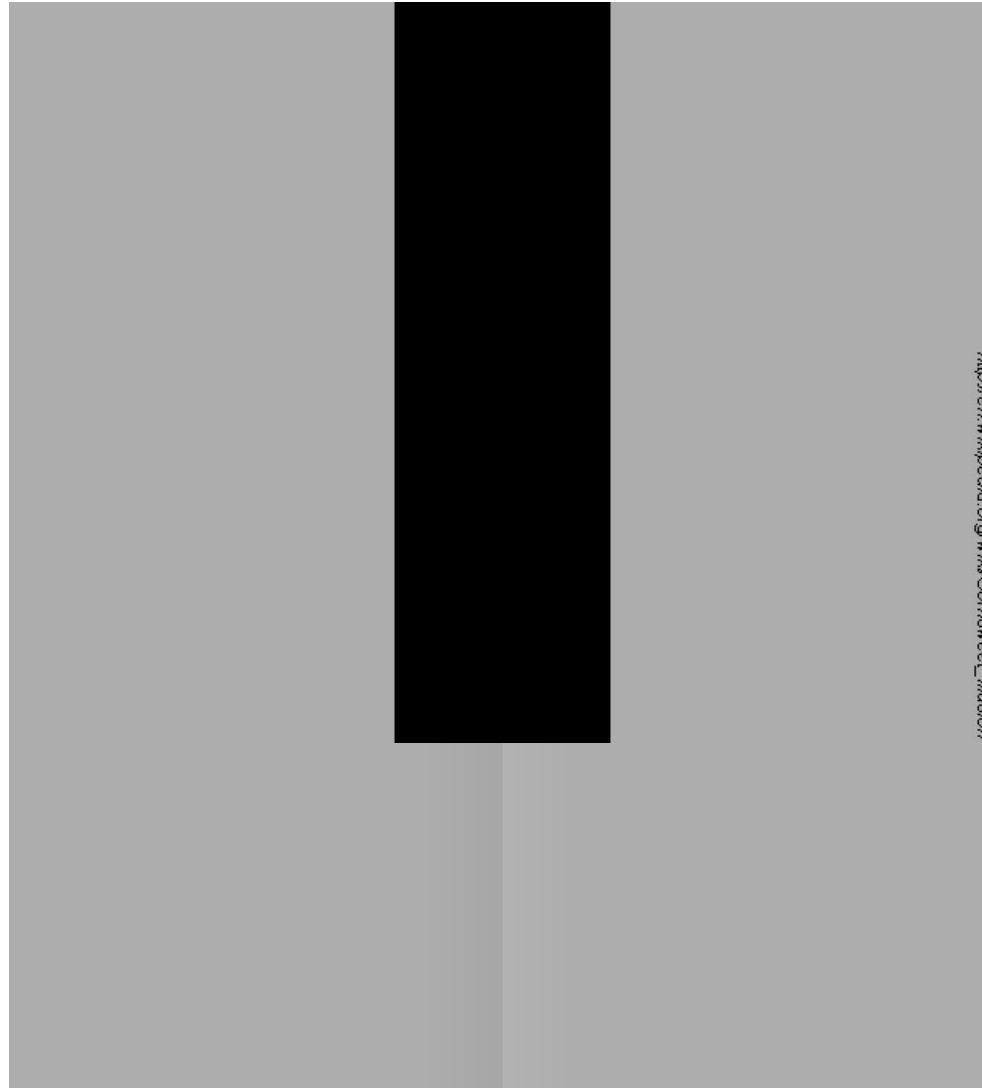


Les contrastes perçus aux intersections sont attribués à la variation de la fréquence des potentiels d'action selon les surfaces relatives des régions ON et OFF des CR.

La fréquence des potentiels d'action est maximale quand la région ON est entièrement éclairée et la région OFF totalement sombre.

Les bandes de Chevreul- Mach en radiologie

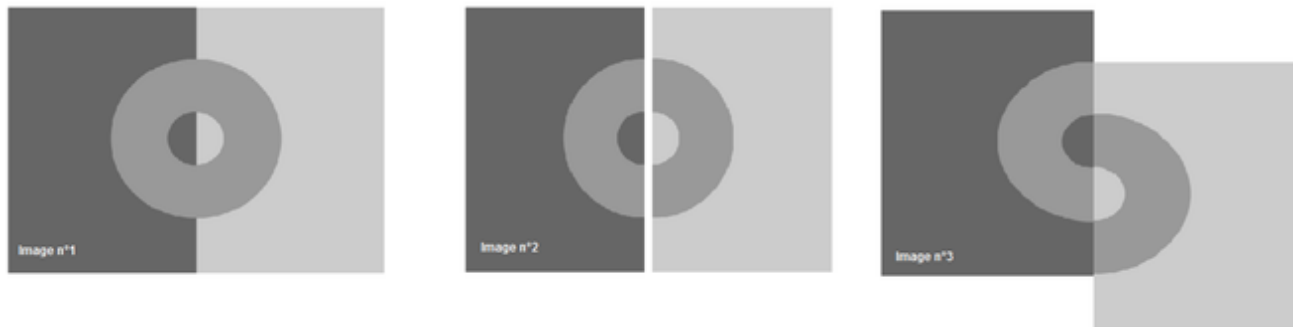




http://en.wikipedia.org/wiki/Cornsweet_illusion

Cornsweet

Illusion de transparence

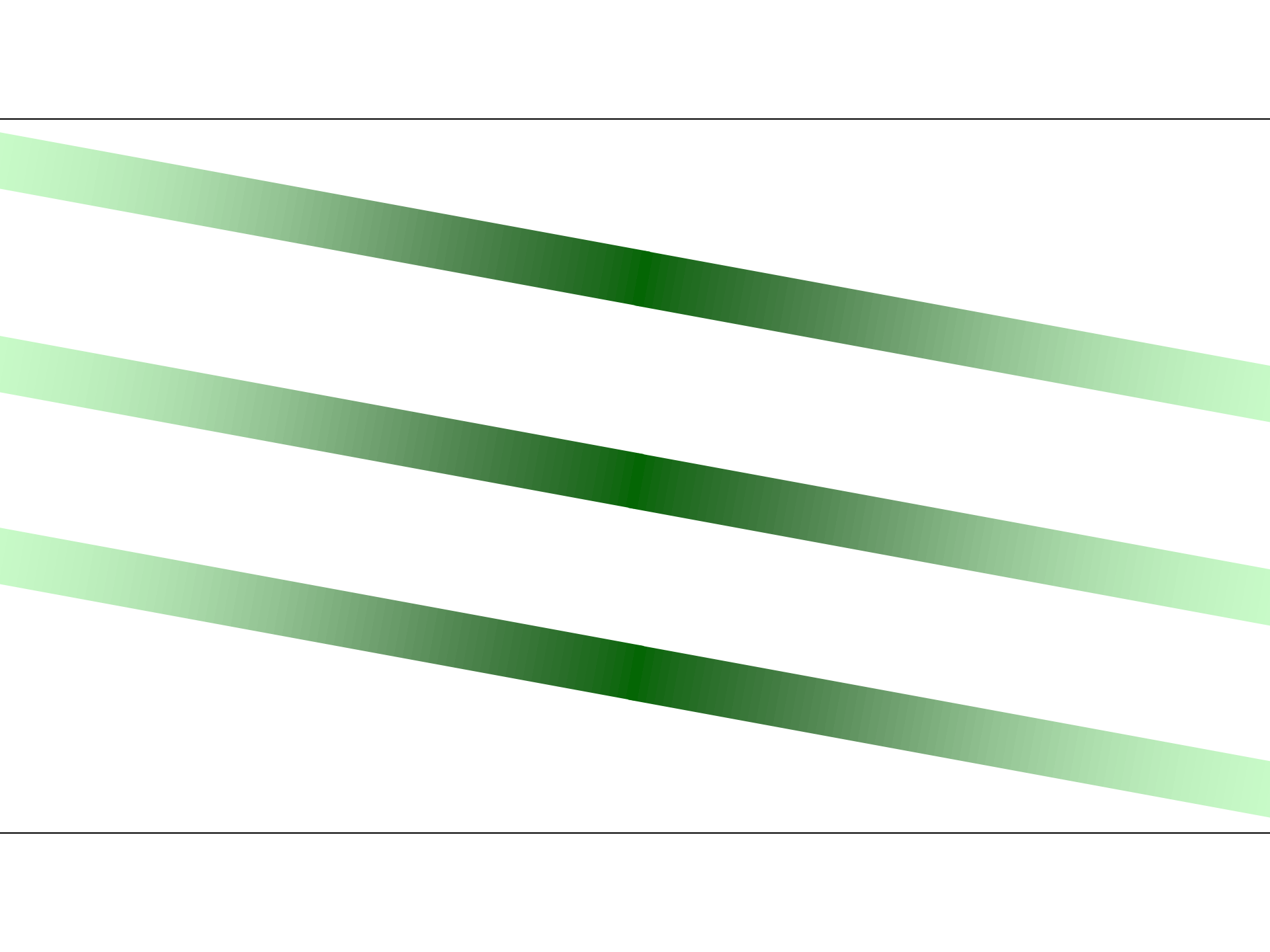


Notre perception dépend des contrastes



Contraste spatial









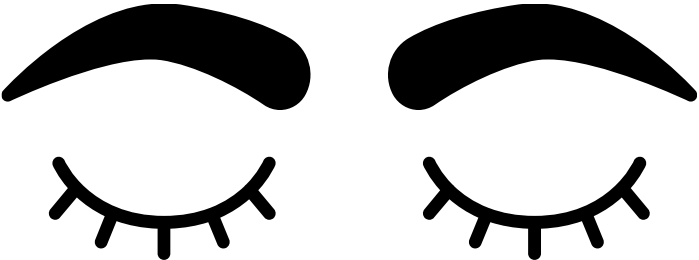


×





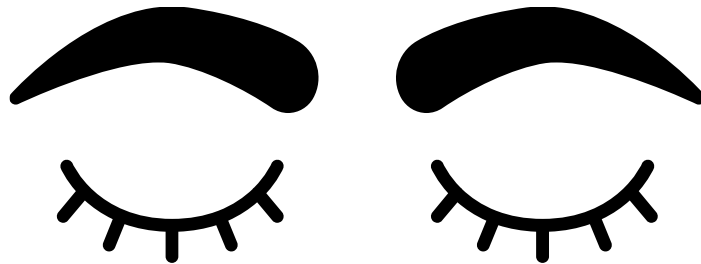
Réseaux réciproques ascendants et descendants





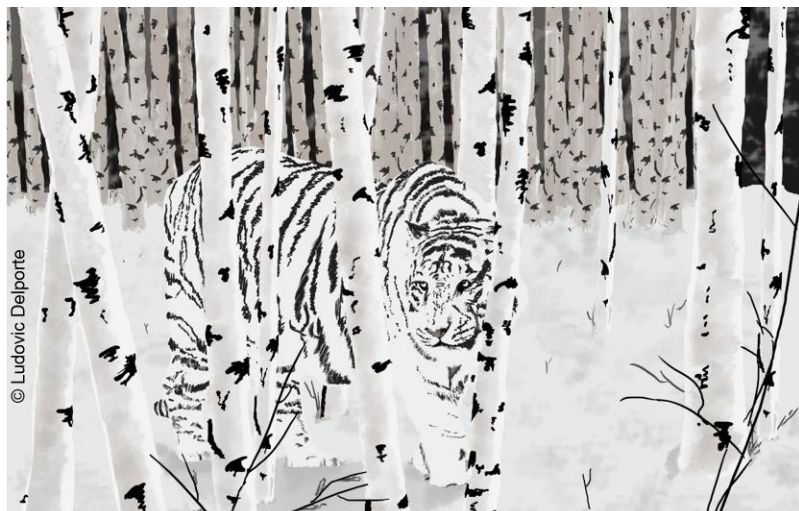
Joyeux anniversaire !

Moitié Est de la salle





Au clair de la lune,
mon ami pierrot



=> ce tigre n'est pas une **évidence**, mais une **inférence**!



?

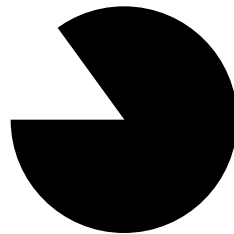
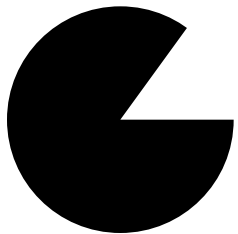
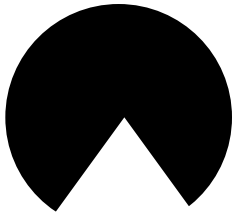


Notre vision nous trompe-t-elle?

illusion
interprétation

ou bien

nous sauve-t-elle la vie?



Percevoir revient à interpréter, et choisir le plus probable rapidement

et des questions:

Principe: pour chaque ion, l'équilibre n'est pas obtenue par l'égalisation des concentrations comme dans le cas des solutés électriquement neutres:

une **différence de concentration** de part et d'autre de la membrane existe à l'équilibre pour un ion car elle est contrebalancée par
une **différence de potentiel électrique** de part et d'autre de la membrane.

Le potentiel d'équilibre pour un ion donné (E_{ion}) se calcule avec l'équation de Nernst

$$E(ion) = \frac{RT}{ZF} \ln\left(\frac{[ion]_{ext}}{[ion]_{int}}\right) \text{ ou en pratique: } E = -\frac{60}{valence} \cdot \log \frac{\text{concentration extra}}{\text{concentration intra}}$$

$[ion]_{ext}$: concentration extracellulaire et $[ion]_{int}$: concentration intracellulaire

R : constante des gaz parfaits; T : température absolue en degrés Kelvin; Z : valence de l'ion; F : Faraday, 96500 Coulombs/mole d'ion

Remarque: autre version possible: $E = -\frac{60}{valence} \cdot \log \frac{\text{concentration intra}}{\text{concentration extra}}$ car $\log(A/B) = -\log(B/A)$

Donc:

E **positif** si $[ion]_{ext} > [ion]_{int}$ et valence **positive** ou si $[ion]_{int} > [ion]_{ext}$ et valence **négative**
E **négative** si $[ion]_{ext} > [ion]_{int}$ et valence **négative** ou si $[ion]_{int} > [ion]_{ext}$ et valence **positive**

Ion monovalent: $|E| = 58$ et Ion bivalent: $|E| = 116$
(à 20°C)

Application (in vivo: à 36 deg)

ion	[] ext (mM)	[] int (mM)	Rapport []	log	Z valence	$E = \frac{60}{valence} \cdot \log \frac{concentration\ extra}{concentration\ intra}$
X ⁺	10	100	0,1	-1	+1	



Application (in vivo: à 36 deg)

ion	[] ext (mM)	[] int (mM)	Rapport []	log	Z valence	$E = \frac{60}{valence} \cdot \log \frac{\text{concentration extra}}{\text{concentration intra}}$
X ⁺	10	100	0,1	-1	+1	-60
Z ⁺	1000	10	100	2	+1	120
Na ⁺	142	10	14,2	1,2	+1	+69,1
K ⁺	4	140	0,029	-1,5	+1	-92,6
Cl ⁻	108	5	21,6	1,3	-1	-80,1
Ca ⁺⁺	1,8	$4 \cdot 10^{-4}$	4500	3,7	+2	+ 109,6

N.B. les concentrations ioniques varient entre les tissus et les espèces animales

Valeur du potentiel de repos biologique

On a parlé de **+60mV** et **-60mV** à propos de l'équation de Nernst,
soit pour un rapport des concentrations $\frac{\text{extracellulaire}}{\text{intracellulaire}}$ de 10

Le potentiel de repos **observé** reflète une combinaison de ces équilibres ioniques et le rapport des perméabilités membranaires pour ces ions

Pour information (hors cours) ce potentiel est donné par l'équation de Goldman-Hodgkin-Katz:

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{p_K [K^+]_o + p_{Na} [Na^+]_o + p_{Cl} [Cl^-]_i}{p_K [K^+]_i + p_{Na} [Na^+]_i + p_{Cl} [Cl^-]_o} \right)$$

où T varie de 33 à 38°C selon les tissus concernés