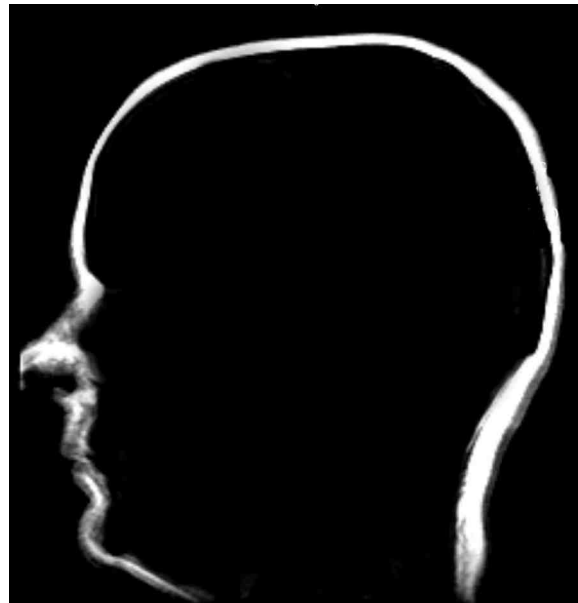


Inside the Black Box



Suliann Ben Hamed

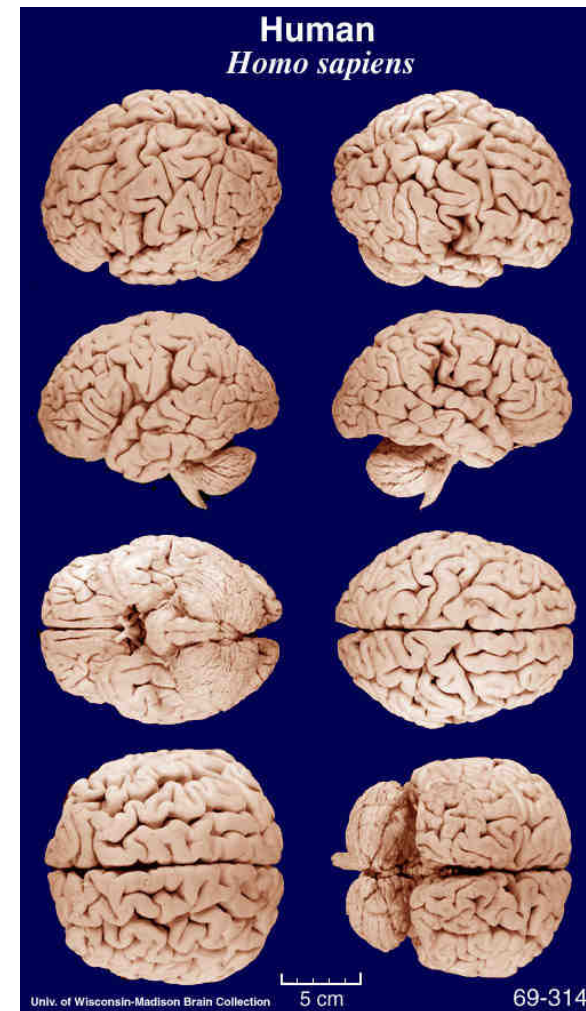
Centre de Neurosciences Cognitives
CNRS - Université Claude-Bernard
Lyon

Une introduction à la neurophysiologie

- L'organisation du système nerveux: 1. composantes cellulaires, 2. circuits neuronaux, 3. principes d'anatomie,
- Les signaux nerveux: 1. signaux électriques des neurones, 2. perméabilité membranaire, 3. canaux et transporteurs, 4. transmission synaptique, 6. neurotransmetteurs, 7. récepteurs, 8. transduction intracellulaire
- Les systèmes sensoriels: 1. somesthésie, 2. douleur, 3. vision (oeil), 4. vision (voies centrales), 5. audition, 6. système vestibulaire, 7. sens chimiques.
- La motricité: 1. motoneurones et contrôle moteur, 2. tronc cérébral et moëlle, 3. ganglions de la base, 4. cervelet, mouvements oculaires
- Système nerveux végétatif
- Développement cérébral: 1. différenciation et migration, 2. construction des circuits neuronaux, 3. périodes critiques, 4. plasticité des synapses et des circuits adultes
- Aires corticales associatives: 1. lobe pariétal, 2. lobe temporal, 3. lobe frontal
- Langage et latéralisation
- Sommeil et veille: 1. fonction du sommeil, 2. cycle circadien
- Emotions et Mémoire

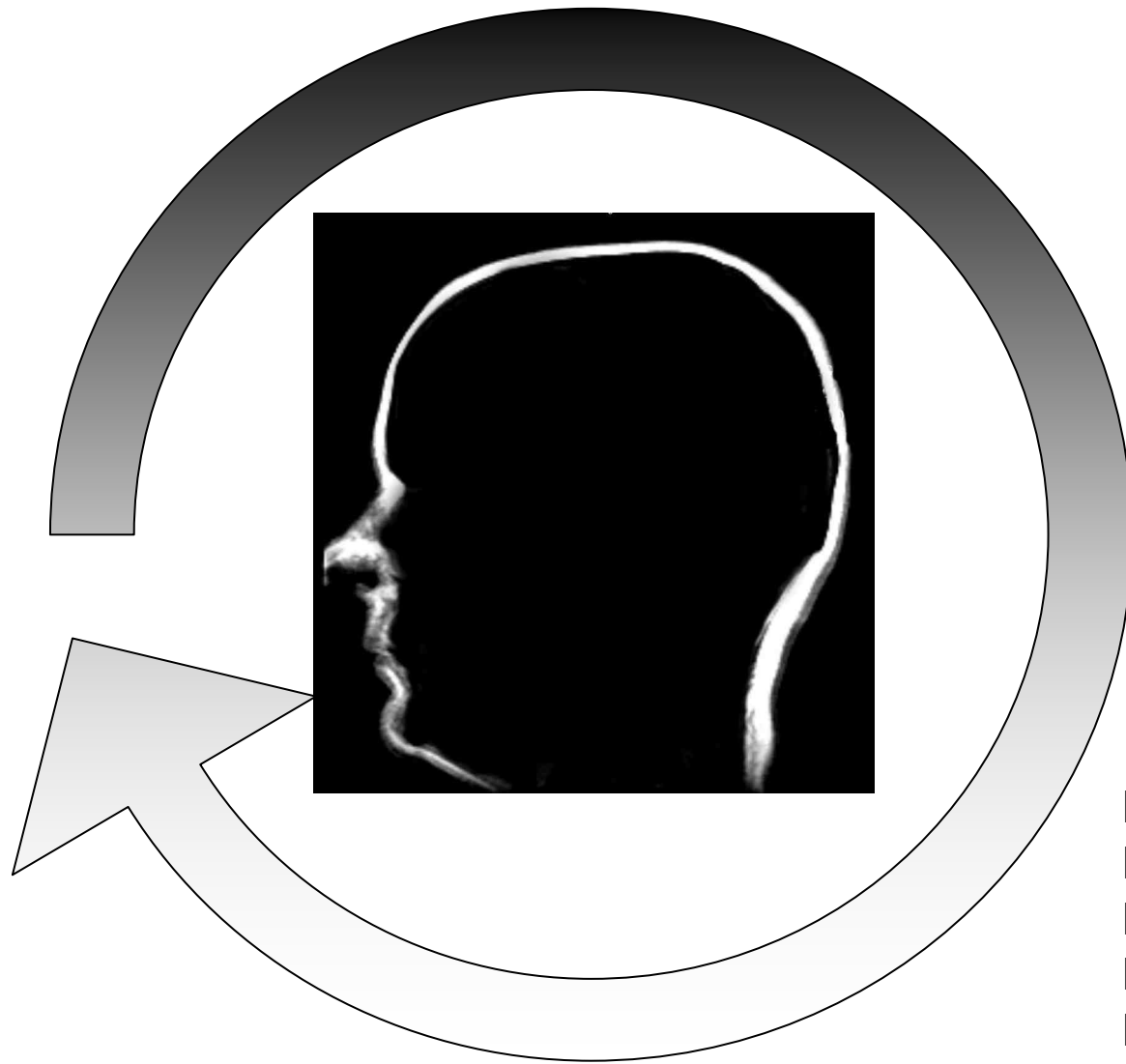
Objectifs de ce cours (10 heures)

- Introduire les fondations théoriques et expérimentales de la neurophysiologie
- Illustrer à partir de quelques systèmes (vision, oculomotricité, cognition, plasticité adulte) la pertinence pour les cognisciences



Les neurosciences,
une histoire de concepts
et de représentations

Psychologie
Philosophie de l'esprit
Intelligence artificielle



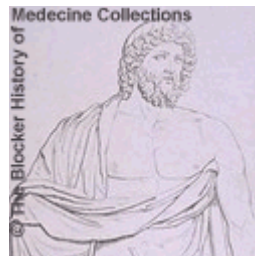
Neurosciences
computationnelles
Neuroethologie
Neuropaléontologie

Neuroanatomie
Neurocytologie
Neuro-ontogenèse
Neuropsychologie
Neurophysiologie
Neuroimagerie



-3000 ans b.c., Ancien Empire d'Égypte : un papyrus évoque la plus ancienne approche neuropsychologique connue à ce jour, par l'étude de plusieurs dizaines de cas, dans lesquels des fractures du crâne et des vertèbres sont associées à des symptômes spécifiques mais délocalisés : 'une blessure qui est dans le crâne ...[fait que] le malade marche en traînant le pied'

- VII-VI^{ème} siècles av. J.C. : **Démocrite** : 'le cerveau, gardien de la pensée et de l'intelligence ... [contient les principaux] liens de l'âme' cependant, le cœur reste 'la reine, la nourrice de la colère' et le foie 'le foyer du désir'... les 'atomes psychiques' sont le substrat matériel des échanges qu'établit le cerveau avec les organes du corps et le monde extérieur.



- **Hippocrate** V-IV^{ème} siècles av. J.C. : développement de l'approche neuropsychologique par étude de cas. Découverte que chaque hémisphère cérébrale contrôle la partie contralatérale du corps. Première description de l'épilepsie [apoplexie]. Premières distinctions entre maladie mentale et maladie neurologique.
- **Platon** V-IV^{ème} siècles av. J.C. : trois parties de l'âme : intellectuelle (dans la tête, immortelle) et irascible et concupiscible (mortelles reliées à la première via la moelle épinière).



- Le *cardiocentrisme aristotélicien* IV^e siècle av. J.C.
: retour aux conceptions développées par Homère et les Hébreux à l'époque : le cœur est le siège des sensations, des passions et de l'intelligence. Le cerveau ne joue que le rôle de réfrigérateur de l'organisme. Car à l'époque on sait observer le cœur et les vaisseaux sanguins qui le relie à la périphérie du corps, mais on ne connaît pas encore les nerfs. D'autre part, le cœur est très excitable par stimulation mécanique, mais pas le cerveau. Pourtant, Aristote affirme que 'l'âme ne pense pas sans images [et que les organes des sens constituent des] 'représentations, des copies' [des objets qui les produisent. L'intelligence peut alors] 'calculer et disposer l'avenir par rapport au présent comme si elle voyait les choses' → psychologie cognitive ??

- Alexandrie, *Hérophile et Erasiastre*, IV-III^e siècles av. J.C. : pionnier de l'anatomie : dissection de criminels 'alors qu'ils respirent encore'.



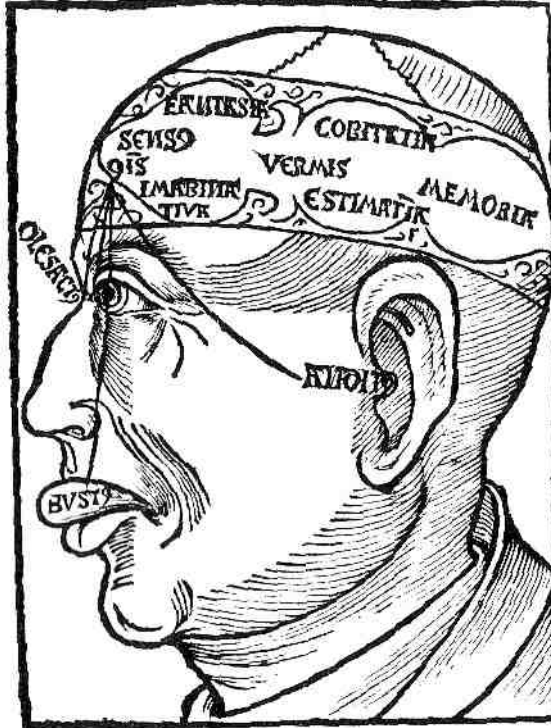
- Cerveau/cervelet/moelle épinière
- Circonvolutions cérébrales, beaucoup plus riches chez l'homme que chez l'animal
- Existence de ventricules
- Distinction entre nerfs et vaisseaux sanguins
- Distinction entre nerfs du mouvement (moteurs) et nerfs du sentiments (sensitifs)

- Ces connaissances anatomiques ne seront pas dépassées avant le XVII^e siècle
- *Galien*, II^e siècle : naissance de la physiologie cérébrale



- Distinction de trois cavités (ventricules) : une antérieure divisée en deux, une moyenne et une postérieure
- Par dissections sélectives, démonstration que le cerveau est de nature différente des nerfs et qu'il joue un rôle central dans la commande du corps et de l'activité mentale

L'âme et le corps

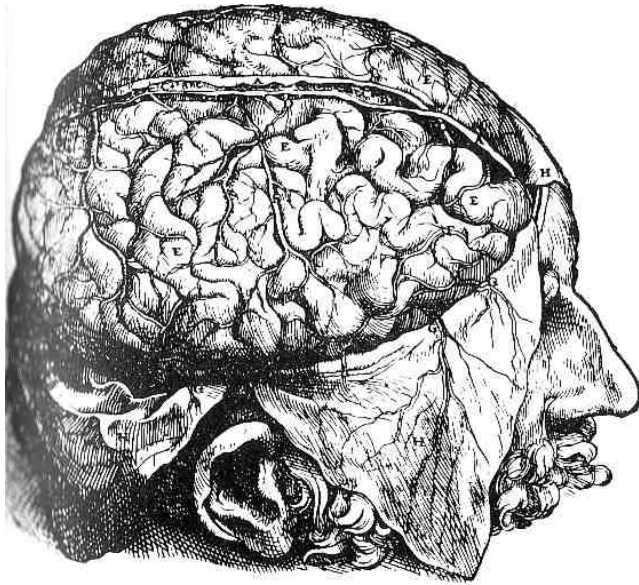


- La compréhension du lien entre l'âme et le corps a été un des principaux moteurs de cette quête de compréhension jusqu'à la fin de la renaissance, avec une définition assez floue du terme âme

- 'L'âme ne pense jamais sans images', Aristote
- Les ventricules comme 'organe de l'âme' et qui produisent les 'pneuma psychiques' et l'âme est divisée en trois fonctions, motrice, sensible et raisonnable (divisée en imagination, raison et mémoire), Galien
- Les **Pères de l'Eglise primitive** (Némésis, Saint-Augustin) IV-Vièmes siècles : début du localisationisme : ventricules antérieur (imagination), moyen (raison), postérieur (mémoire)
- A la renaissance, la doctrine officielle est celle de 'l'immatérialité de l'âme'
- Pour **Descartes** : le corps est une machine qui est actionnée par les 'esprits animaux' produit par le flux de sang envoyé par le cœur vers le cerveau et qui sont ensuite distribués via les ventricules vers les nerfs. La glande pinéale, seule glande unique du cerveau permet à l'âme unique immatérielle, immortelle, de se joindre au corps. C'est le dualisme cartésien

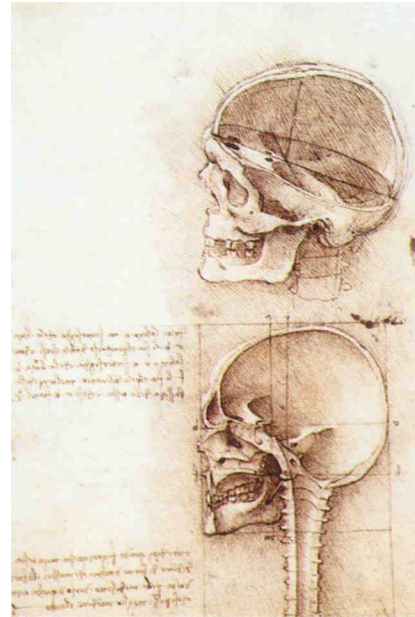
- Petit à petit, cette question quitte la scène scientifique mais reste posée dans le champs de la philosophie de l'esprit, de la neurothéologie et bien sur des convictions personnelles

La renaissance, développement de l'anatomie descriptive



Vésale, 1543, Italie

Corrige des inexactitudes qui
avaient été introduites par Galien
en transposant hâtivement des
observations faites chez l'animal



Léonard de Vinci, 1504-1507, Italie

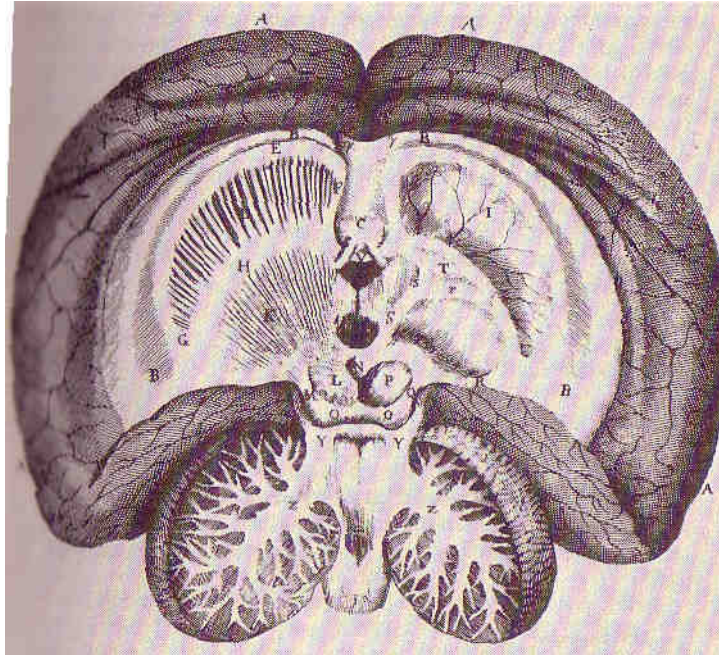
Dissections sur cadavres, coupes selon
différentes perspectives

<http://www.wga.hu/frames-e.html?/html/1/leonardo/index.html>



Mais aussi Varole et Fresnel, en France

Enfin, la primauté au cortex cérébral !



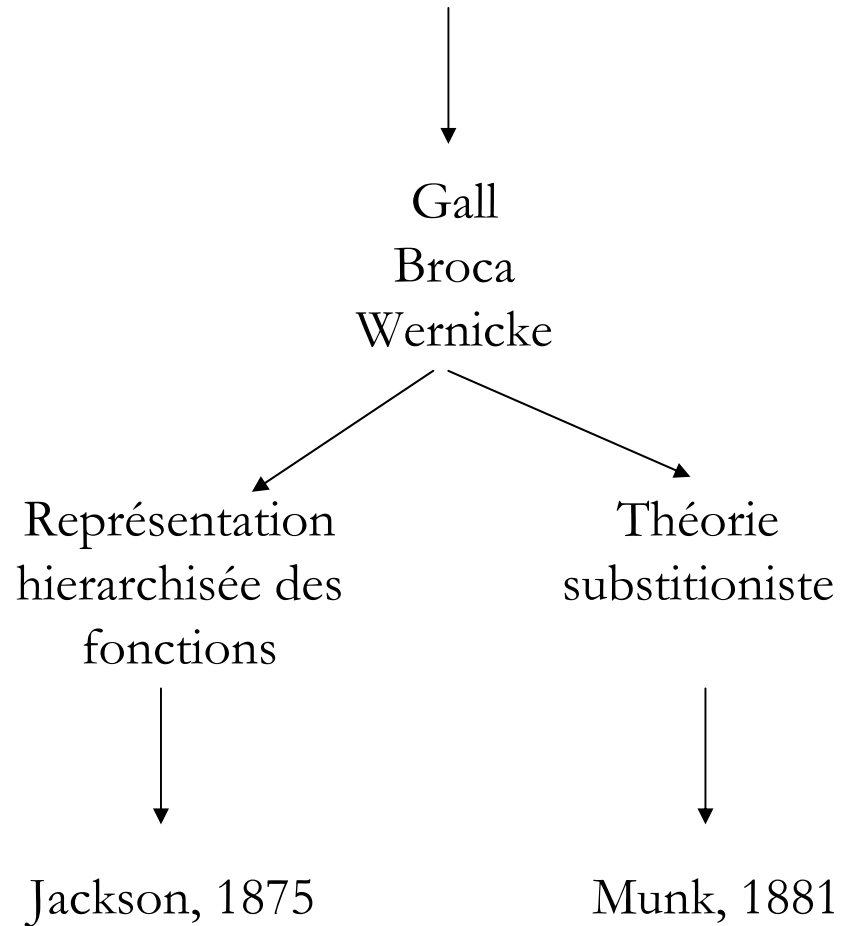
Willis, 1672, Angleterre

Fin de la doctrine ventriculaire.

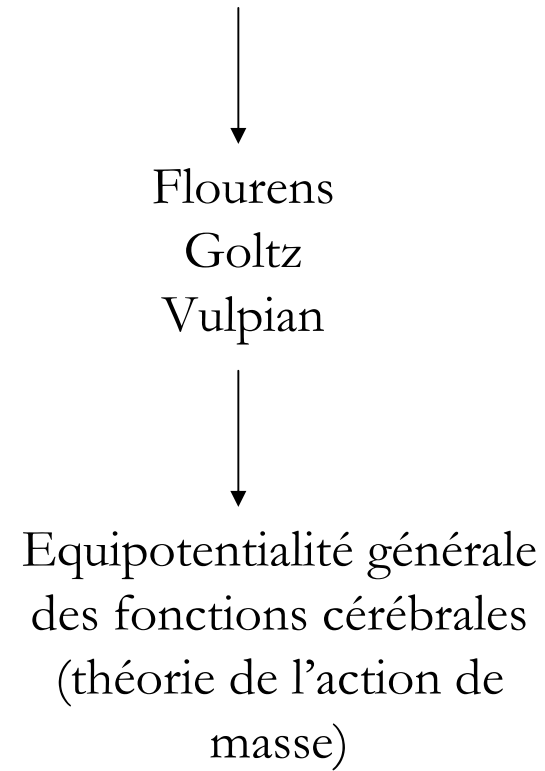
Les deux hémisphères sont déjetés à droite et à gauche après section du cerveau entre les deux hémisphères. Le bistouri a tranché le corps calleux. Willis distingue entre matière grise et matière blanche sans encore connaître les corrélats cellulaires de cette différence.

Fin du XIXième siècle

Localisationnistes



Anti-localisationnistes



Phrénologie: Gall 1758-1828

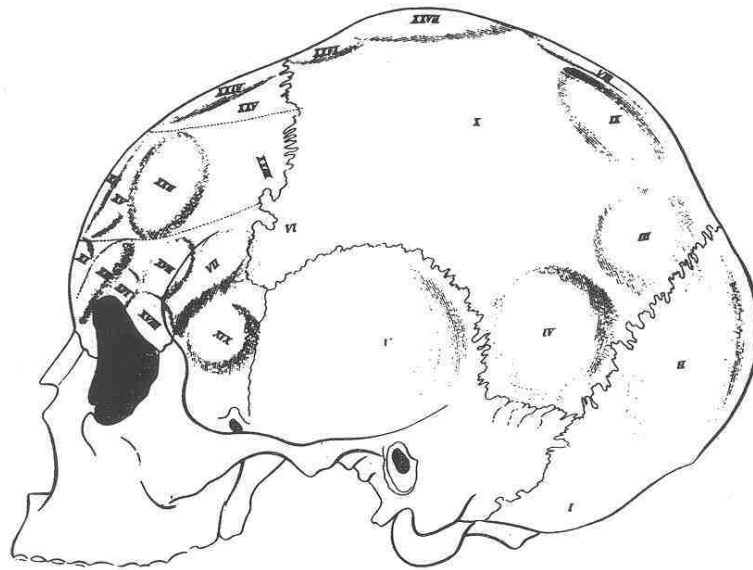
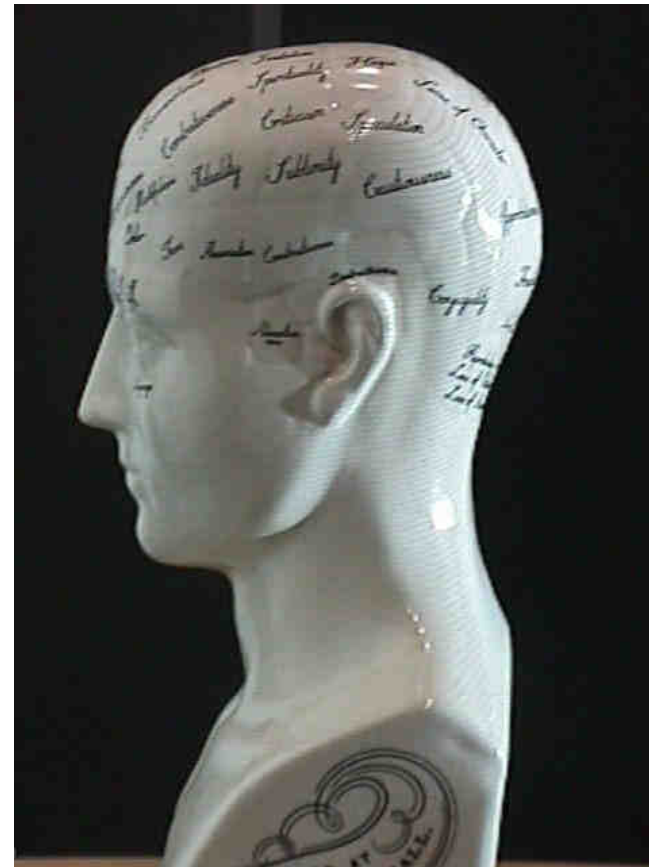
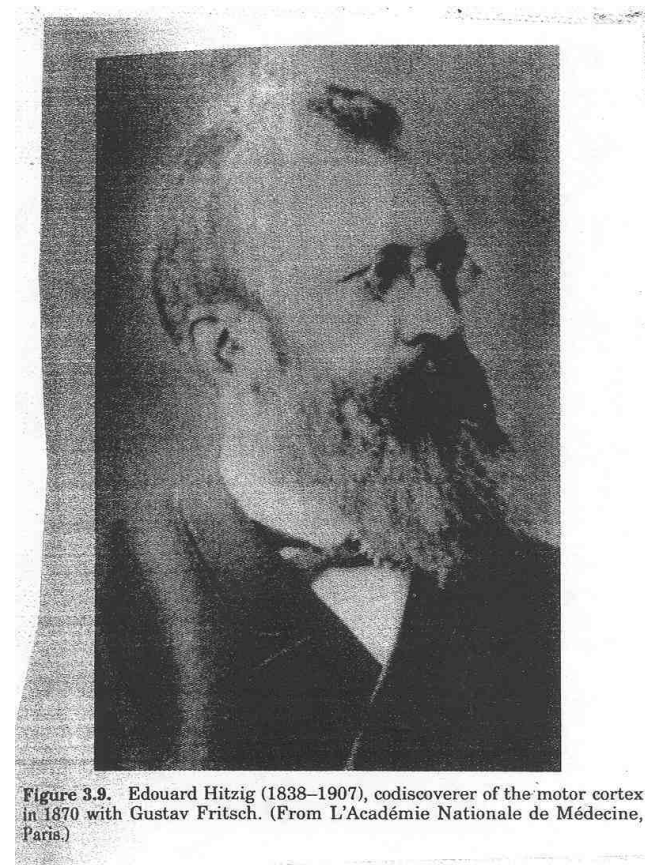
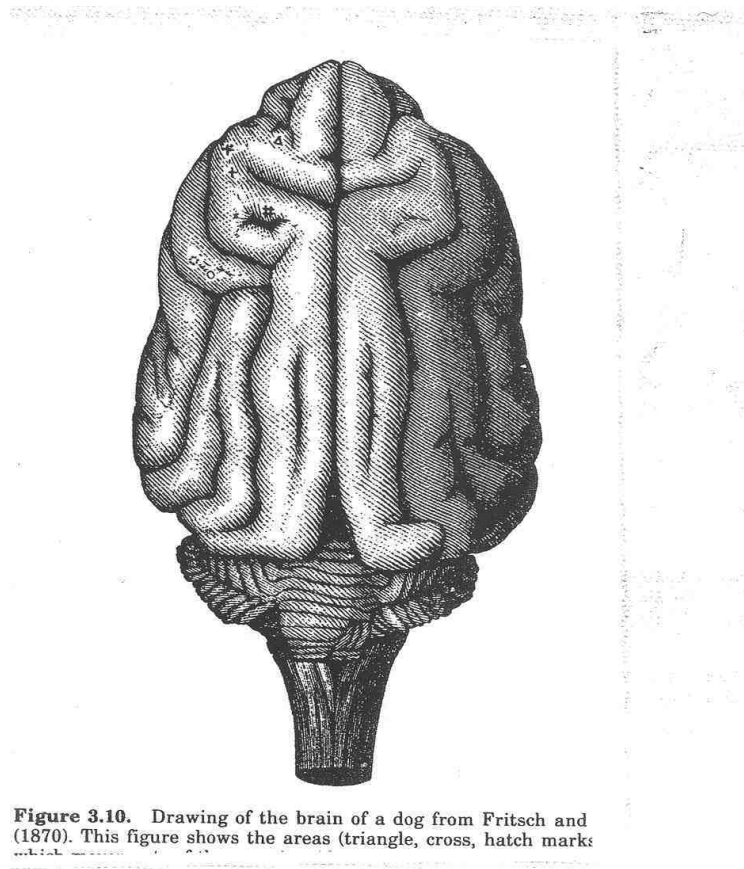


Figure 3.1. One of Franz Gall's plates using numbers to show the locations of the faculties of the mind.



Stimulation électrique du cerveau démontre la localisation des fonctions, Fritz et Hitzig, 1870



Cerveau de ‘Tan’: lésion du pied de la troisième
circonvolution frontale gauche, P. Broca
1824-1880

38

Theories of Brain Function



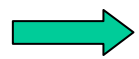
Figure 3.8. Two photographs of the brain of Leborgne (“Tan”), Paul Broca’s celebrated case. (From the Musée Dupuytren. Courtesy of A Publique, Hôpitaux de Paris.)

- language is localized
- language is lateralized

Compréhension du langage :

Carl Wernicke (1848-1904)

- Lésion sur la portion postérieure supérieure du lobe temporal (first temporal gyrus)
- absence de paralysie contralatérale
- Les patients peuvent parler de façon souple, sans que cela n'ait du sens
- Les patients peuvent entendre mais ne peuvent pas comprendre ce qu'on leur dit



Aphasie de Wernicke
et aire de Wernicke



De Flourens (1794-1867) ...
... à Lashley (1890-1958)

- Expérience d'ablation progressive du cortex, chez le rat et chez le pigeon
- Le traitement sensoriel primaire est localisé
- La perception implique tout le cerveau
- Les processus cognitifs de plus hauts niveaux sont trop complexes pour être localisés
- Toute la masse cérébrale est équipotentielle (i.e., si assez de matière est intacte, elle prendra le relais en cas de lésion)
- Notion de plasticité cérébrale
- Proposition que les hommes n'utilisent pas plus de 10% de leur cerveau

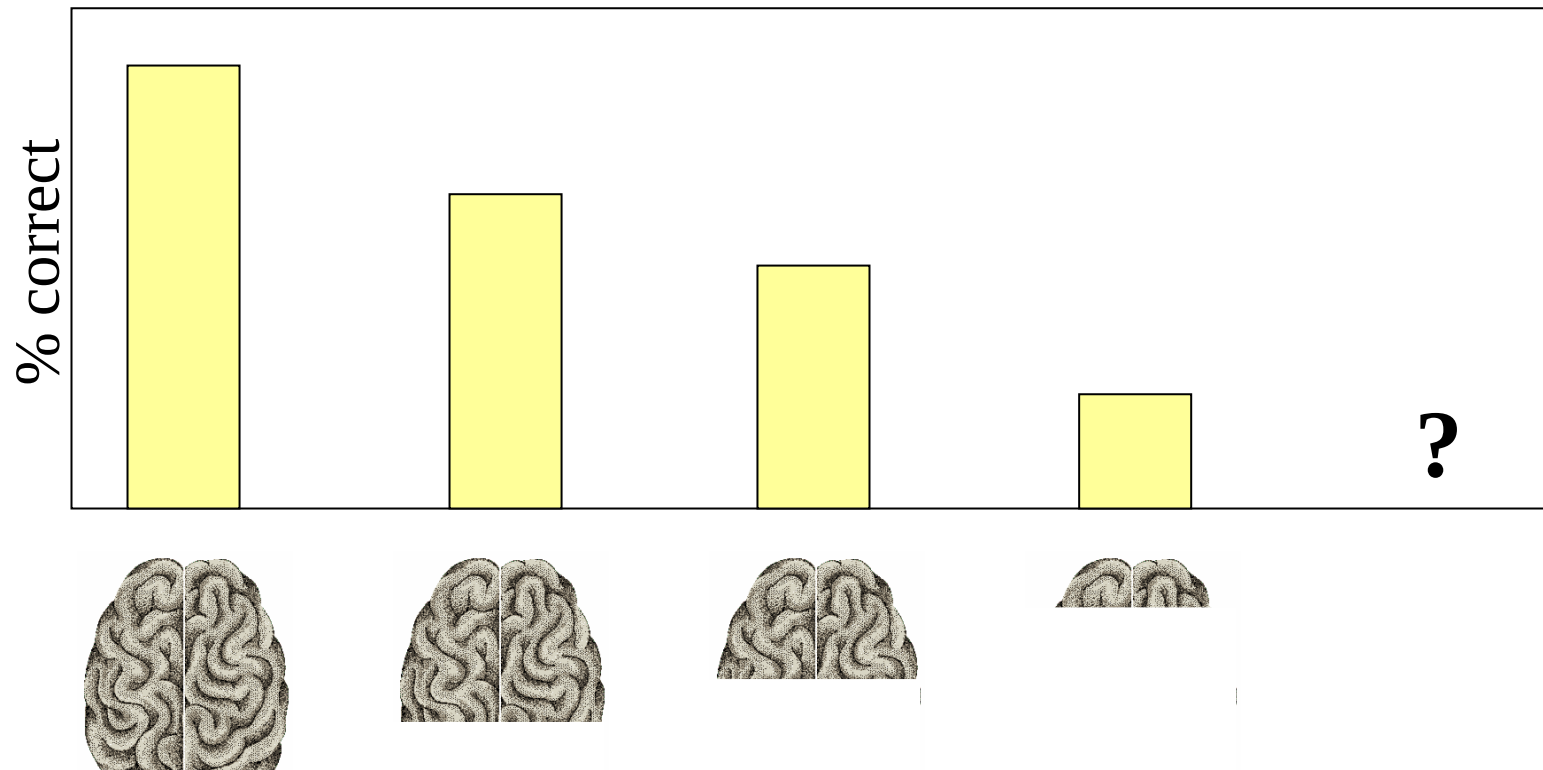
Problème :

Des lésions microscopiques peuvent engendrer des déficits comportementaux remarquables en l'absence de handicap majeur

De Flourens (1794-1867) ...

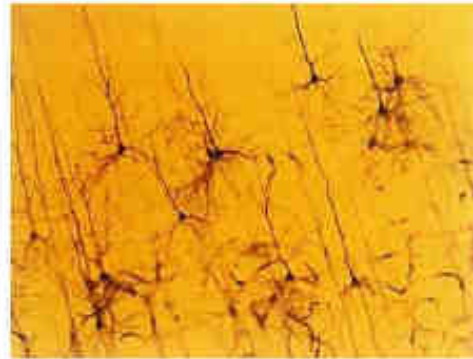
... à Lashley (1890-1958)

théorie de l'effet de masse



Les débuts de l'histologie : Camillo Golgi et Santiago Ramon Y Cajal

Golgi (1843 – 1926)



Exemple de neurones colorés par la méthode de Golgi

► Idée d'un syncytium neuronal

Cajal (1852 – 1934)



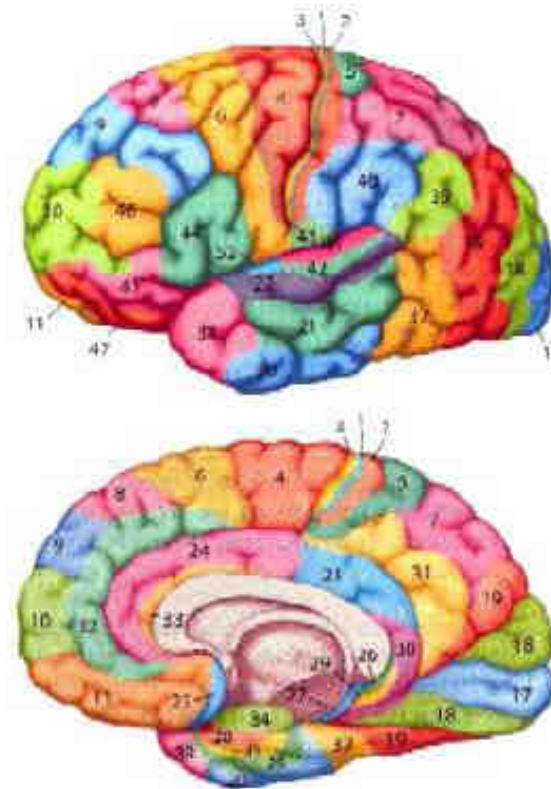
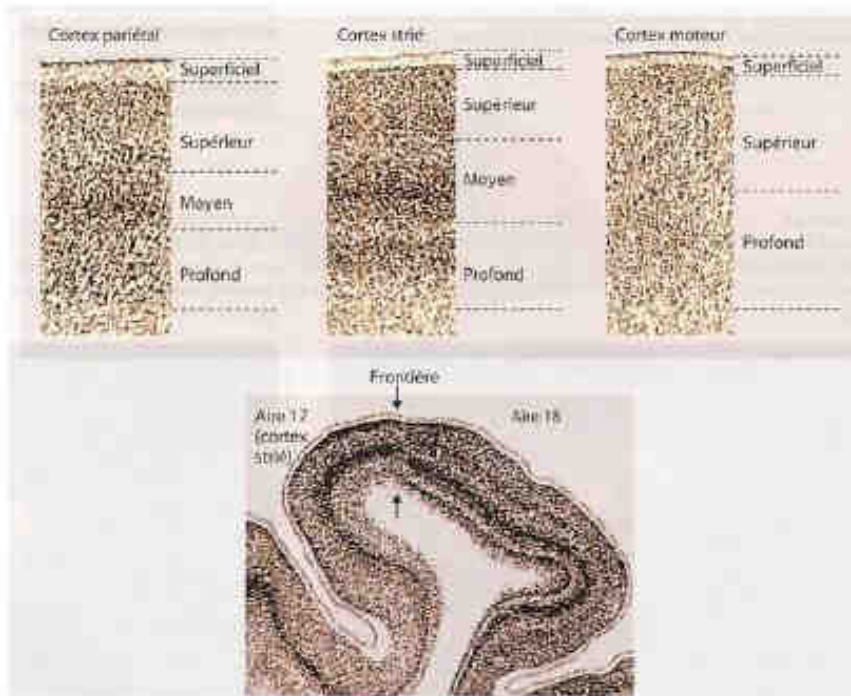
Représentation des neurones du cortex par Ramon y Cajal

► Doctrine Neuronale : les neurones sont unitaires et forment un réseau

Brodmann et les cartes cytoarchitectoniques (1868 – 1918)



> En se basant sur des différences neuroanatomiques au niveau des couches corticales, Brodmann décrit 52 aires et dessine ses cartes cytoarchitectoniques (1909)



- **Luigi Galvani (18^{ème} siècle) : les muscles et les cellules nerveuses produisent de l'électricité**
- **Johannes Muller et Hermann von Helmholtz (19^{ème} siècle) : l'activité électrique d'une cellule nerveuse affecte une autre cellule de façon prédictible**

Charles Sherrington (1857 – 1952)



Nobel de Médecine en 1932

Il introduit le terme de Synapse en 1897 et le concept d'unidirectionnalité pour la transmission synaptique

Donald Hebb (1904 – 1985)

Concept de plasticité synaptique : bases biologique de l'apprentissage

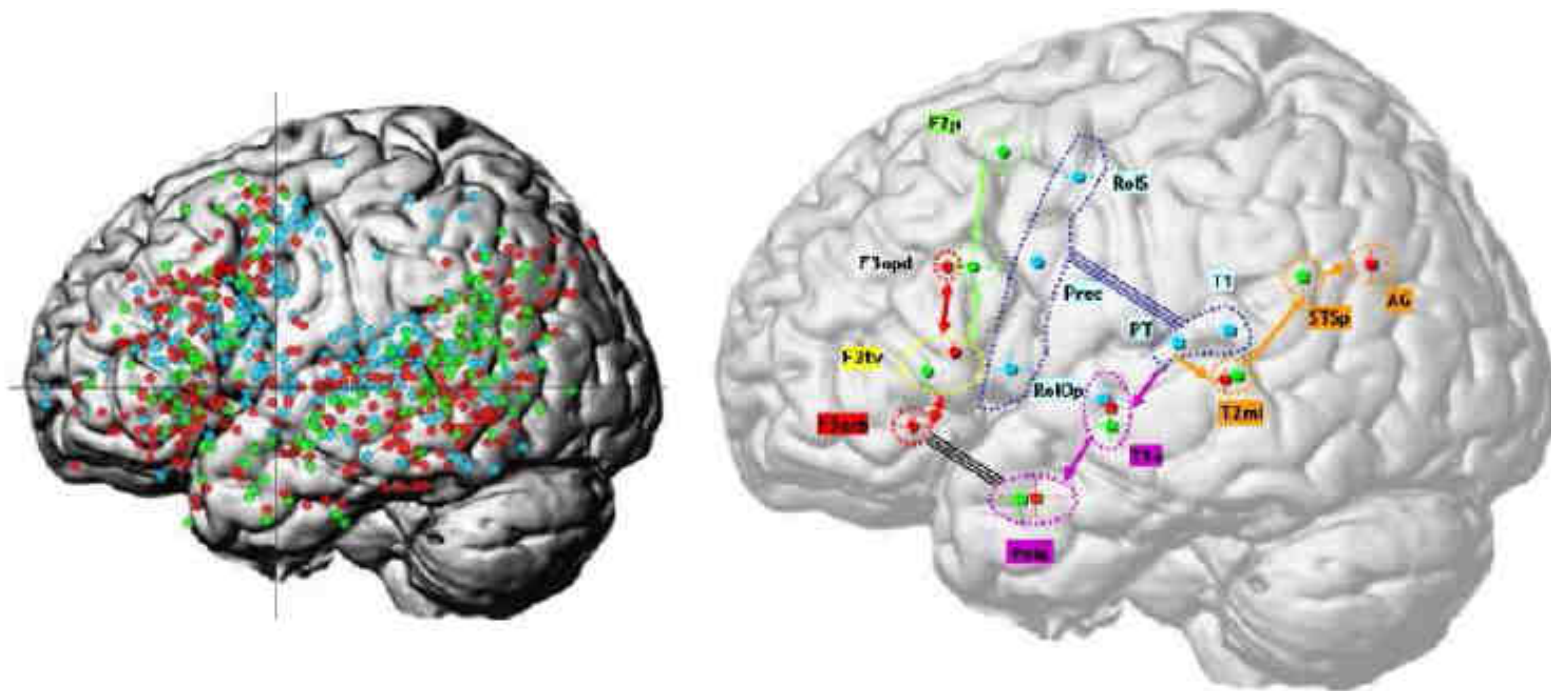
Concilier *spécialisation* fonctionnelle et traitement *parallèle*

- chaque partie du cerveau est un organe indépendant (ou module),
- représentant une fonction complexe: empathie, honnêteté (ou apprentissage, couleurs, visages...)

- seules des opérations élémentaires sont localisées
- les fonctions complexes se construisent à partir de connexion entre plusieurs régions qui ne sont pas reliées de façon sérielle mais parallèle
(explication des effets de lésion: réorganisation, compensation)

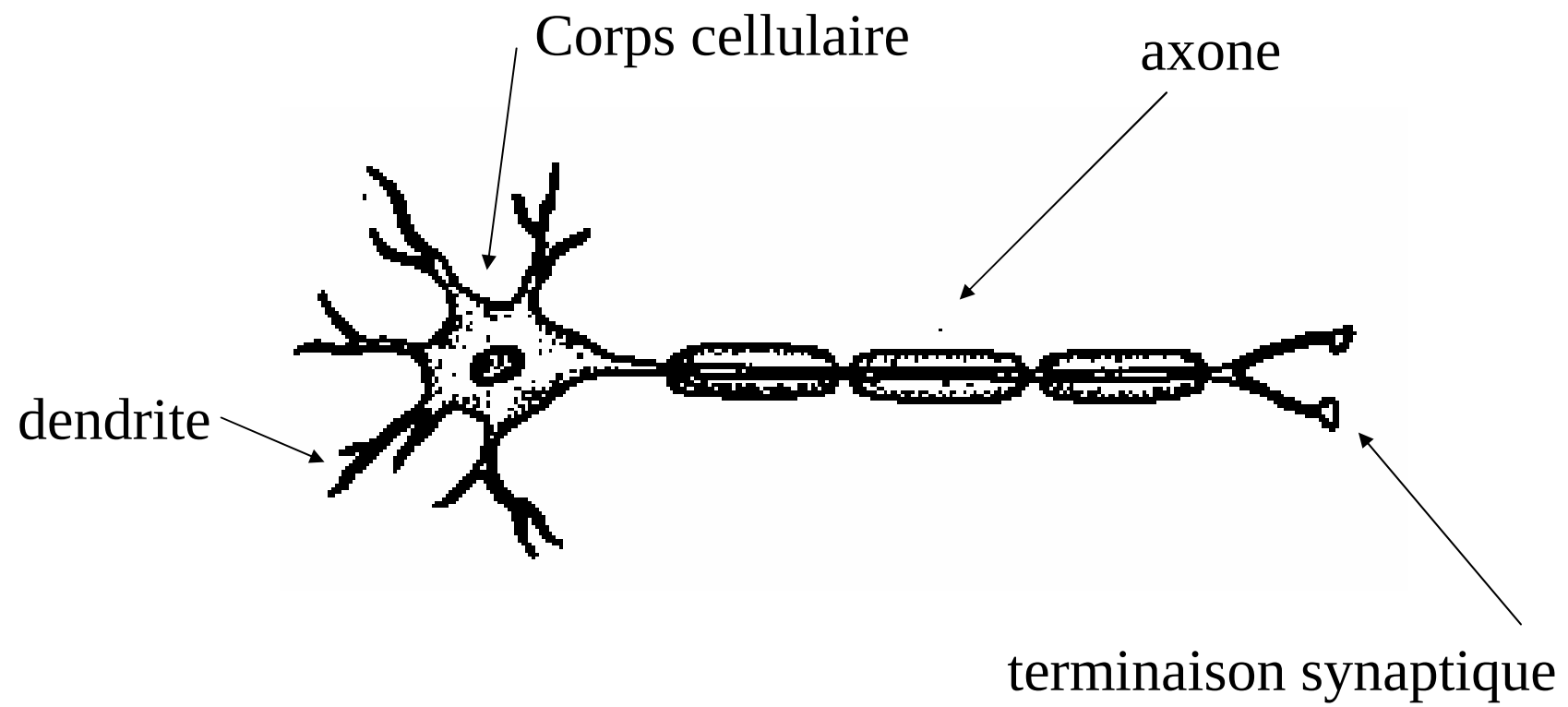
La question localisationisme / équipotentialité s'est déplacée vers celle de la modularité / connexionisme.

Aujourd'hui, la neurophysiologie ne cherche plus tellement à comprendre comment fonctionne le "cerveau", mais quelles sont les opérations élémentaires accomplies par chacune de ses parties.



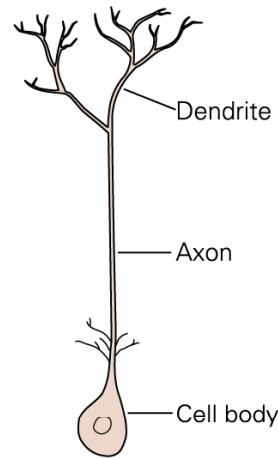
Exemple d'une illustration des réseaux neuraux
impliqués dans la reconnaissance du langage
(Beaucousin, d'après Vigneau et al. 2006)

Morphologie et fonctionnement de la cellule nerveuse



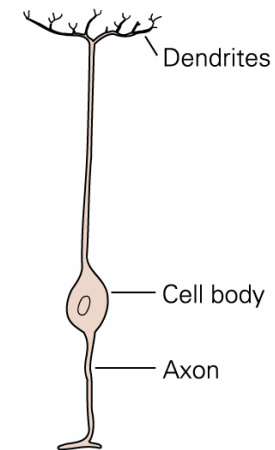
- Bipolaires: un prolongement venant de la périphérie, un dirigé vers le centre (ex: cellules sensorielles)

A Unipolar cell



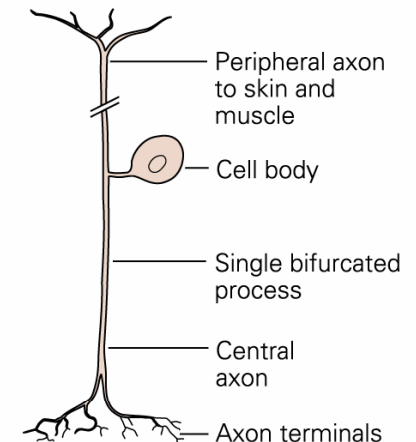
Invertebrate neuron

B Bipolar cell



Bipolar cell of retina

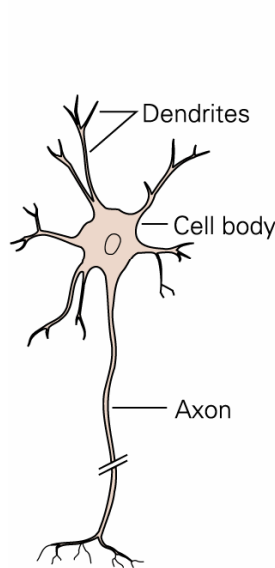
C Pseudo-unipolar cell



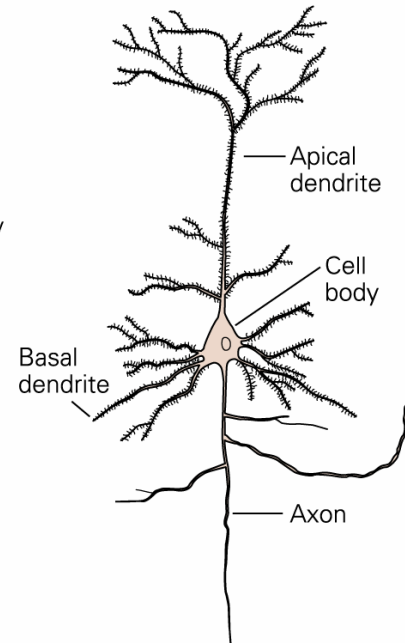
Ganglion cell of dorsal root

D Three types of multipolar cells

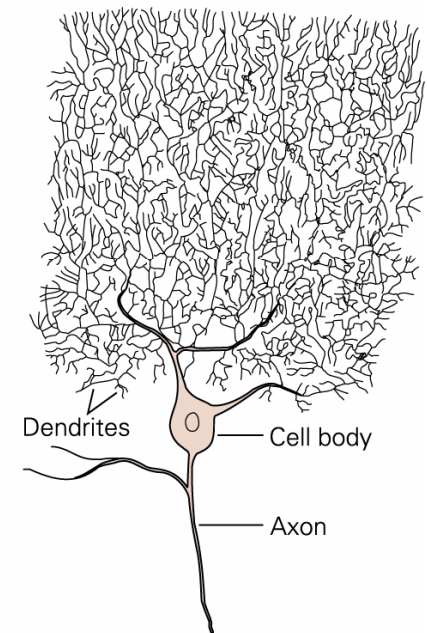
- Multipolaires: les plus répandues, un axone et plusieurs dendrites, formes variés, nombreux points de contacts (1000 ou plus: motoneurones 10,000, Purkinje 150,000)



Motor neuron of spinal cord



Pyramidal cell of hippocampus



Purkinje cell of cerebellum

Cerveau humain: 100
milliards de neurones,
10,000 milliards de
synapses

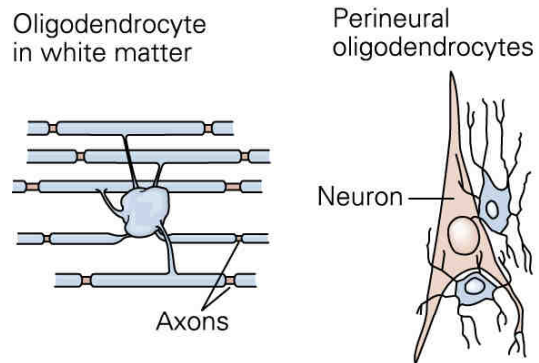


Classification fonctionnelle

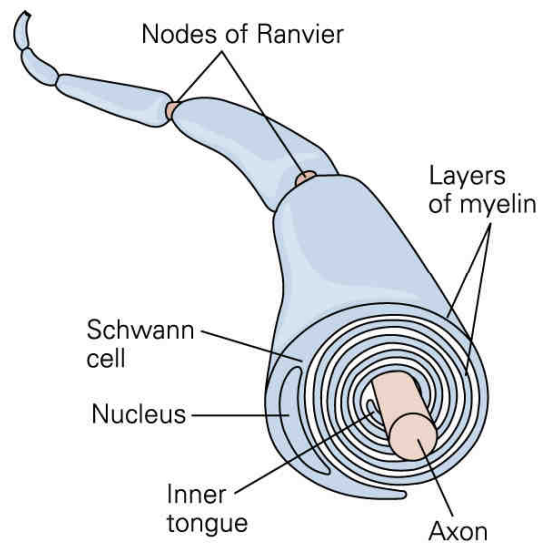
- afférents (de la périphérie sensorielle vers le centre)
- efférents (du centre vers la périphérie : muscles et glandes)
- interneurones
 - axone court : traitement local
 - axone long : neurone de relai ou de projection

Morphologie et fonction des cellules gliales

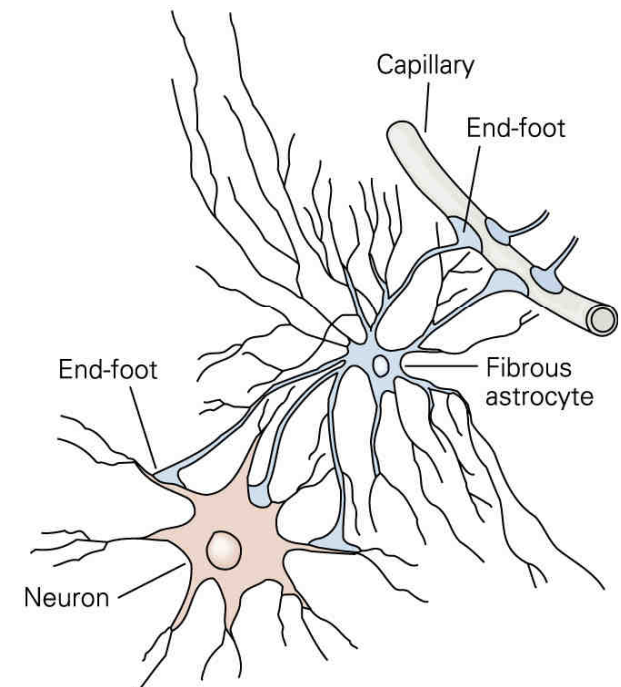
A Oligodendrocyte



B Schwann cell



C Astrocyte



Fonction des cellules gliales

- Support pour les neurones
- conduction électrique (cellule de Schwann, oligodendrocytes)
- mort neuronale
- Fonctions immunitaires
- recapture des neurotransmetteurs
- guidage de la croissance axonale
- barrière hématoencéphalique
- nutrition
- régulation des échanges ioniques

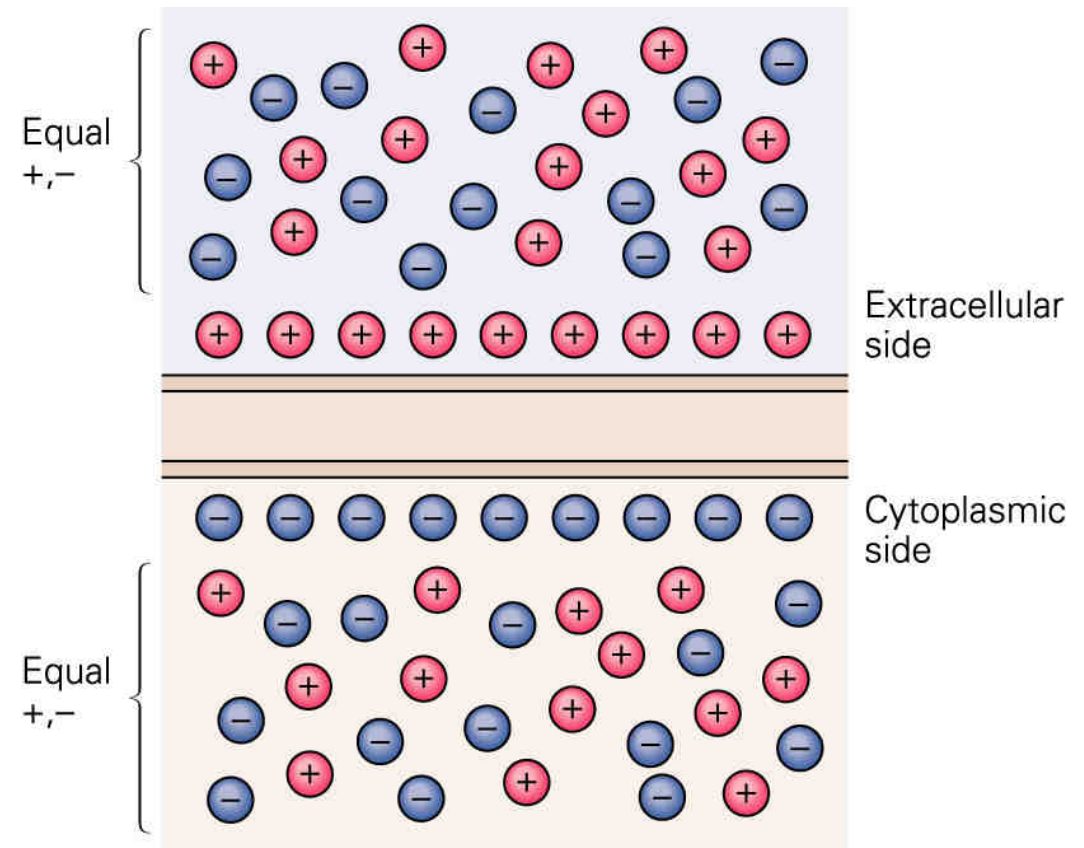
Ps: à l'origine de la plupart des cancers cérébraux

Electrophysiologie : principe général

- La membrane cellulaire sépare les compartiments intracellulaire et extracellulaire dans lesquels existent des concentrations ioniques différentes. Le gradient établi est à l'origine du potentiel de membrane.
- La membrane est le siège de transferts ioniques: courants électriques (= base de l'activité nerveuse)

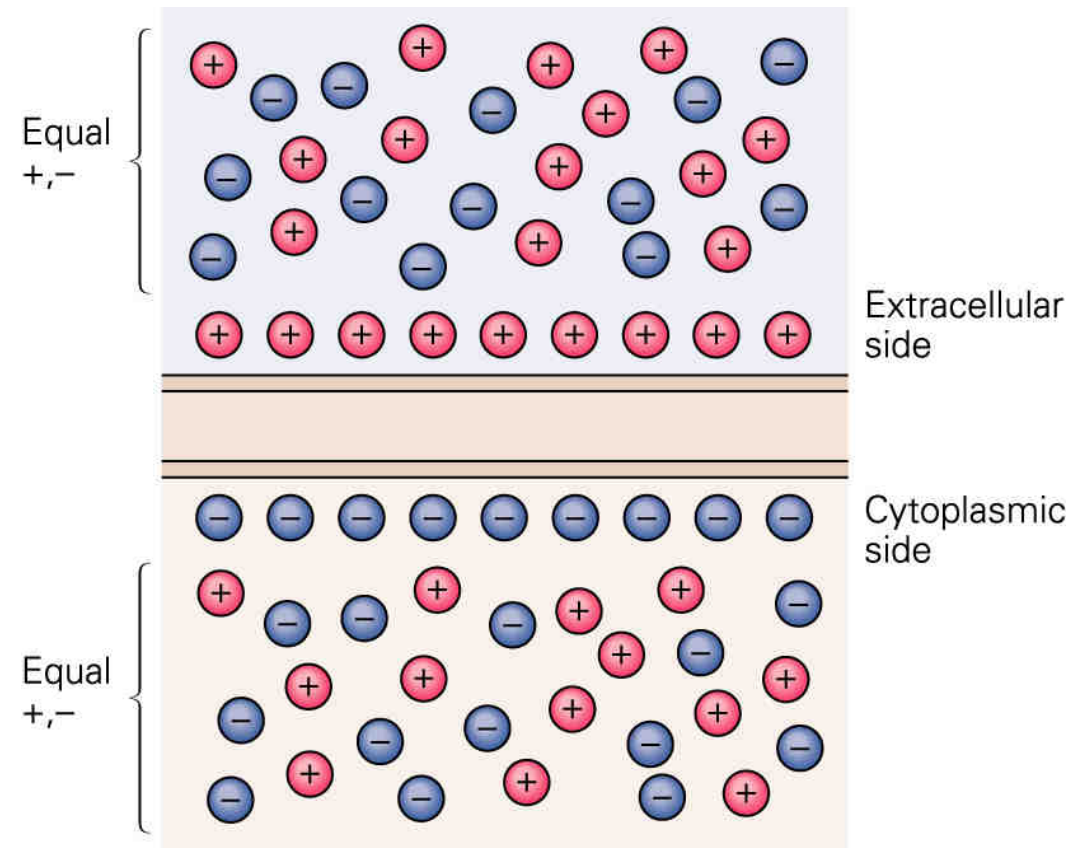
Transmission des signaux

- Toutes les cellules de l'organisme ont un potentiel membranaire de repos, i.e. différence de 65mV entre le milieu interne et externe
- La caractéristique des cellules nerveuses est de pouvoir altérer ce potentiel et de s'en servir comme mécanisme de transmission de signal



Transmission des signaux

- Si le potentiel de membrane est abaissé de 10mV (-65 à -55) un potentiel d'action est initié, altérant la perméabilité de la membrane.
- Tous les signaux s'expriment par rapport à ce niveau de base: hyperpolarisation (inhibition) ou dépolarisation (excitation)



Propriétés électriques de la membrane neuronale:

1. Signal d'entrée (potentiel de récepteur ou potentiel synaptique)
2. Signal intégrateur
3. Signal conducteur
4. Signal de sortie

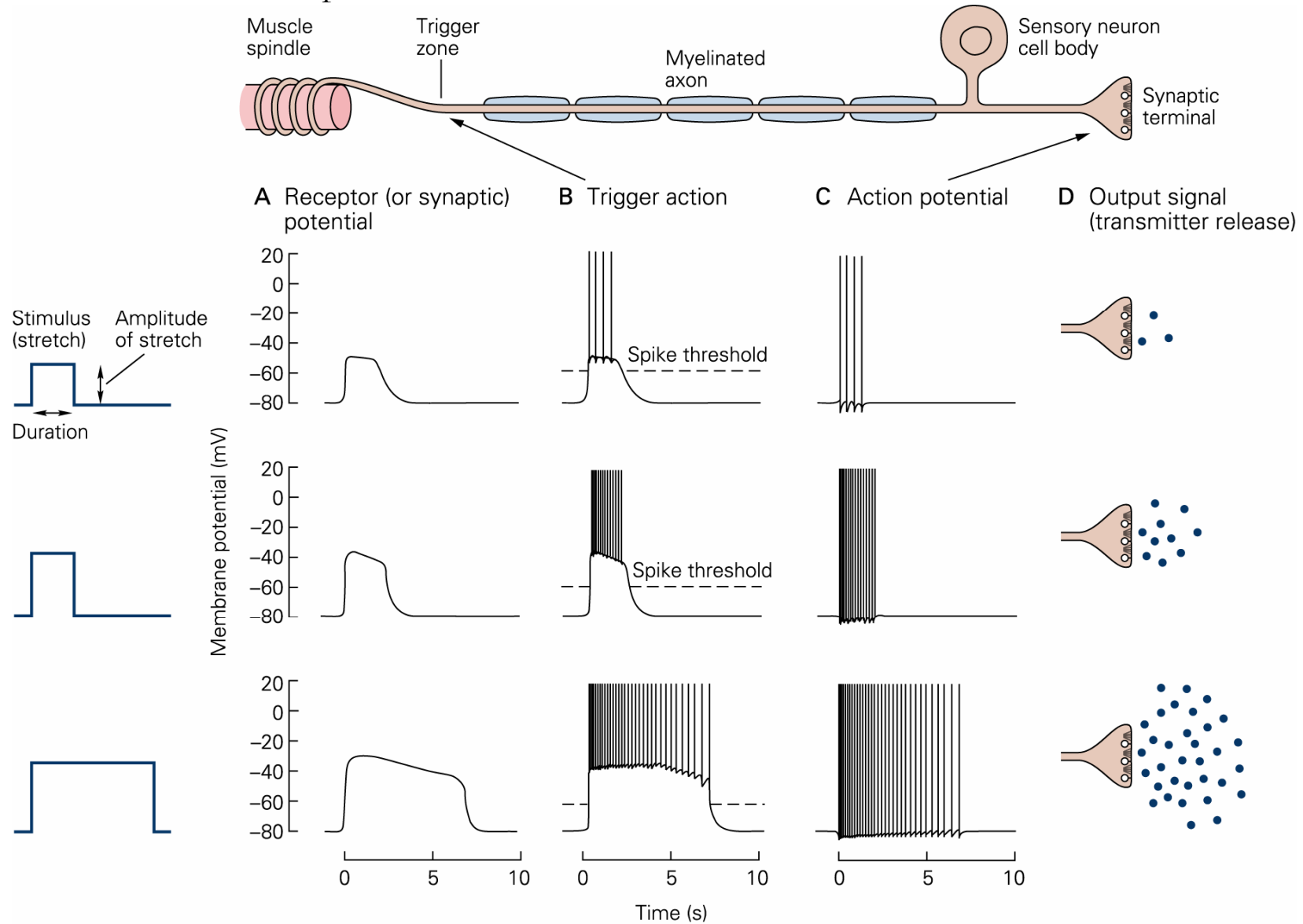
Principe de la conversion analogique/numérique:

un signal qui varie de façon continue en amplitude est transformé en signal d'amplitude fixe variant uniquement en fréquence

propagation passive

mécanisme d'amplification
par sommation

propagation active,
rapide, sur de longues distances



Le potentiel synaptique est :

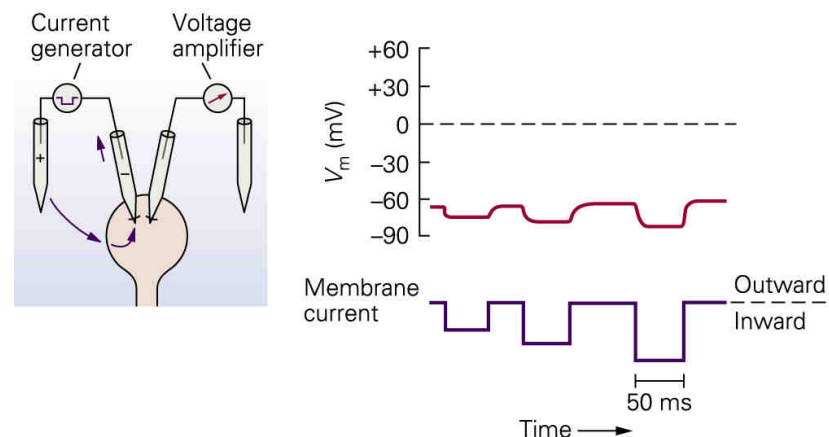
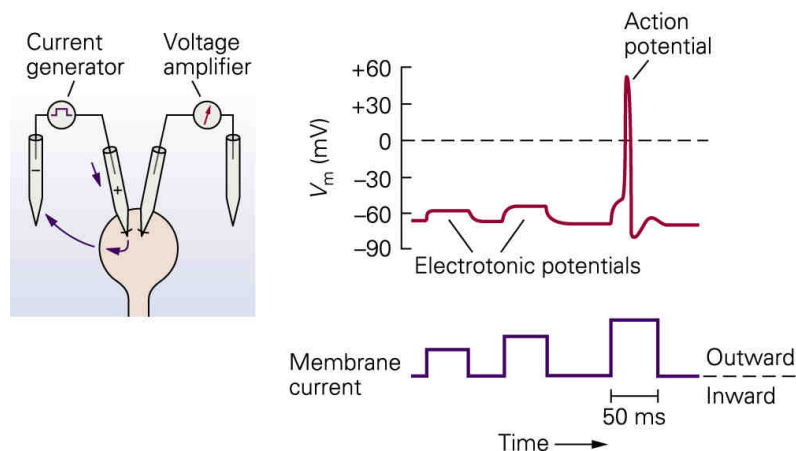
- (a) faible (0.1-10 mV)
- (b) progressif ($\sim$ analogique)
- (c) propagé de manière passive
- (d) soit hyperpolarisant, soit dépolarisant

Le potentiel d'action est:

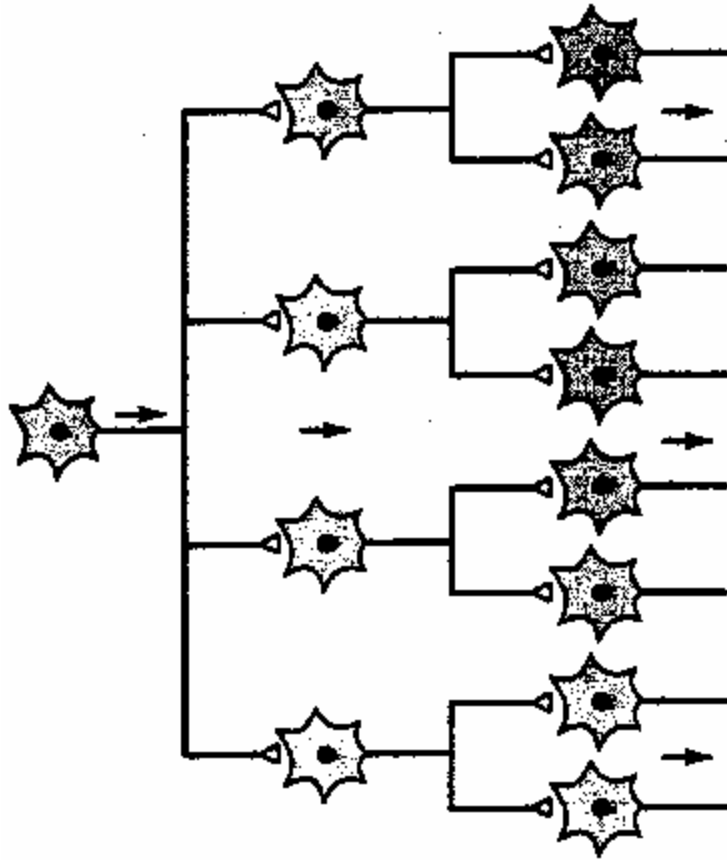
- (a) élevé (70-110 mV)
- (b) « tout ou rien » ($\sim$ numérique)
- (c) propagé de manière active
- (d) dépolarisant

terminaison synaptique

- libération de neurotransmetteurs: quantité progressive, dépendante du nombre et de la fréquence des potentiels d'action
- conversion numérique/analogique
- effet dépolarisant ou hyperpolarisant suivant le type de récepteurs post-synaptique auxquels ils se lieront
- utilisation de l'excitation et de l'inhibition (50/50) comme mode de transformation de l'information

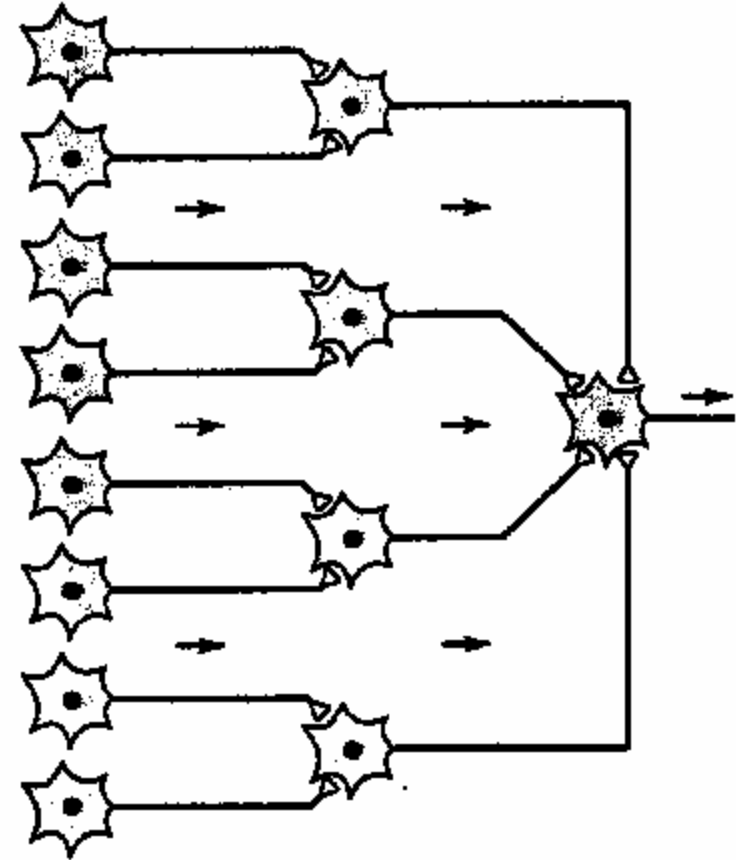


A. Divergence



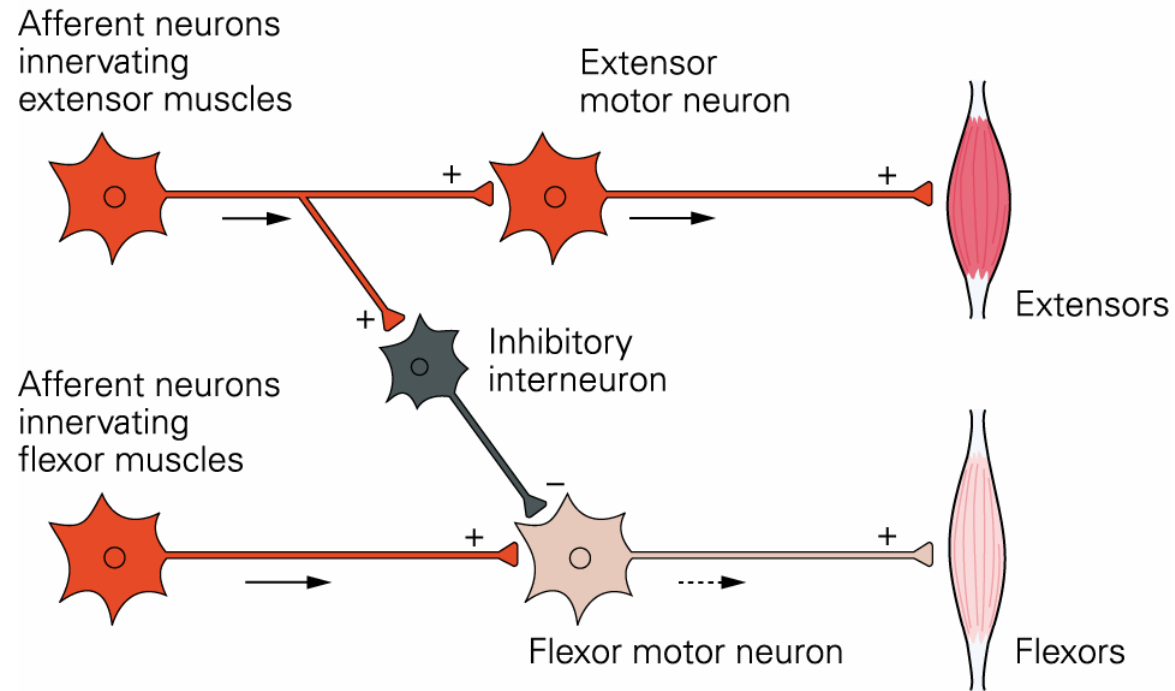
Influence distribuée d'une même cellule sur de nombreuses cellules

B. Convergence

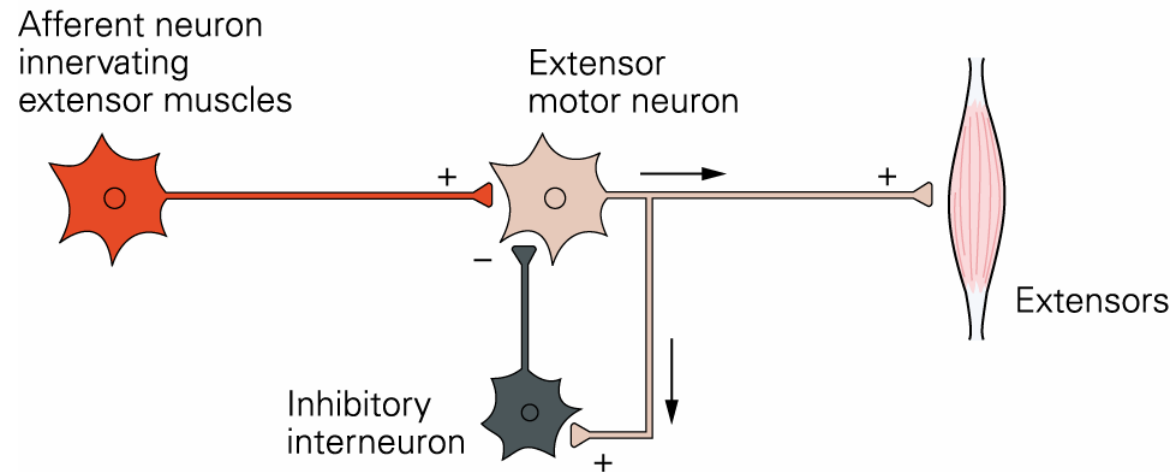


intégration d'influences de sources diverses (ex: transformations sensori-motrices, 5 à 10 fois plus de neurones sensoriels que moteurs)

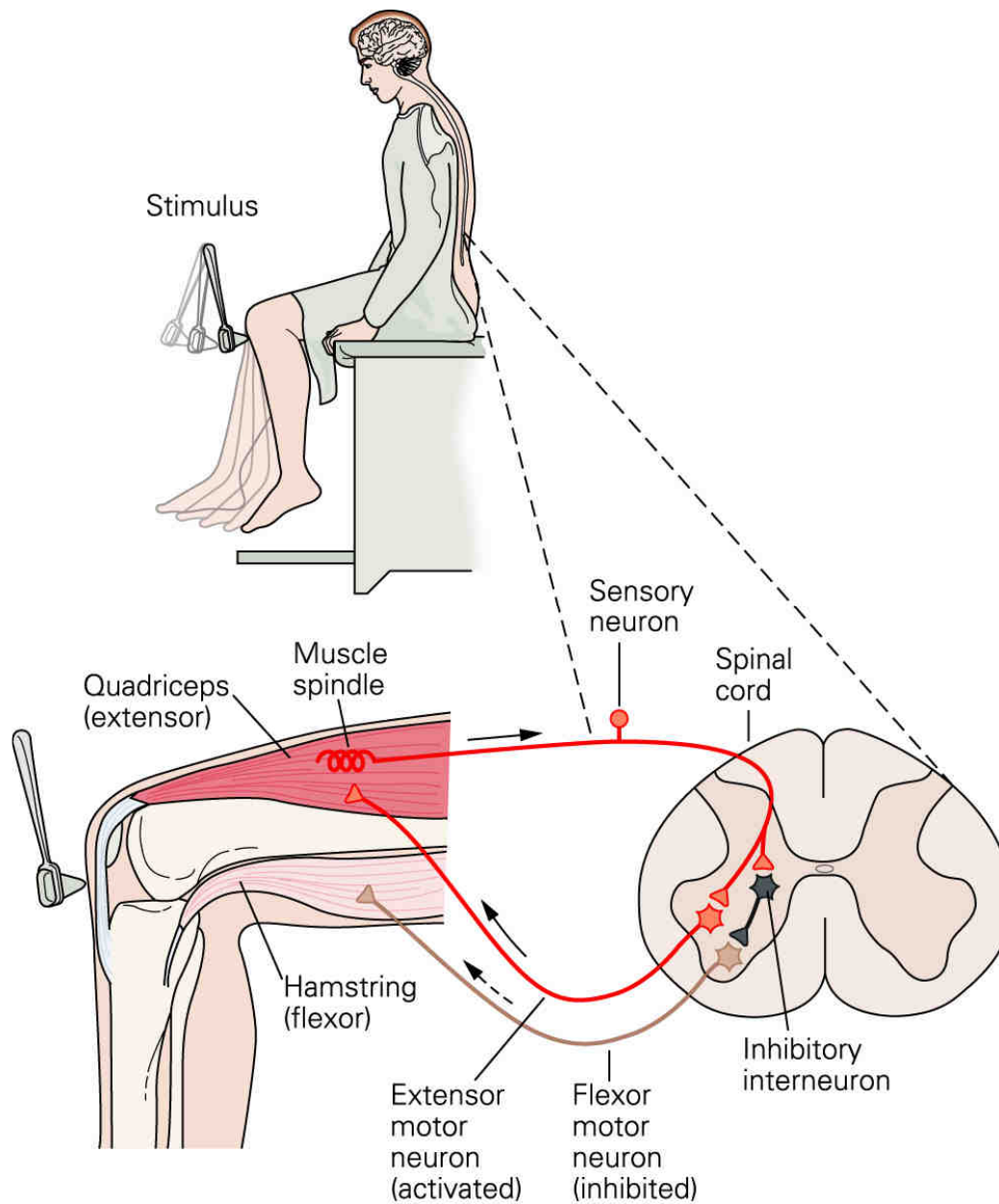
A Feed-forward inhibition



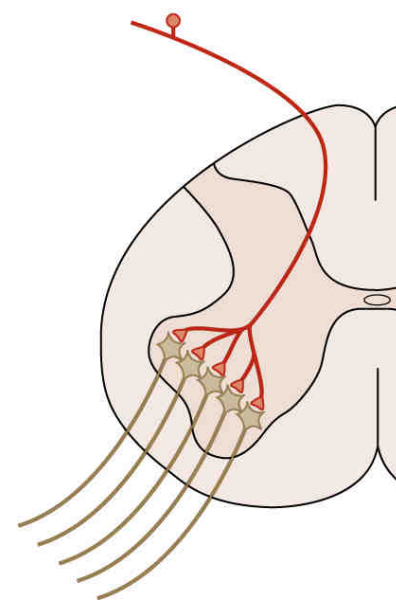
B Feedback inhibition



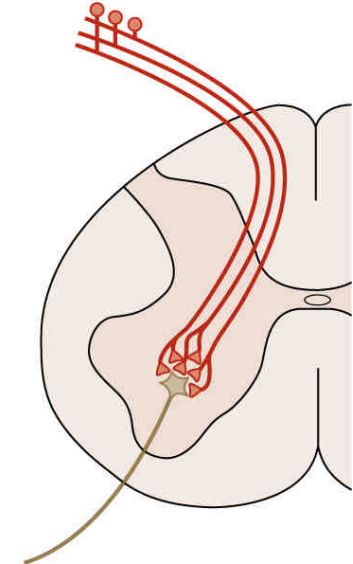
Le réflexe mono-synaptique :



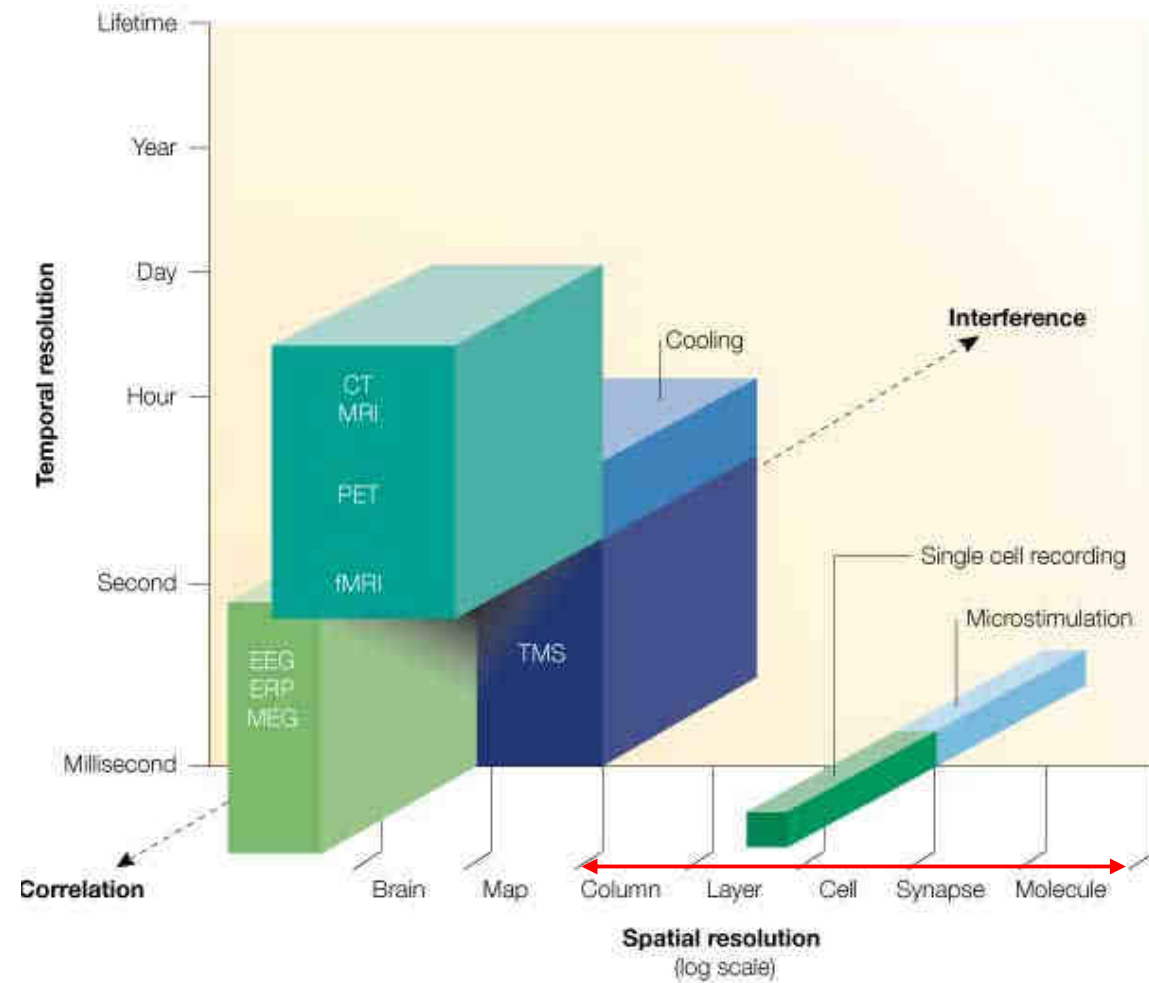
A Divergence



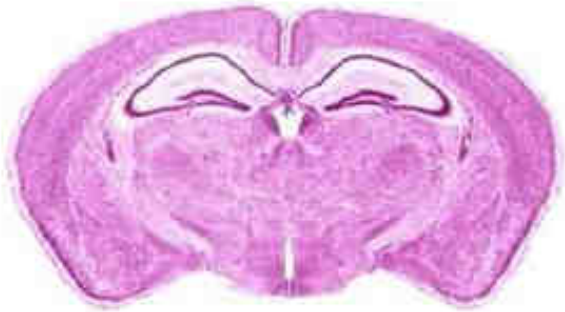
B Convergence



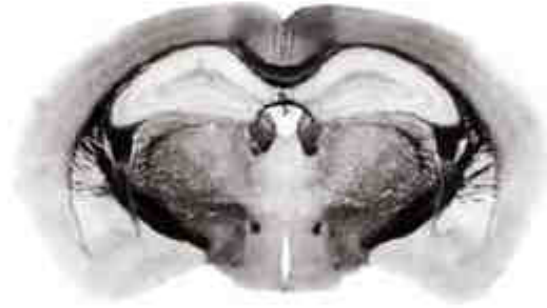
Méthodes d'investigation neurophysiologique



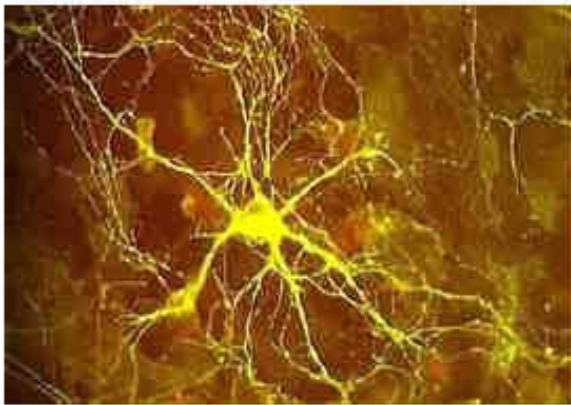
Histologie, imagerie
cellulaire et subcellulaire



Cellules nerveuses



Myéline



Microscopie optique et électronique

ELECTROPHYSIOLOGIE:

PRINCIPE GENERAL

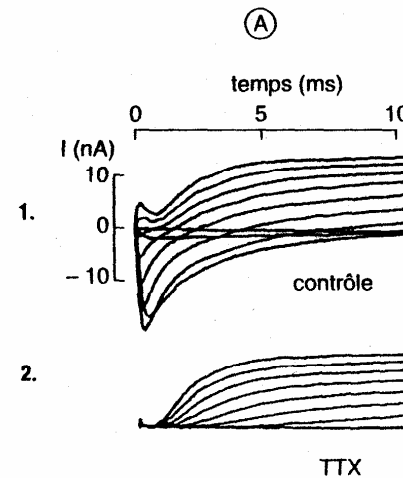
- La membrane cellulaire sépare les compartiments intracellulaire et extracellulaire dans lesquels existent des concentrations ioniques différentes. Le gradient établi est à l'origine du potentiel de membrane.
- La membrane est le siège de transferts ioniques: courants électriques (= base de l'activité nerveuse).
- Enregistrement de la différence de potentiel entre une électrode d'enregistrement et une électrode de référence
- Enregistrement à différents niveaux: canal ionique, cellule, groupe de cellule

Electrophysiologie intra-cellulaire

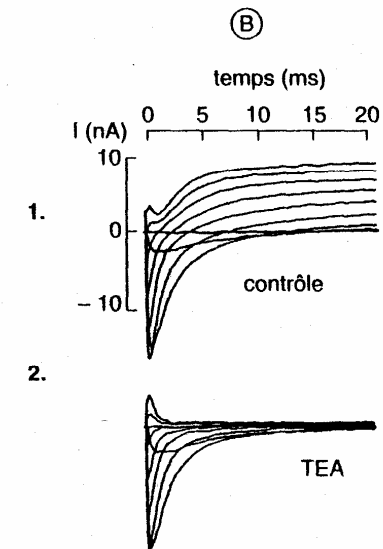
- On empale une cellule avec une micro-électrode en verre
- Voltage imposé : on impose des sauts de potentiels à la cellule et on enregistre les courants ioniques résultants de l'activation des canaux voltage-dépendants
- Courant imposé : on injecte un courant et on mesure les variations de potentiels correspondantes

Electrophysiologie intra-cellulaire

Enregistrement intracellulaire
au niveau d'un nœud de
Ranvier d'un axone myélinisé
de grenouille en potentiel
imposé : famille de courants et
actions pharmaceutiques

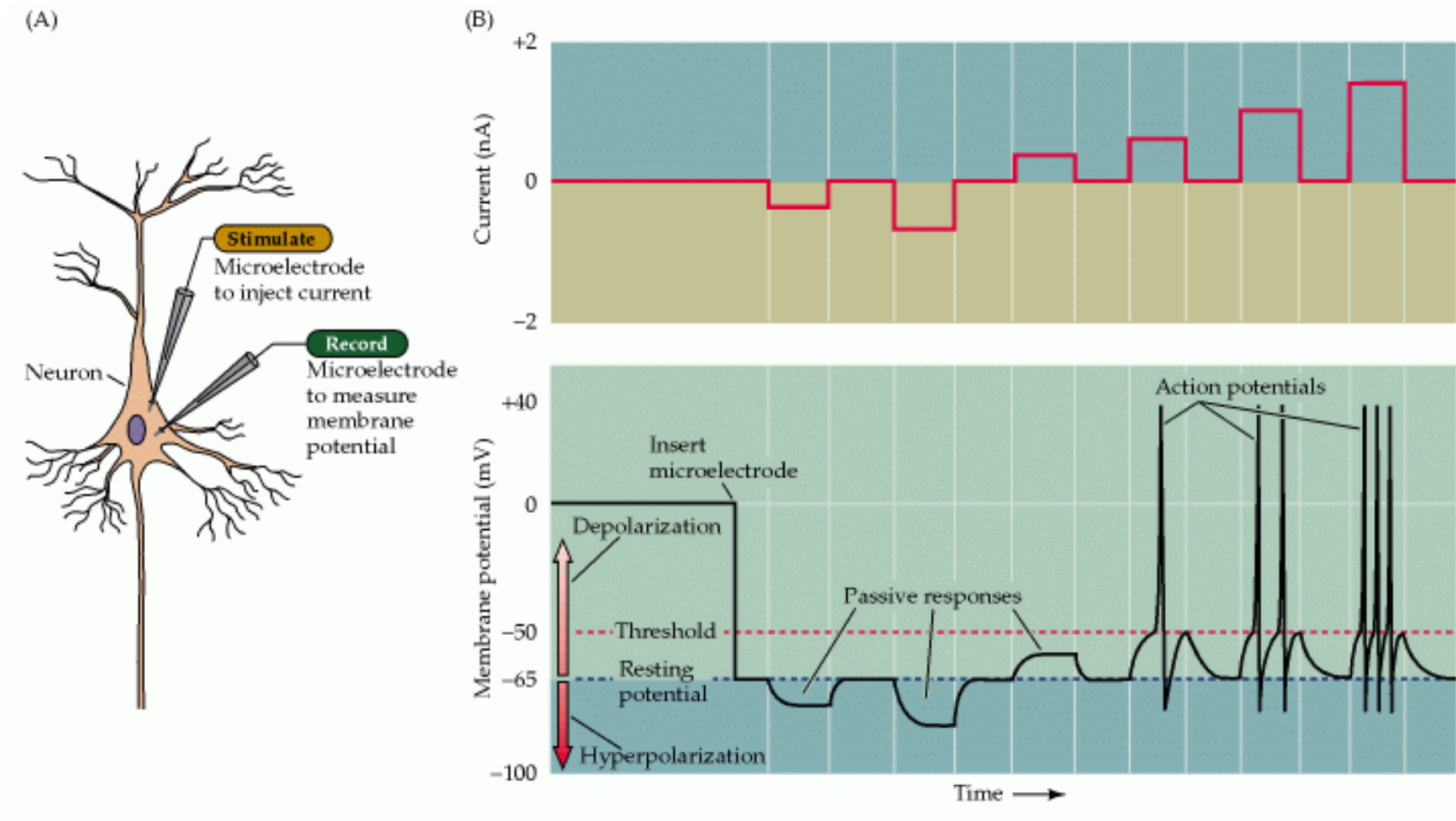


Blocage des canaux Na⁺
voltage dépendants



Blocage des canaux K⁺ voltage
dépendants

Electrophysiologie intra-cellulaire



Enregistrement intracellulaire en courant imposé : seuil de déclenchement d'un potentiel d'action

Electrophysiologie extra-cellulaire

Enregistrement de l'activité neuronale in vivo :

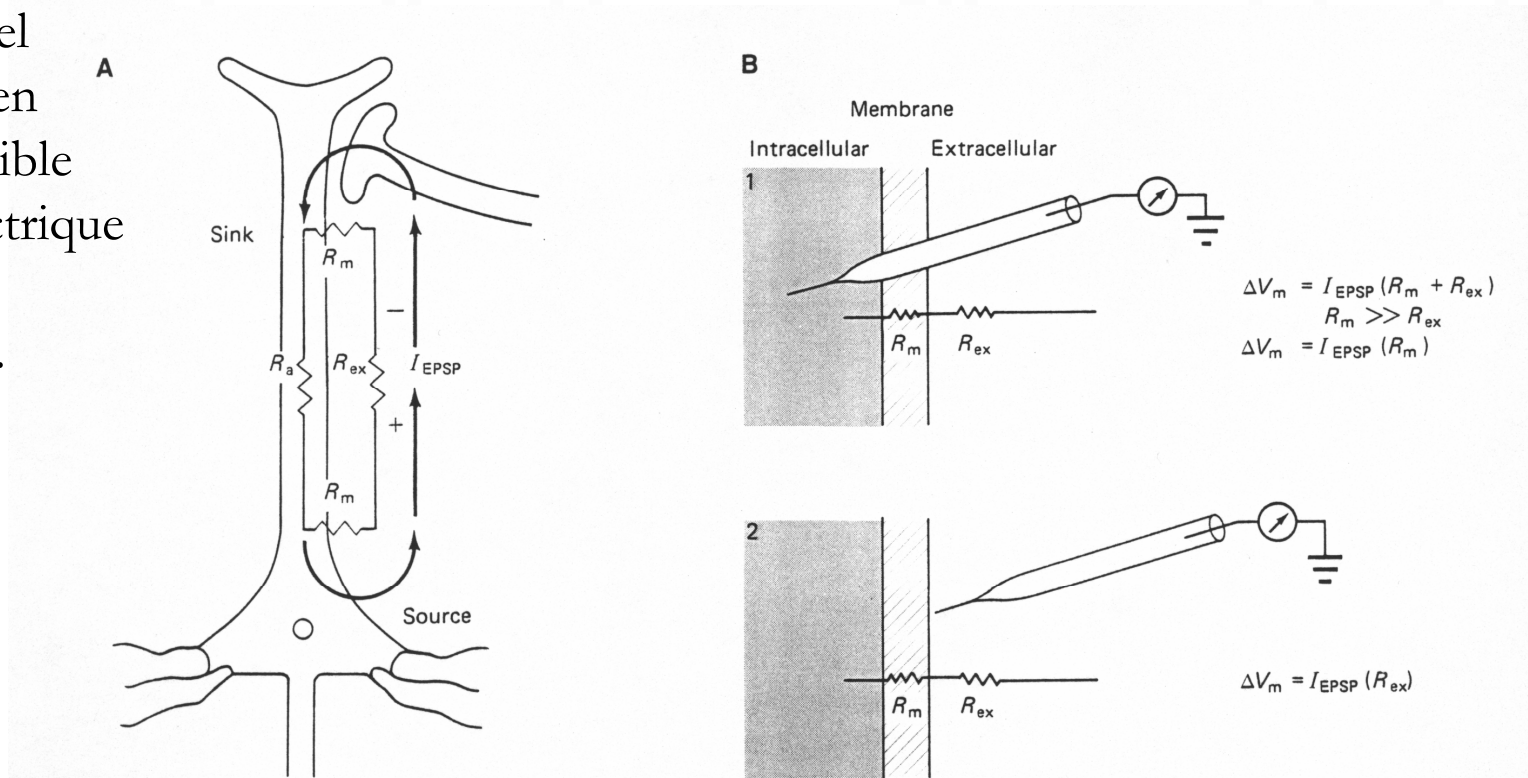
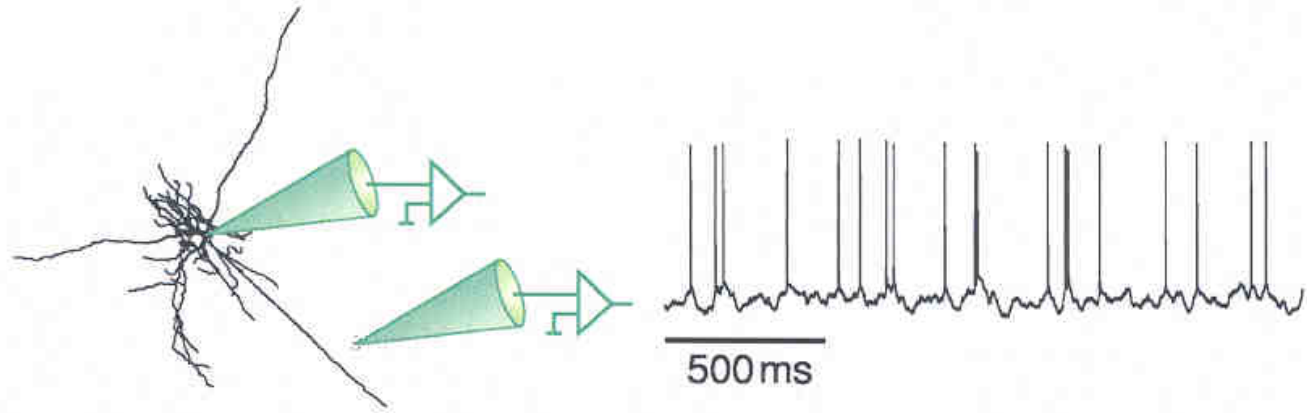
applications:

- à la cellule unique
- à des groupe de cellules
- à l'activité cérébrale globale

- Enregistrement unitaire : animal anesthésié ou en comportement ; occurrence d'un spike identifié par rapport aux différents événements de la tâche en cours
- Enregistrement multiunitaire : animal anesthésié ou en comportement ; occurrence d'un ensemble de spikes (non-ségrégés) par rapport aux différents événements de la tâche en cours
- Champs de potentiels locaux (LFP) : activité globale d'un groupe de cellules ; (activité pré-synaptique, en raison de l'impédance de l'électrode)
- Chez l'Homme: en cas d'épilepsie chronique, implantation d'électrodes intracrâniennes pour localiser le foyer épileptogène en vue d'une résection

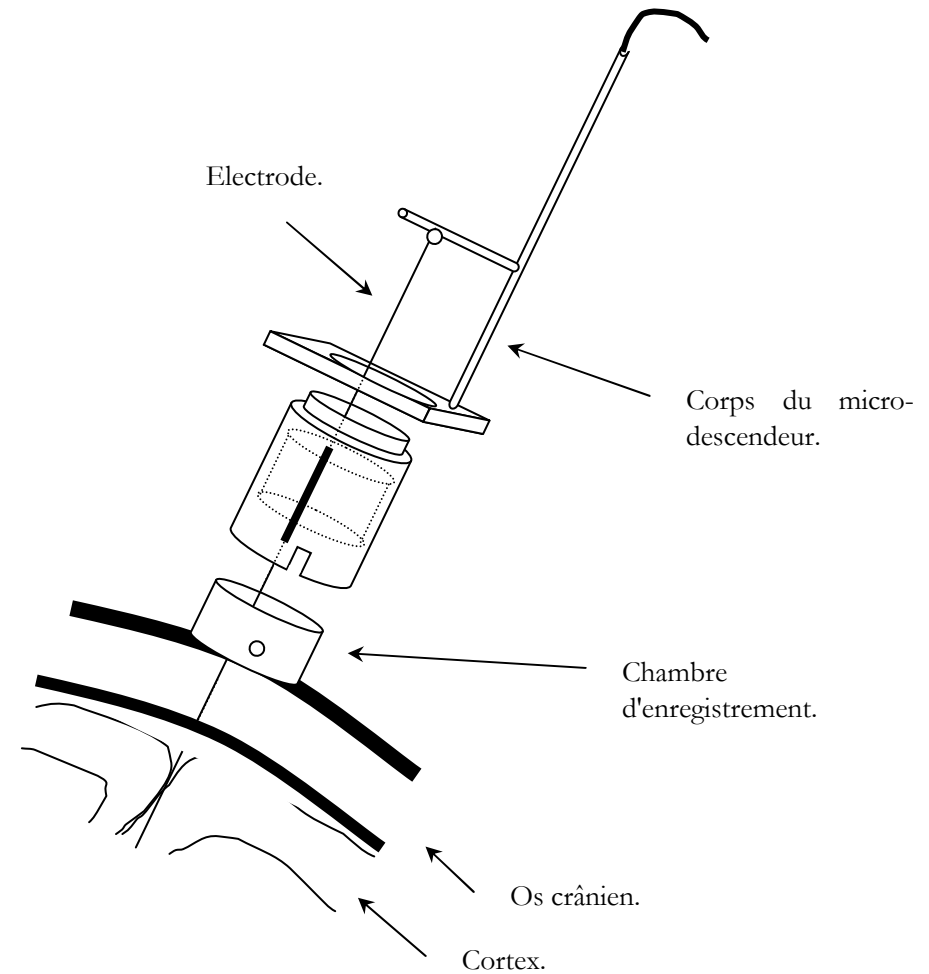
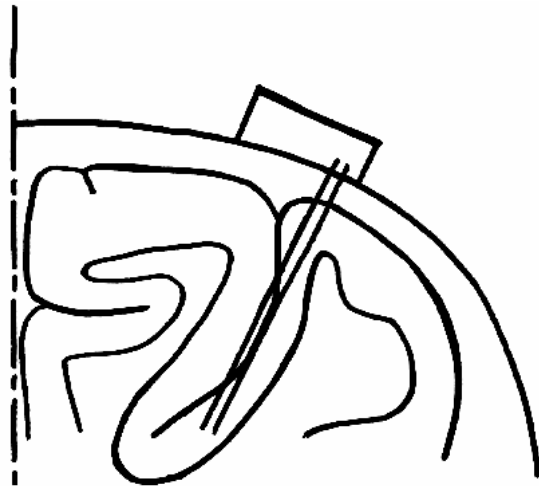
Electrophysiologie extra-cellulaire

Le potentiel extracellulaire est beaucoup plus faible que le potentiel intracellulaire en raison de la faible résistance électrique du milieu extracellulaire.



Electrophysiologie extra-cellulaire

Neurophysiologie extra-cellulaire
chez l'animal éveillé en situation de comportement.

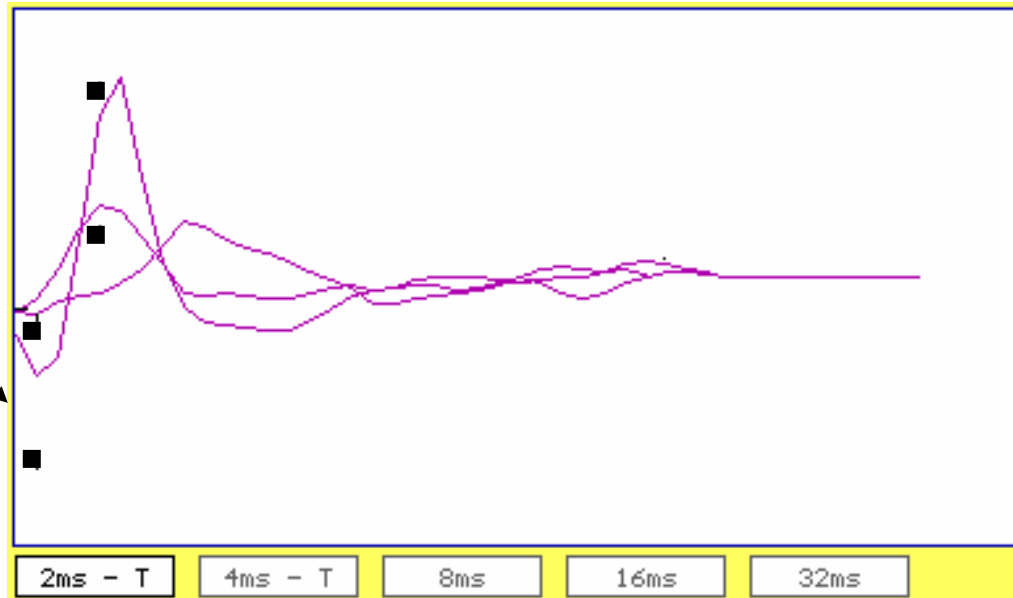


Electrophysiologie extra-cellulaire

Discrimination de potentiels d'action par seuillage.

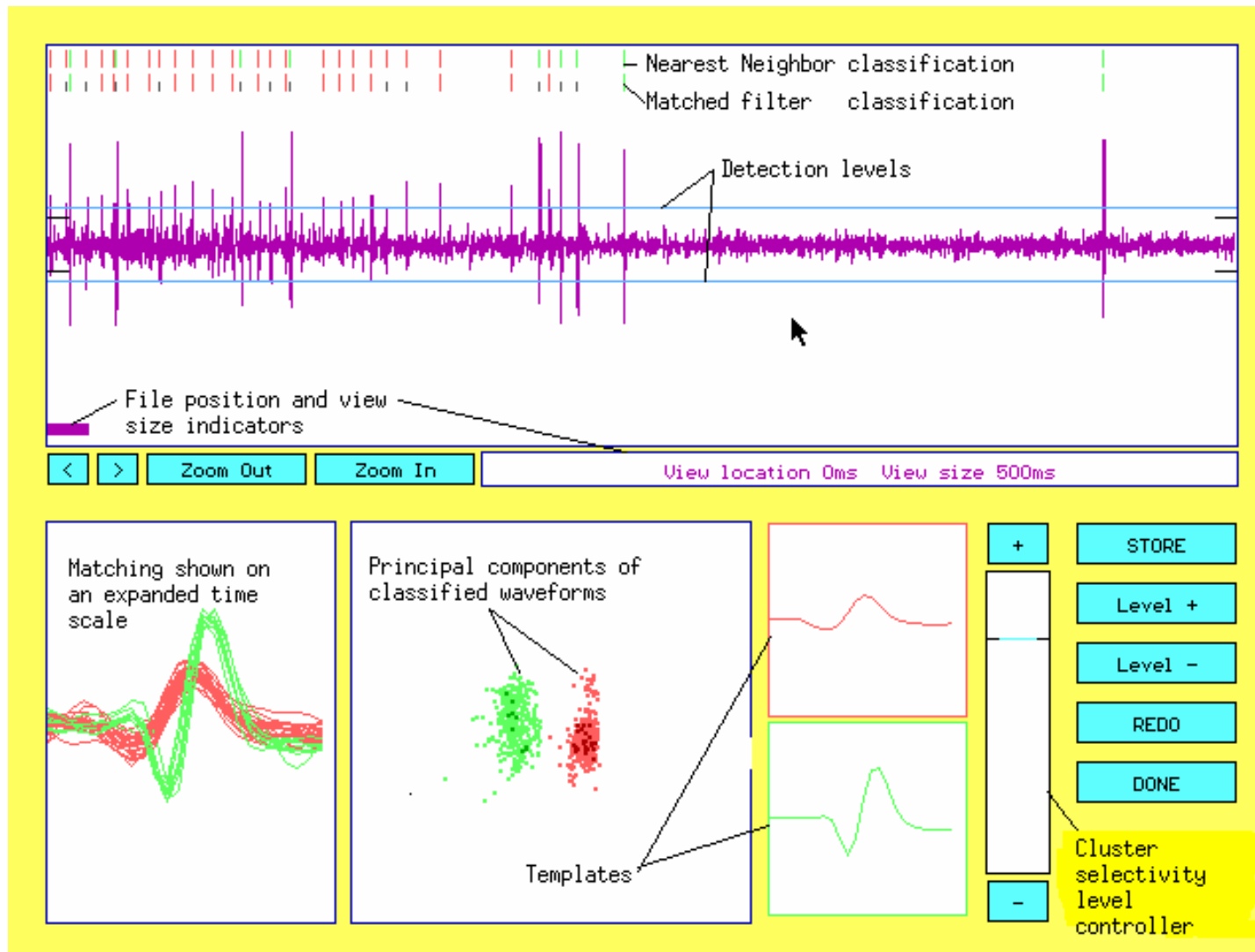


fenêtres de discrimination



Electrophysiologie extra-cellulaire

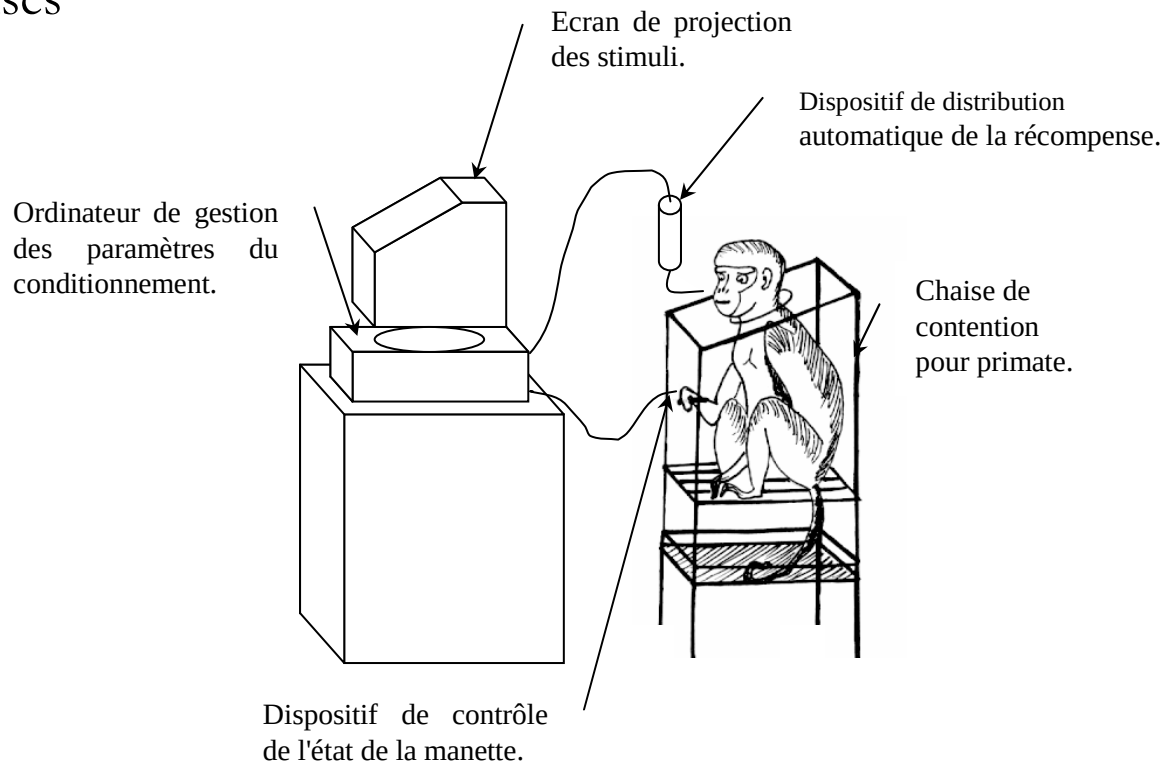
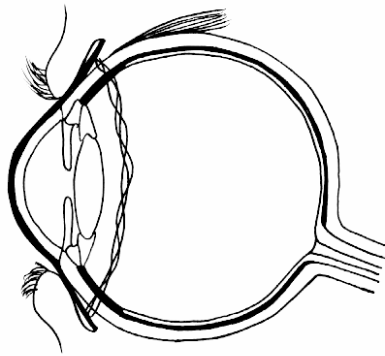
Discrimination de potentiels d'action par algorithme de reconnaissance de formes d'onde.



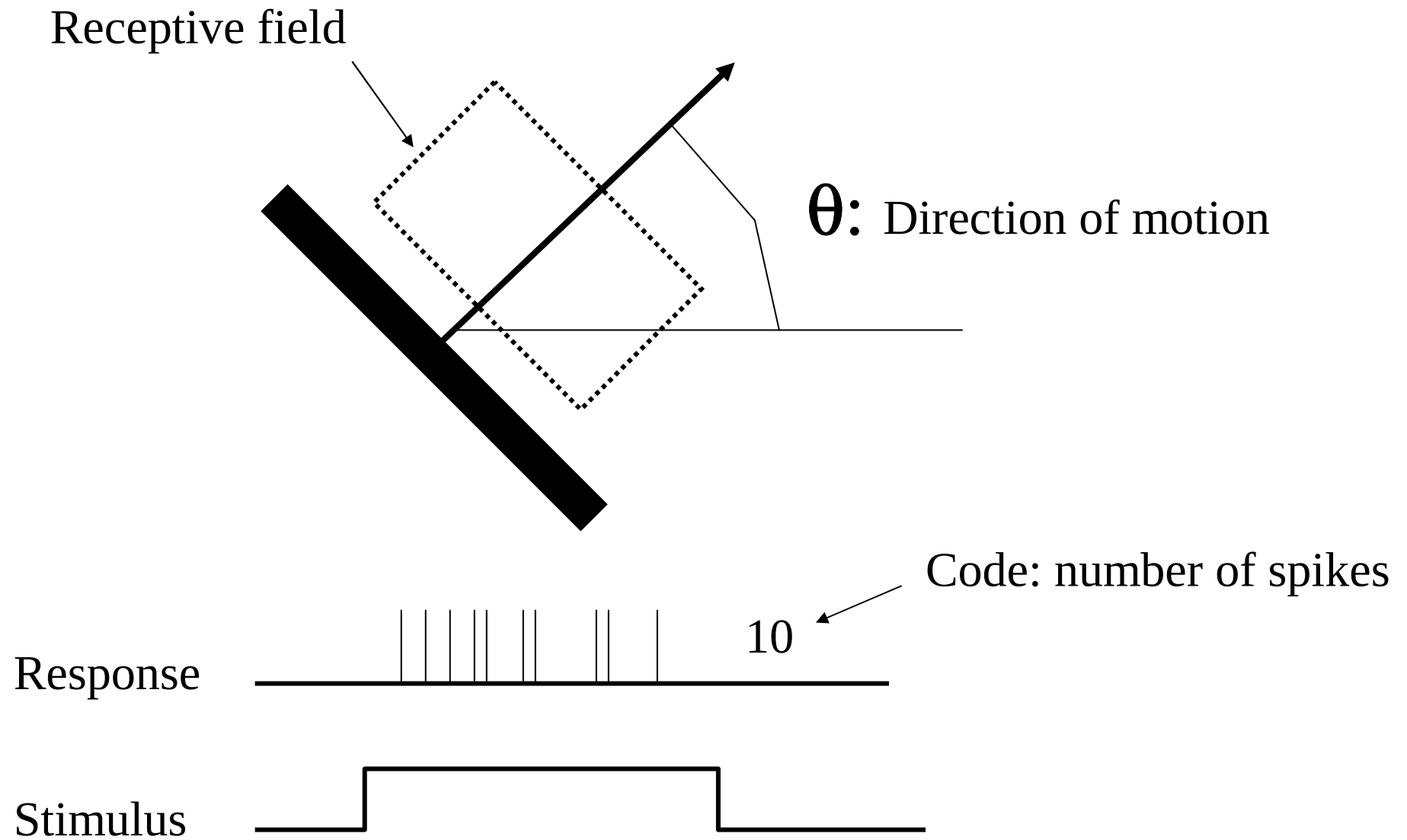
Electrophysiologie extra-cellulaire

Dispositif expérimental (après conception du paradigme expérimental)

- Mesure de l'activité neuronale
- Contrôle en temps réel des stimulations sensorielles
- Contrôle de la position des yeux et des autres réponses comportementale

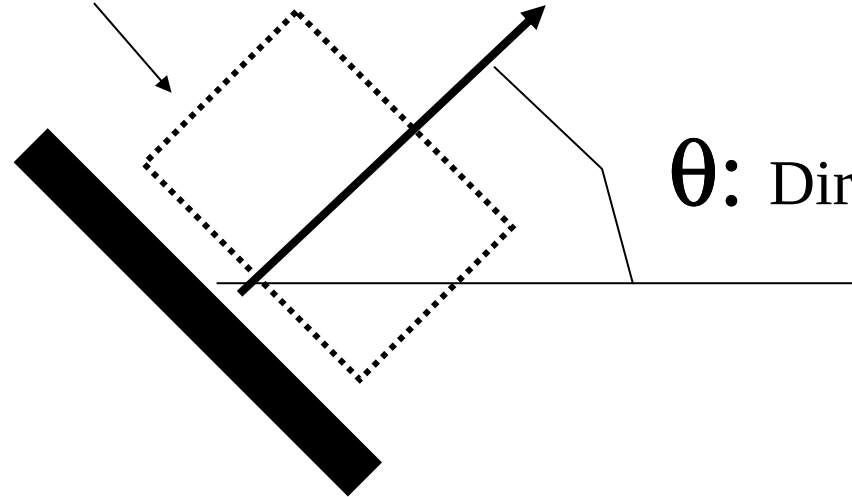


Electrophysiologie extra-cellulaire



Electrophysiologie extra-cellulaire

Receptive field



θ : Direction of motion

Trial 1



10

Trial 2



7

Trial 3



4

Trial 4

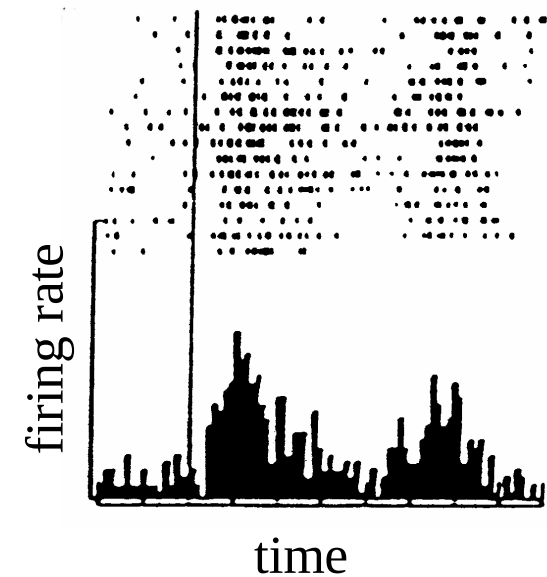


8

Stimulus

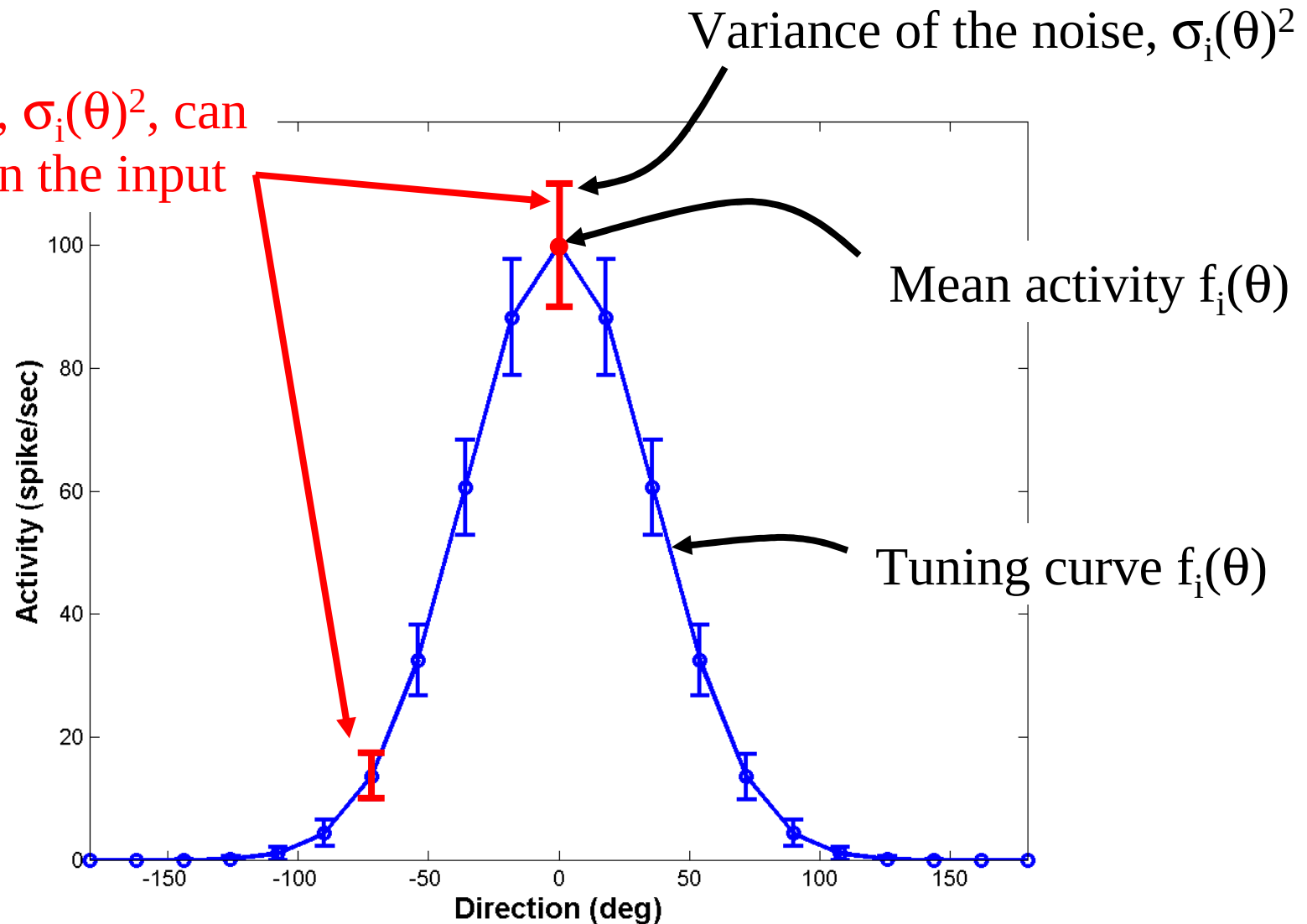


PSTH



Electrophysiologie extra-cellulaire

Variance, $\sigma_i(\theta)^2$, can depend on the input



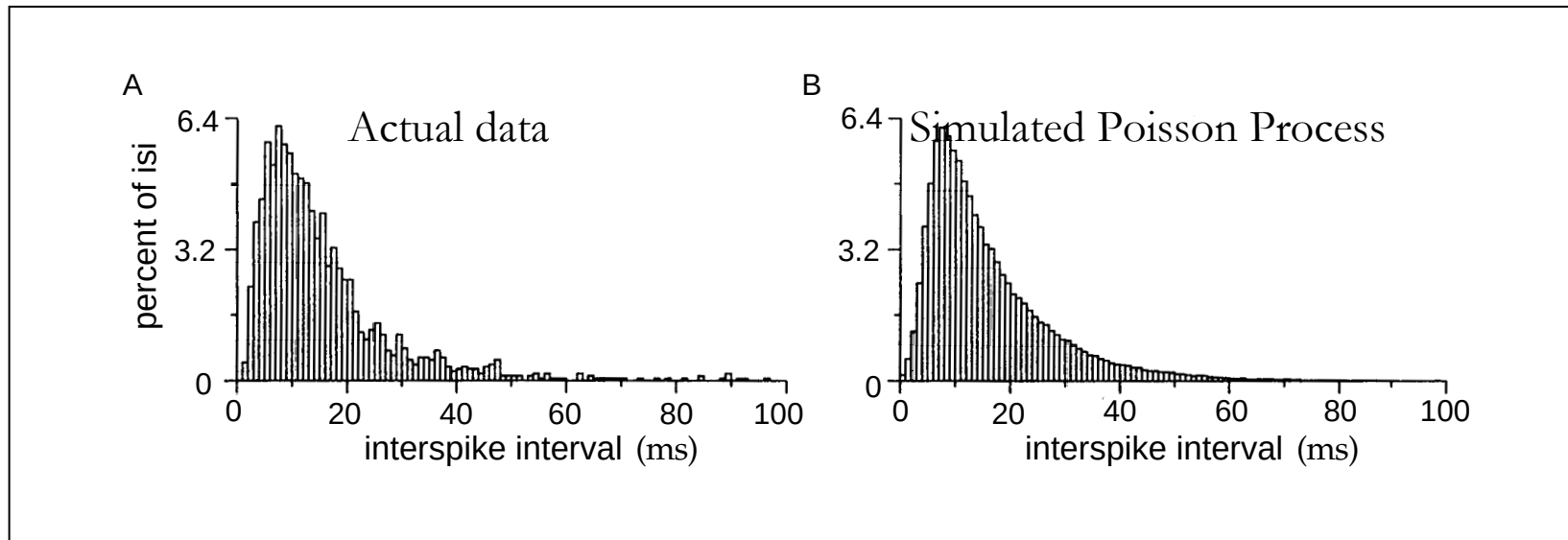
$\sigma_i(\theta) = h(\text{input noise, intrinsic noise } \dots)$

f_i , the tuning curve is a function of cognitive factors such as attention

Encoded variable (θ)

Electrophysiologie extra-cellulaire

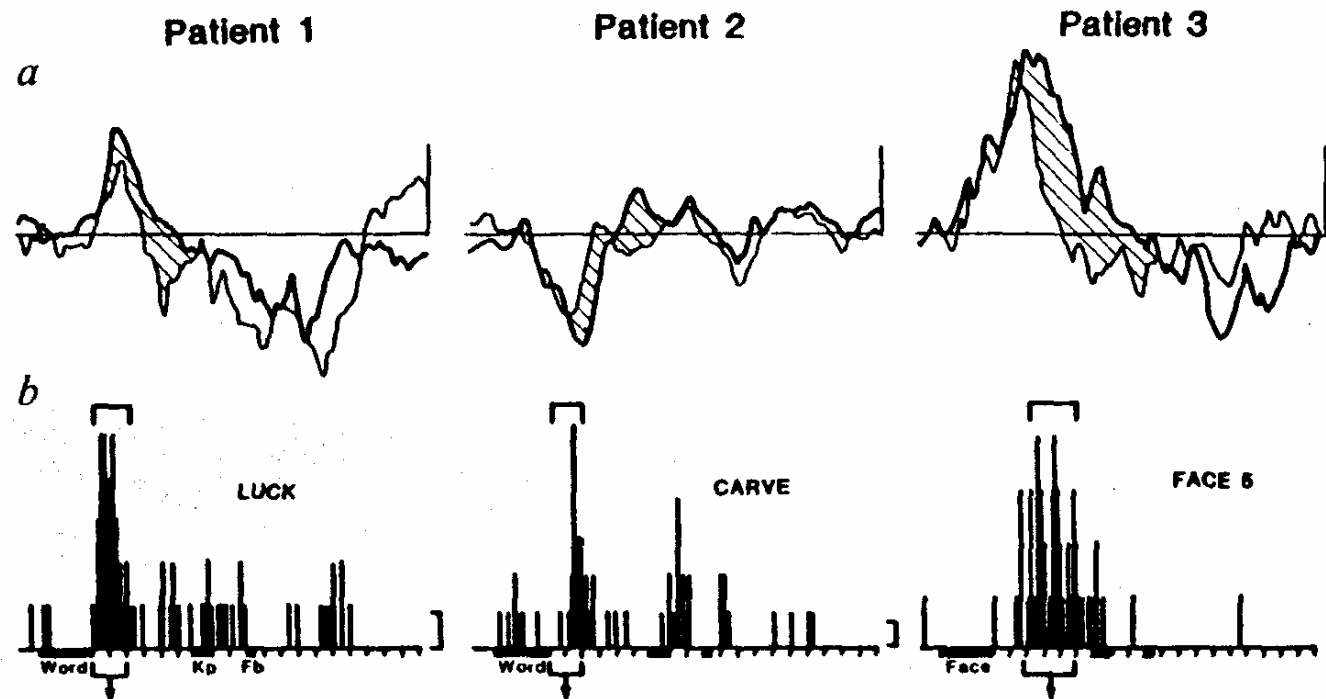
La distribution des potentiels d'action suit une loi de Poisson



- Quel est l'origine de cette variabilité de type Poisson? S'agit-il de bruit?
- Une hypothèse récente: elle pourrait être utilisée par le cerveau pour représenter le degré d'incertitude sur l'interprétation du stimulus.

Enregistrements extra-cellulaires multi-unitaires

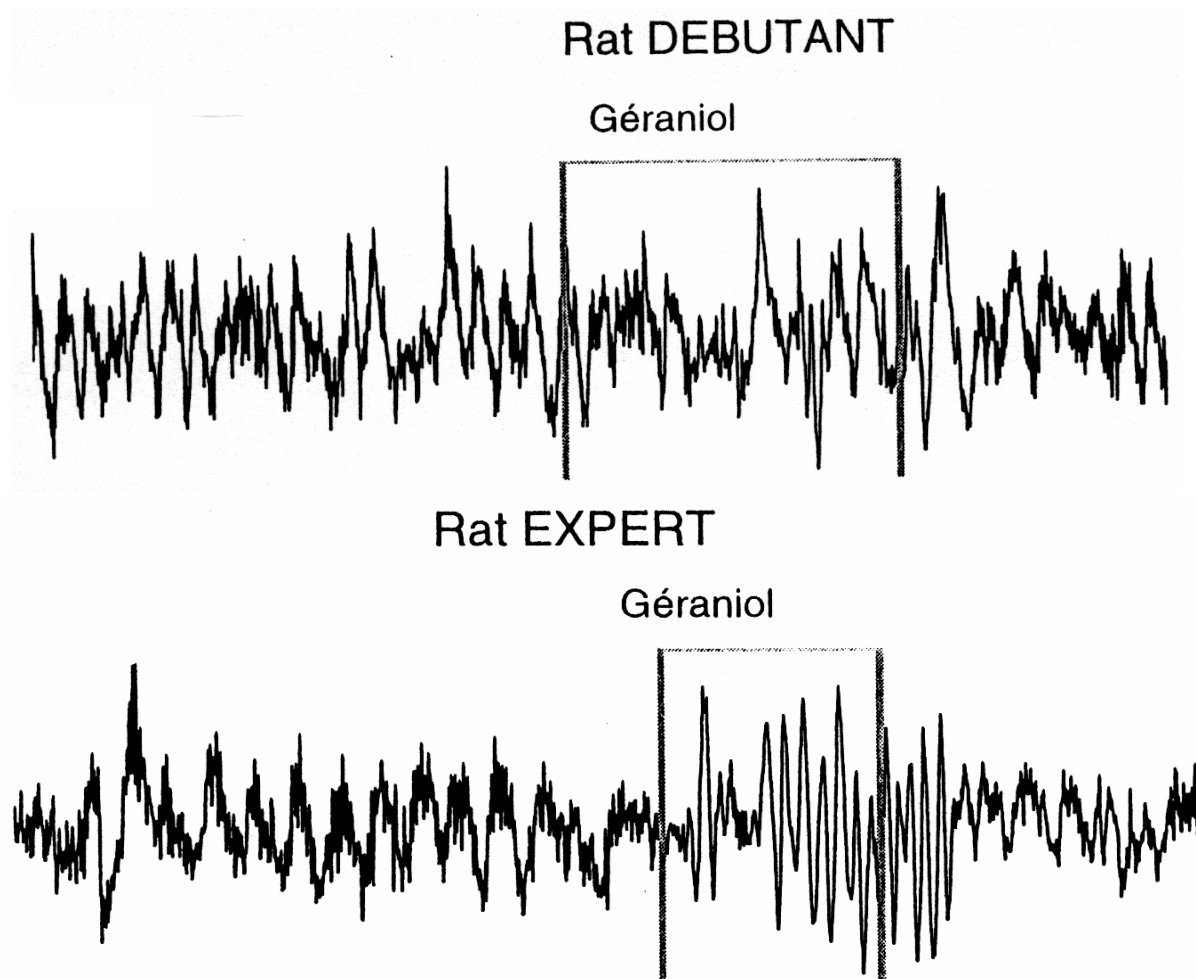
Activité unitaire et multi-unitaire au niveau du lobe temporal médian chez des patients épileptiques lors d'une tâche de reconnaissance de mots et de visages (Heit et al. 1988)



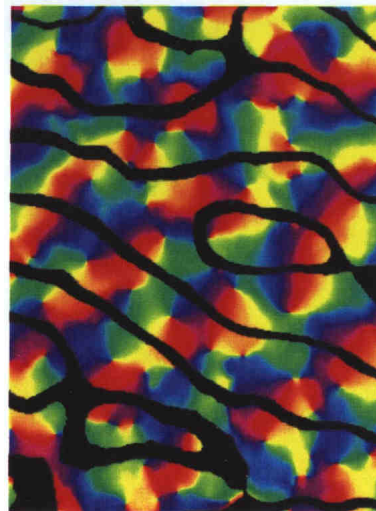
Champs de potentiels locaux

Enregistrement en LFP au niveau du bulbe olfactif de rat avant et après conditionnement à une tâche de GO/NOGO olfactif (Chabaud et al. 2000).

Les analyses se font essentiellement dans le domaine fréquentiel.

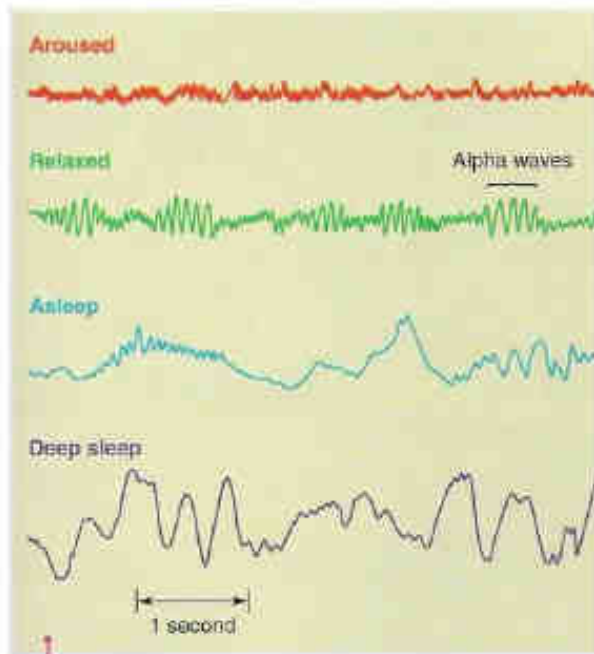


*Imagerie optique : imagerie extrinsèque
avec colorants électrosensibles*

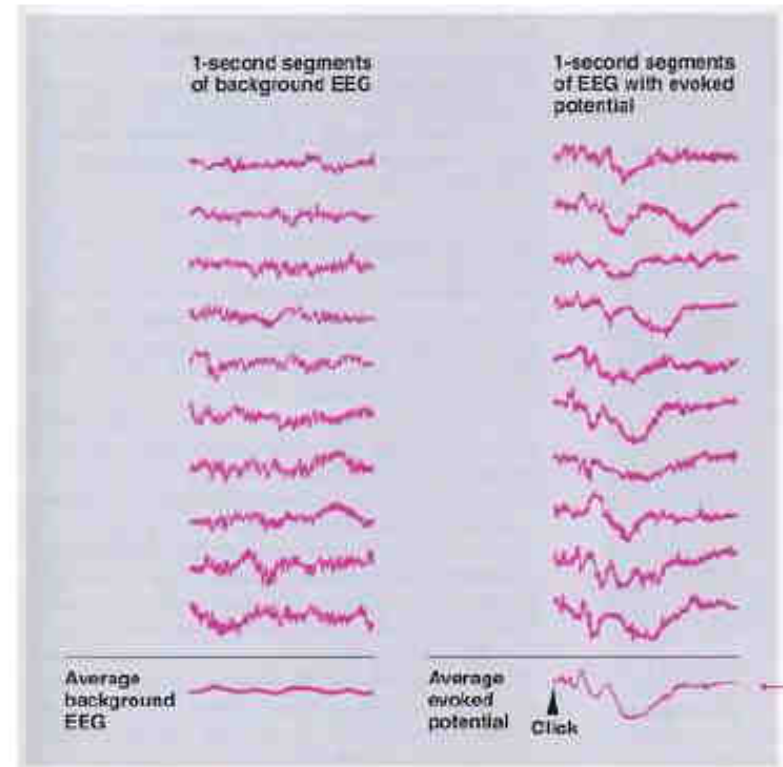


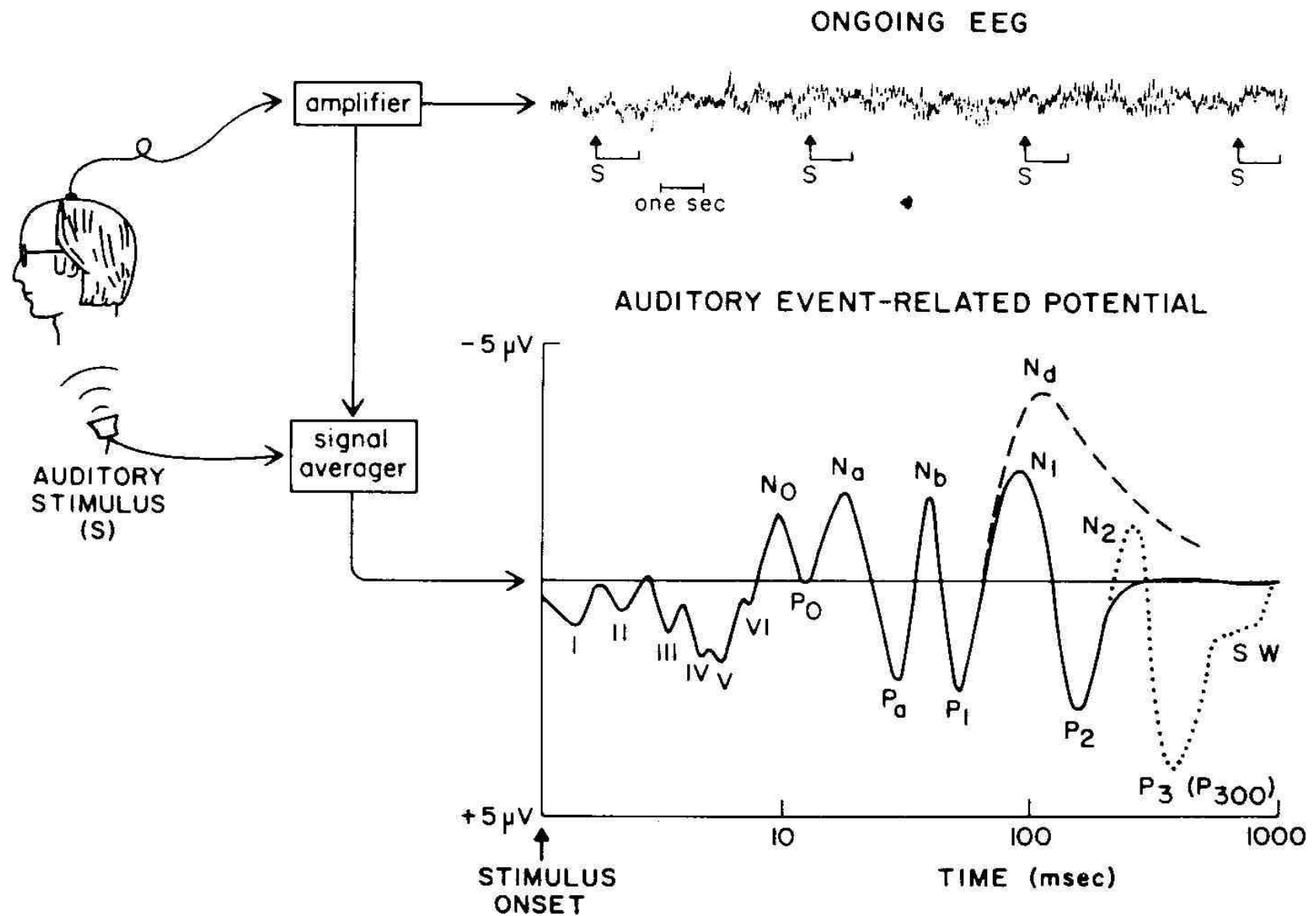
Electroétoencéphalographie et potentiels évoqués - EEG et PE

Electroencéphalogramme (EEG)

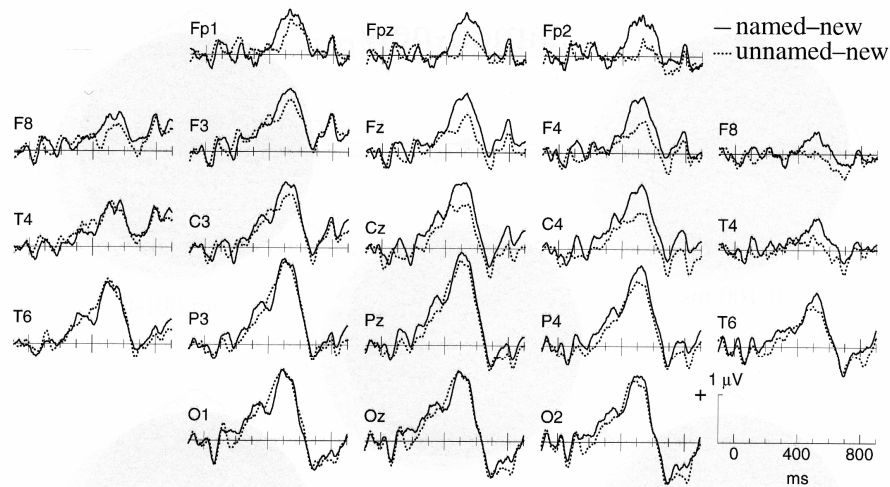


Les potentiels évoqués (PE)

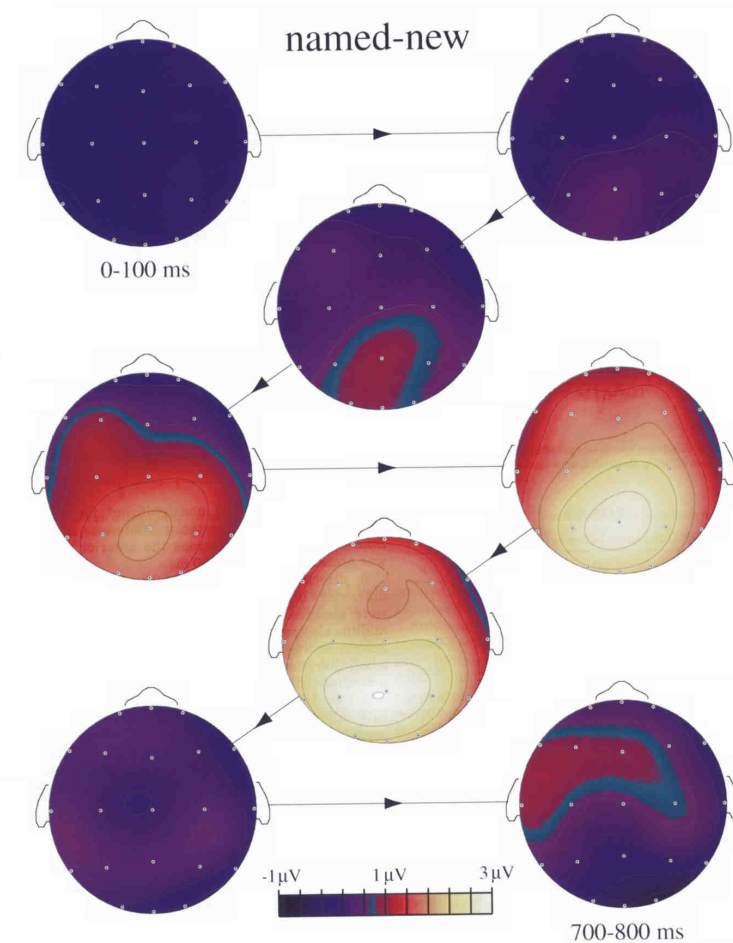




tâche de reconnaissance de visages accompagnés ou non d'une information sémantique



ERP difference waves computed by subtracting ERPs to new faces from ERPs to old faces, including only correct trials. Recordings shown were from all scalp electrodes, arranged topographically.



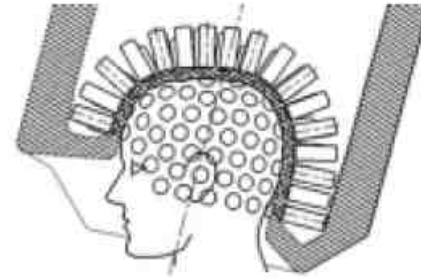
Topographic maps of ERP differences across the scalp for ERPs to named faces minus ERPs to new faces. A surface spline interpolation was applied to data obtained from each electrode location (indicated by small circles on each schematic view of a head as viewed from above). Maps represent mean amplitude differences computed for consecutive 100-ms intervals starting at 0 and ending at 800 ms.

Magnétoétoencéphalographie - MEG

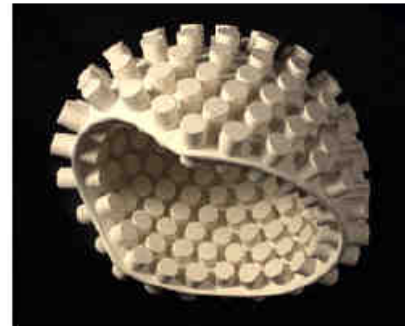
(a)



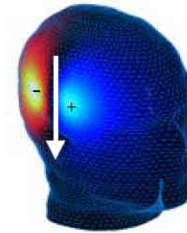
(b)



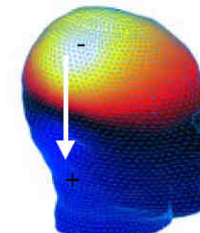
(c)



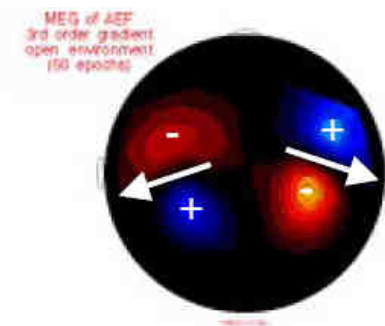
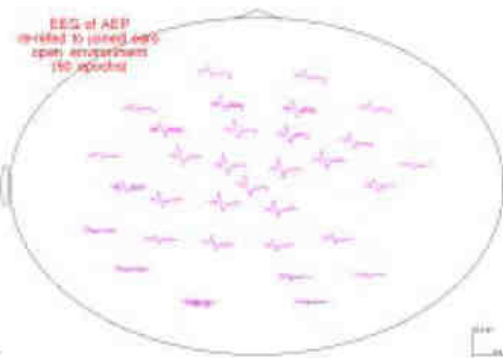
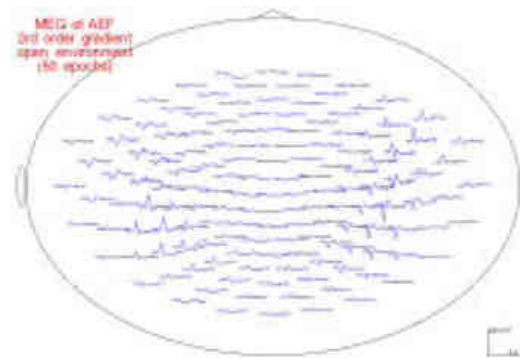
MEG et EEG



(a)



(b)

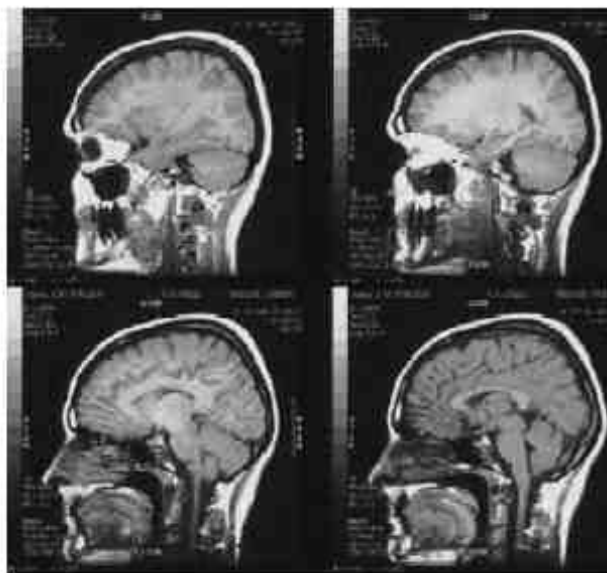
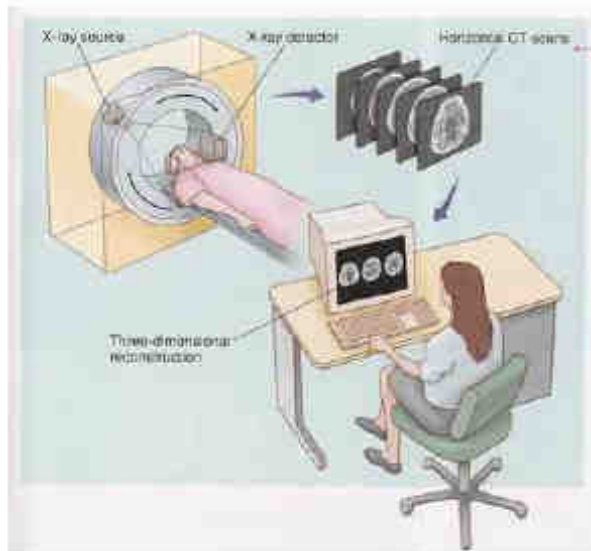


EEG of AEP
re-refered to joined ears
open environment
(50 epochs)



Imagerie anatomique

Scanner à rayon X (Computerized Tomography)

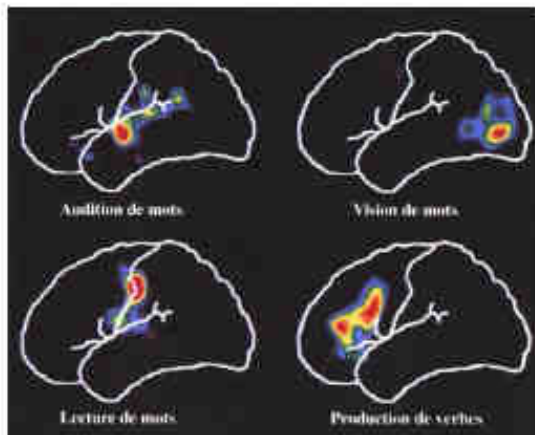
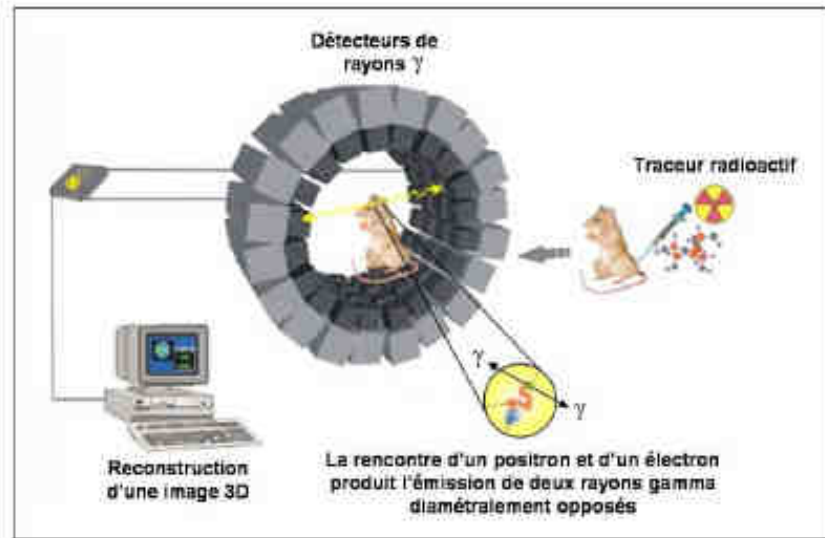


Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) Anatomique



Imagerie fonctionnelle

La Tomographie par Emission de Positrons (TEP)



L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

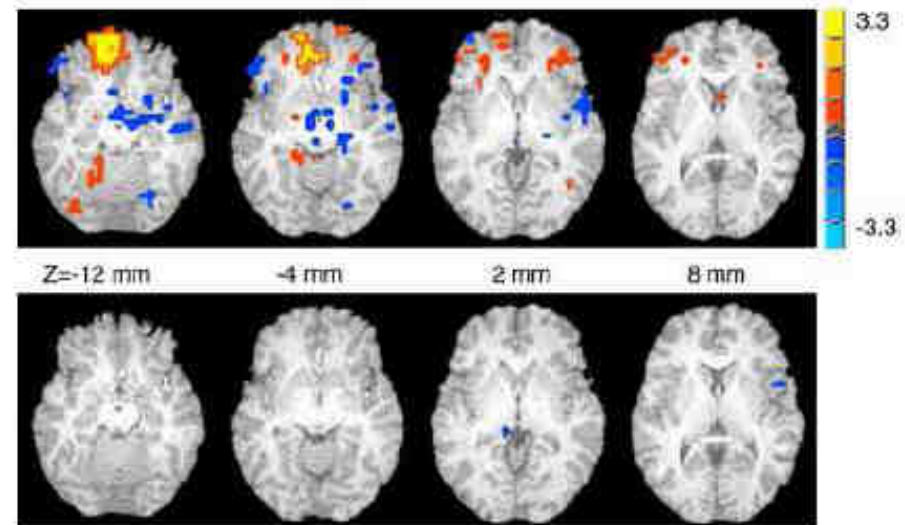
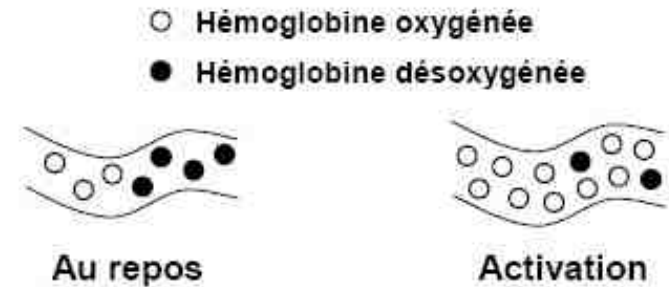
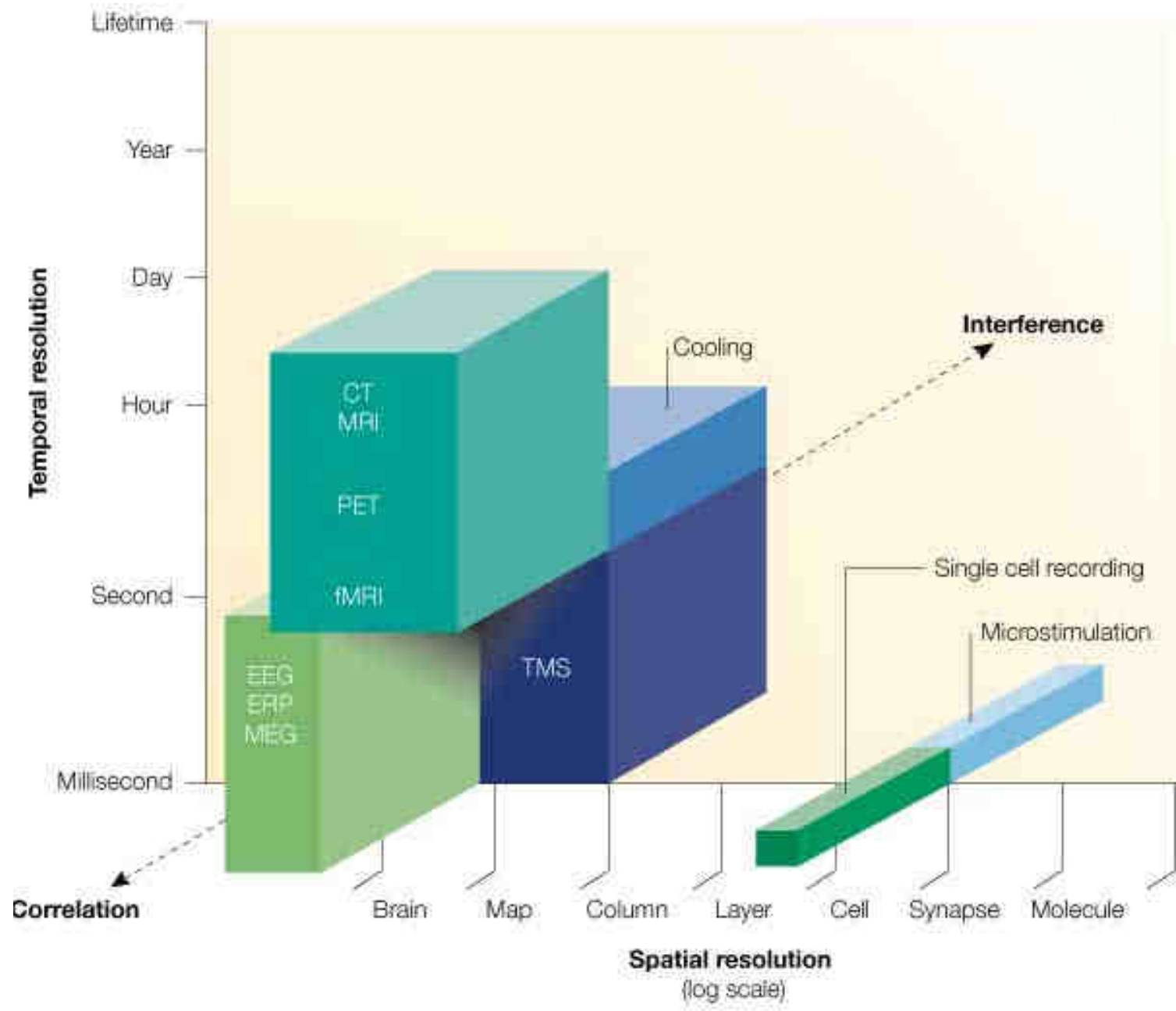


Illustration des régions cérébrales impliquées en réponse à de la cocaïne ou bien à du chlorure de sodium (Kufhal et al. 2005)





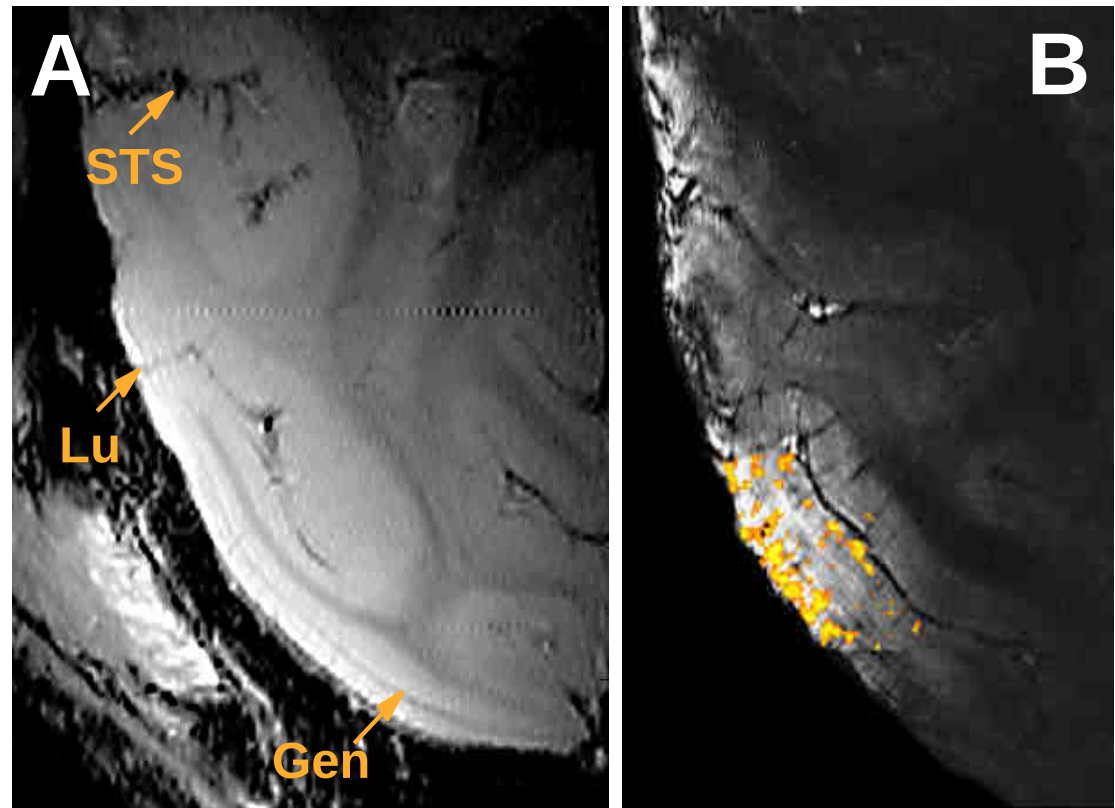
Et plein d'autres nouvelles techniques...

- Électrophysiologie
 - Avantage : analyse très précise du traitement de l'information ; très bonne résolution temporelle
 - Désavantage : échantillonnage très faible (et potentiellement biaisé)
- IMRf
 - Avantage : couverture globale du cerveau
 - Désavantage : résolution temporelle et spatiale faible

IRMf chez le primate non-humain

Techniques permettant l'amélioration de la résolution spatiale :

- Agents de contraste (MION)
- Antennes implantées
- 125 X 125mm²
- Coupe 720mm
- ~600-800 neurones



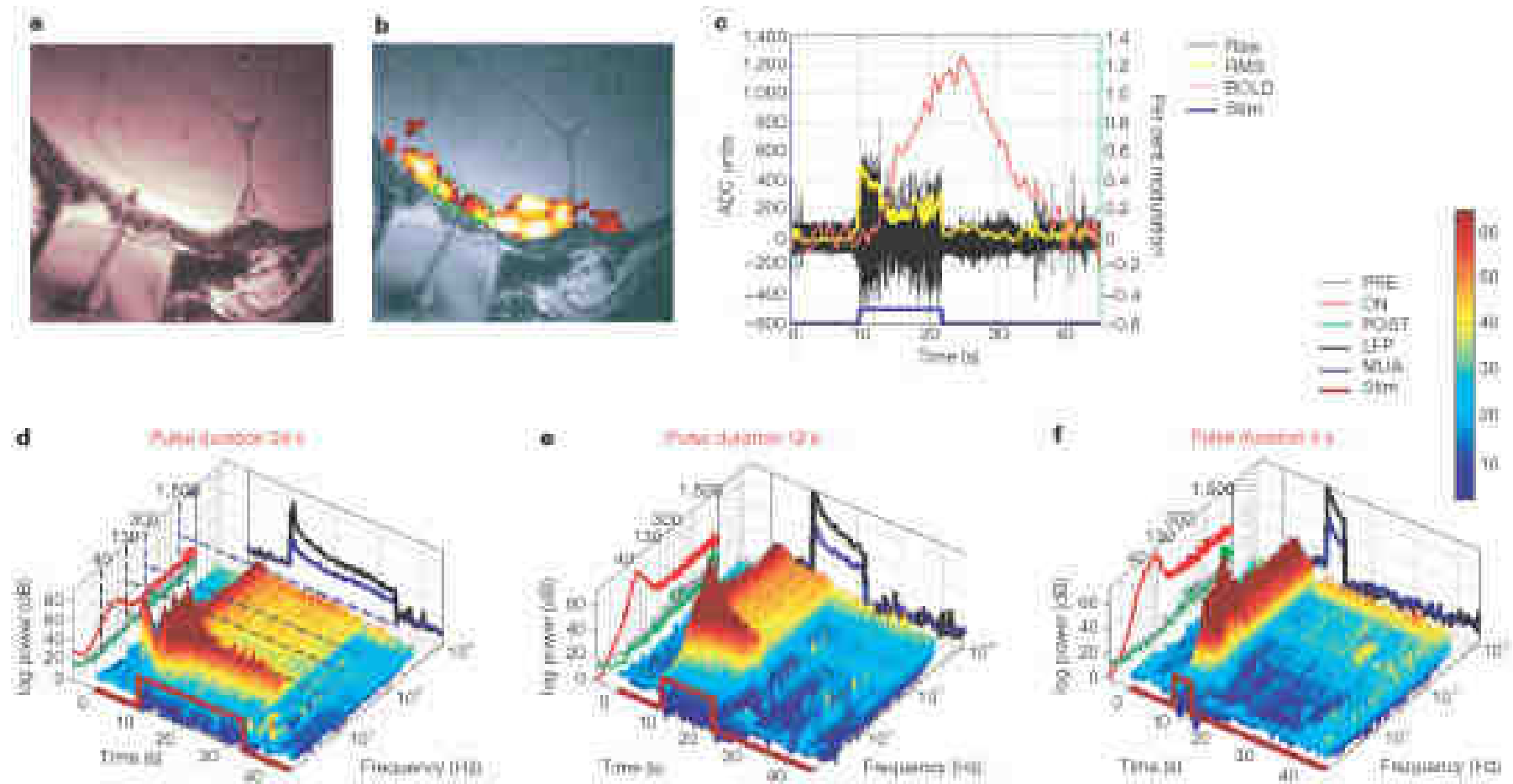
(N. Logothetis et al.)

Pourquoi l'IRMf chez le primate non-humain ?

- D'un point de vue méthodologique :
 - Comprendre le lien entre images IRM et mécanismes neuronaux
 - Complémentarité avec les autres approches expérimentales (imagerie optique, EEG, LFP, multi-unitaire, unitaire, anatomie fonctionnelle)
- D'un point de vue fondamental :
 - Identification rapide de réseaux fonctionnels
 - Imagerie de la manipulation de ces réseaux fonctionnels par des techniques d'interférence (stimulation, inactivations réversibles ...)
 - Traçage de connectivité fonctionnelle in vivo (traceurs imageables, IRM de diffusion)
 - Analyse longitudinale de la dynamique corticale (plasticité à long terme –post-lésionnelle, plasticité à court terme –apprentissage ...)
- Intérêt par rapport à la recherche chez l'homme
 - Mêmes questions, mêmes tâches comportementales
 - Utilisation comme modèle des fonctions normales et pathologiques
 - Évolution du cerveau : identification des homologues et divergences

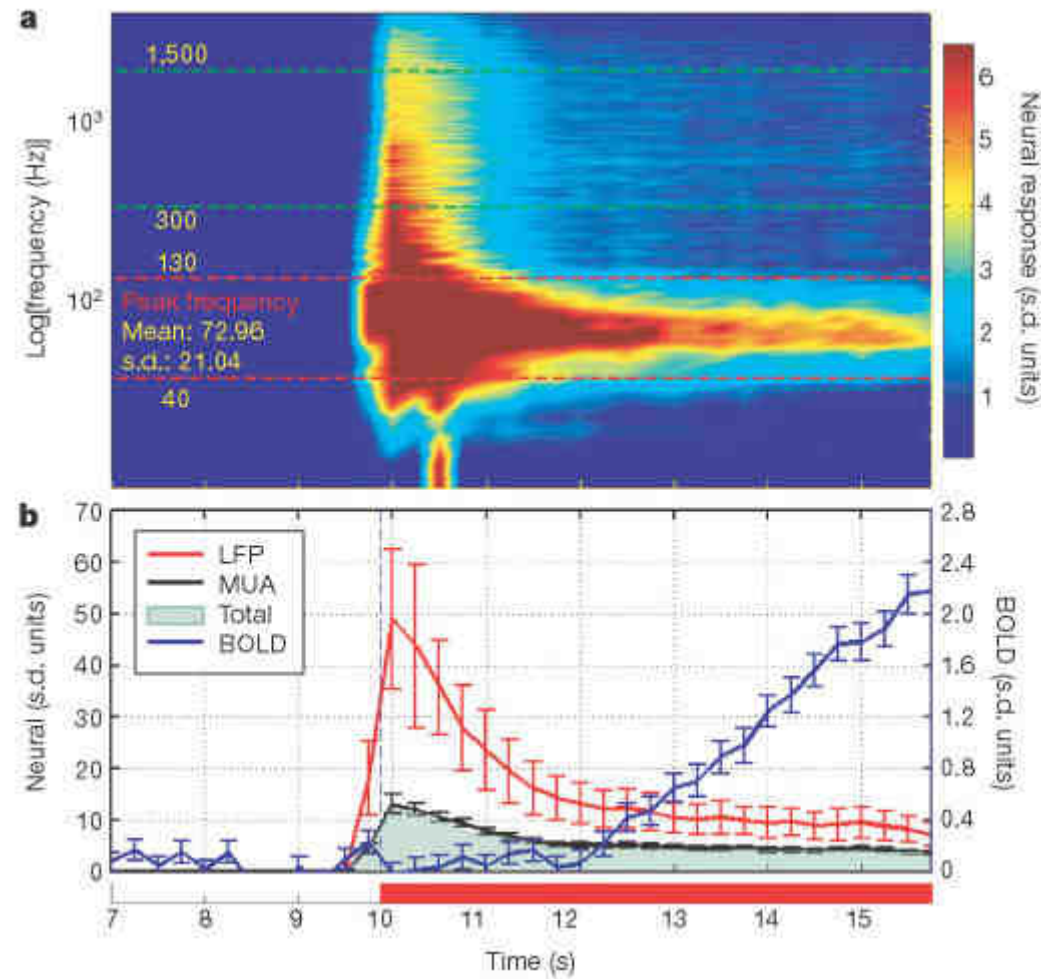
IRMf chez le primate non-humain

IRMf et électrophysiologie

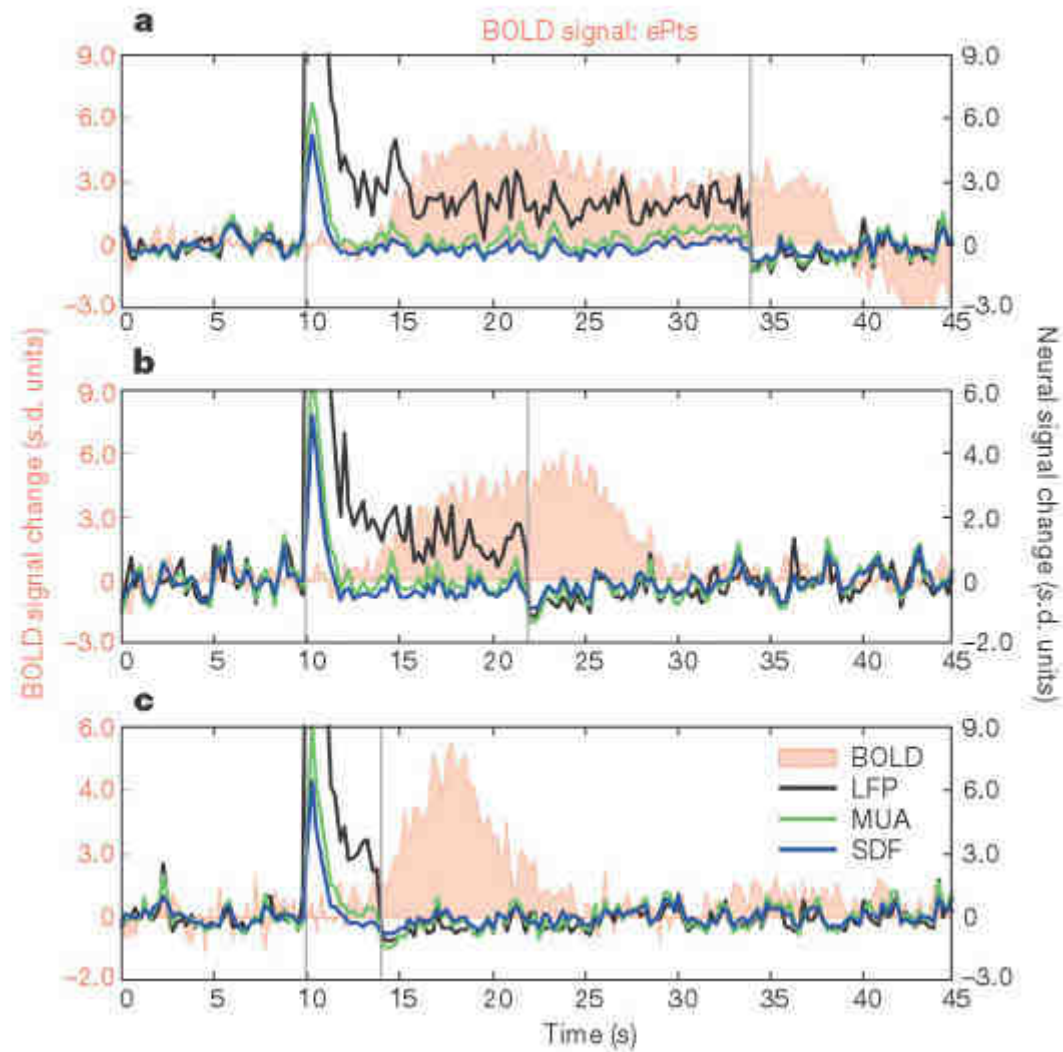


(N. Logothetis et al.)

IRMf chez le primate non-humain

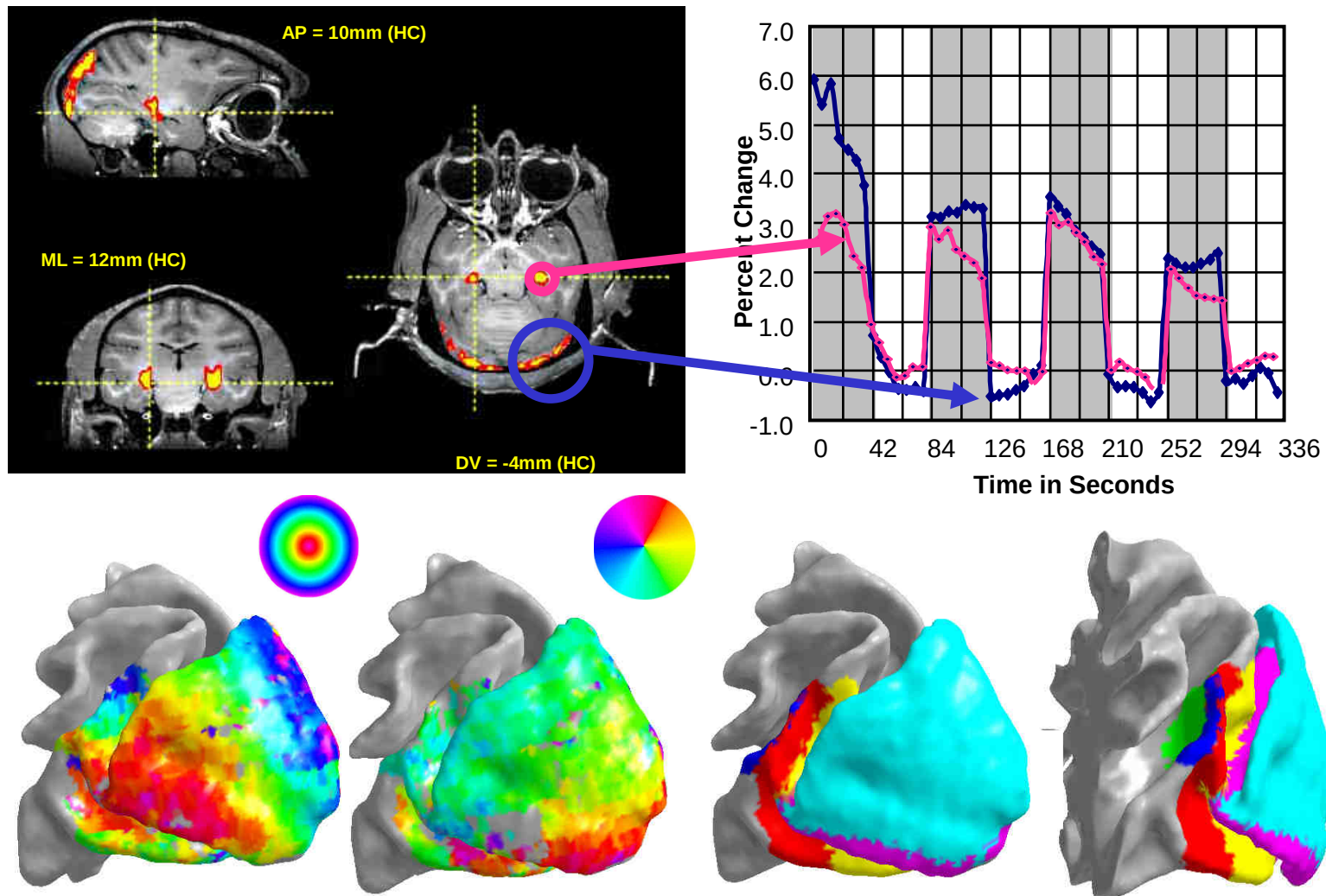


IRMf chez le primate non-humain



IRMf chez le primate non-humain

Organisation des aires visuelles

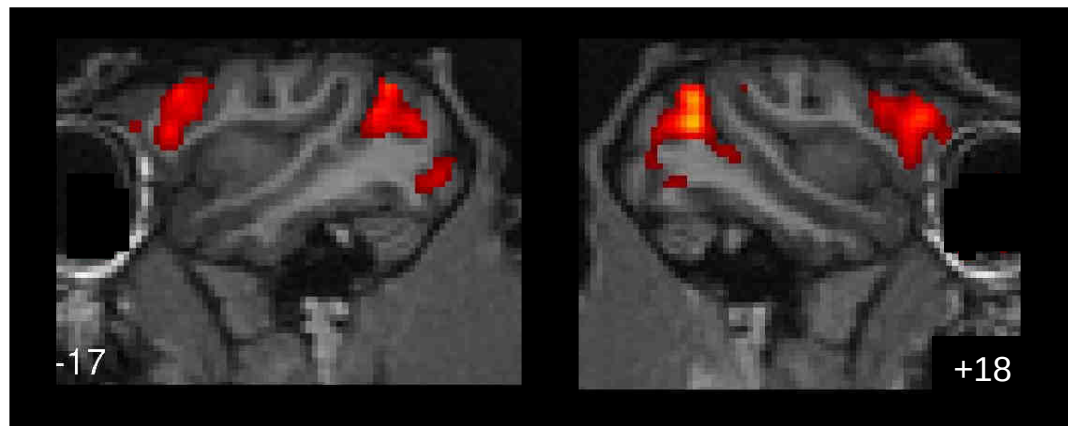
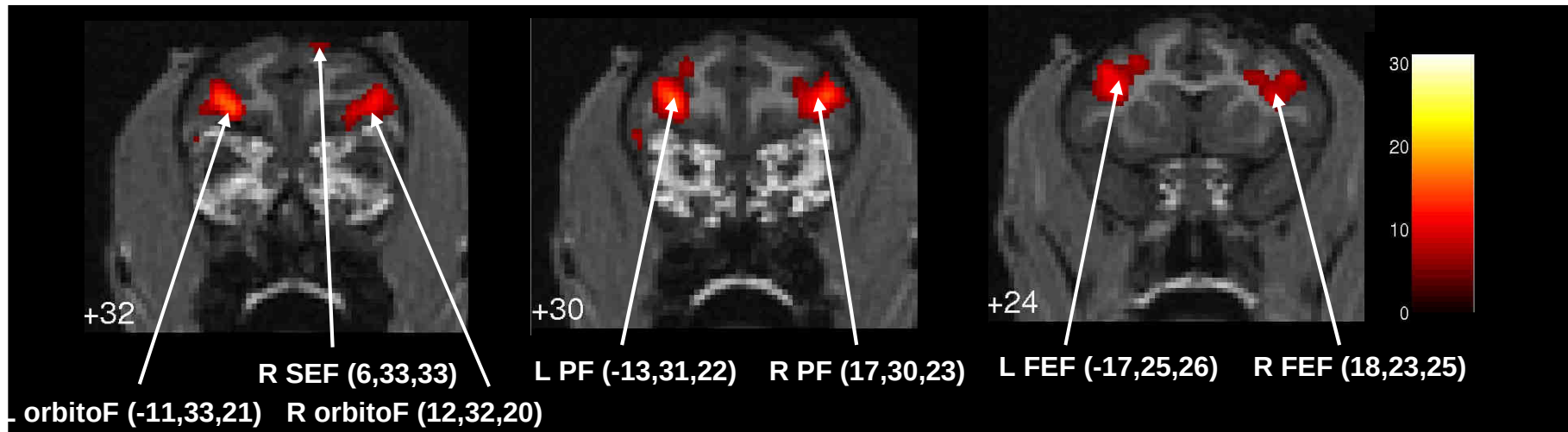


(N. Logothetis et al.)

IRMf chez le primate non-humain

Réseau saccadique

Saccade vs Visual control ($p < 0.01$, corr)

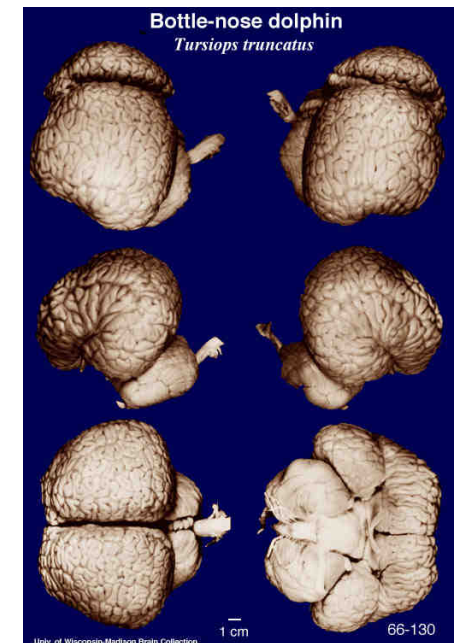
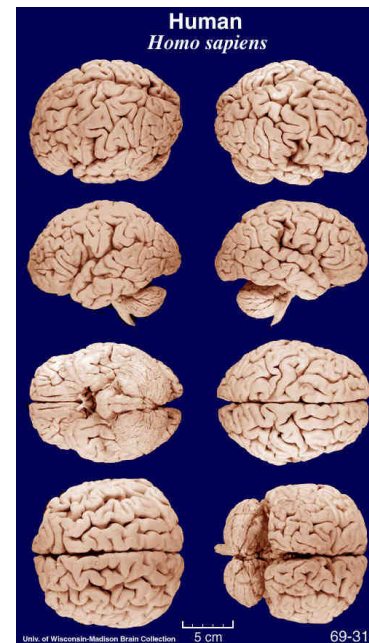
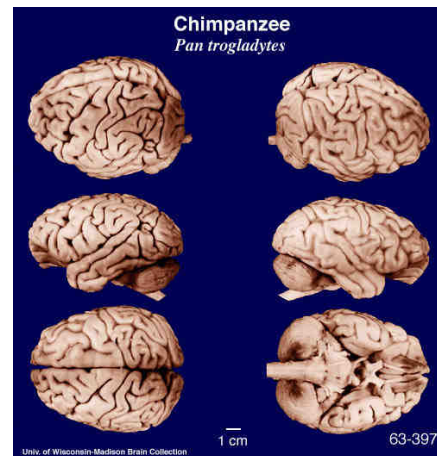
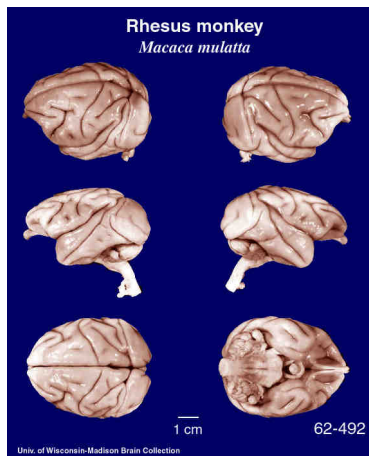
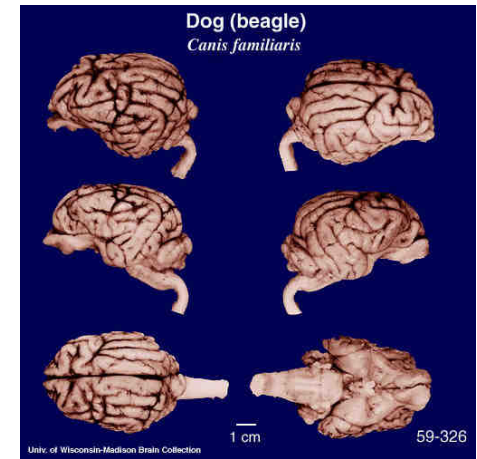
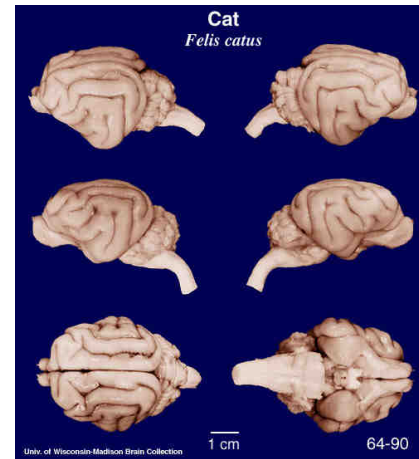
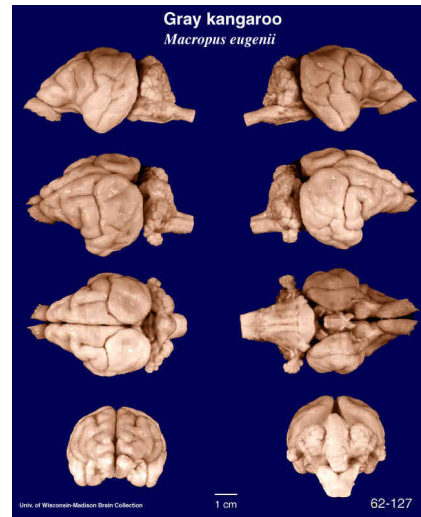
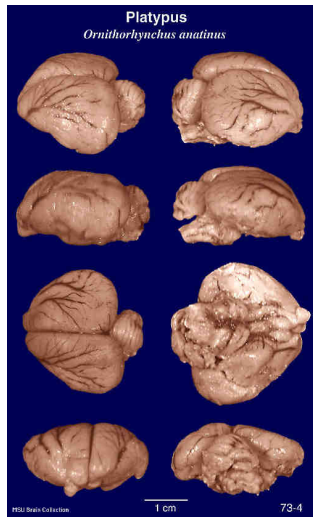


IRMf chez le primate non-humain

Intérêt par rapport à la recherche chez l'homme

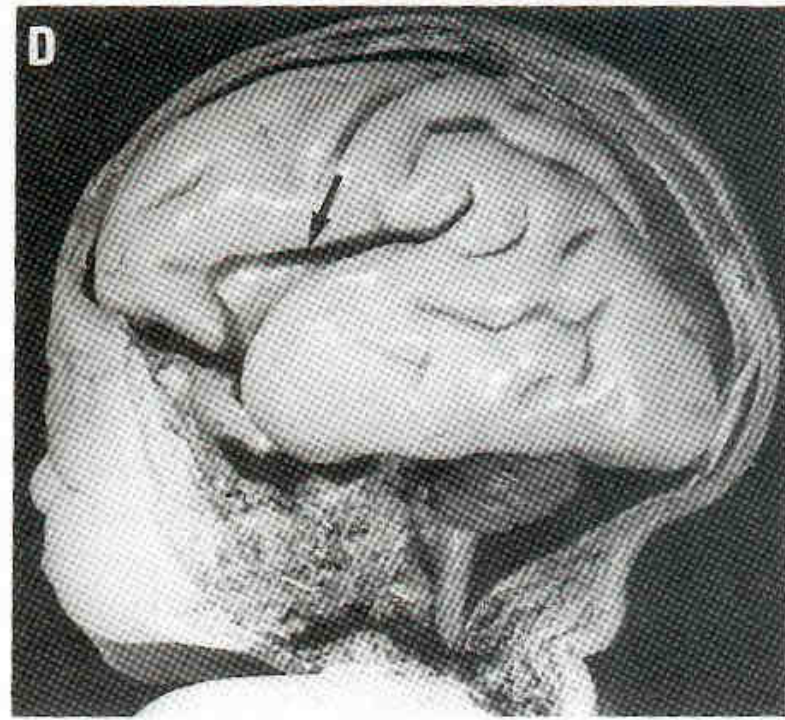
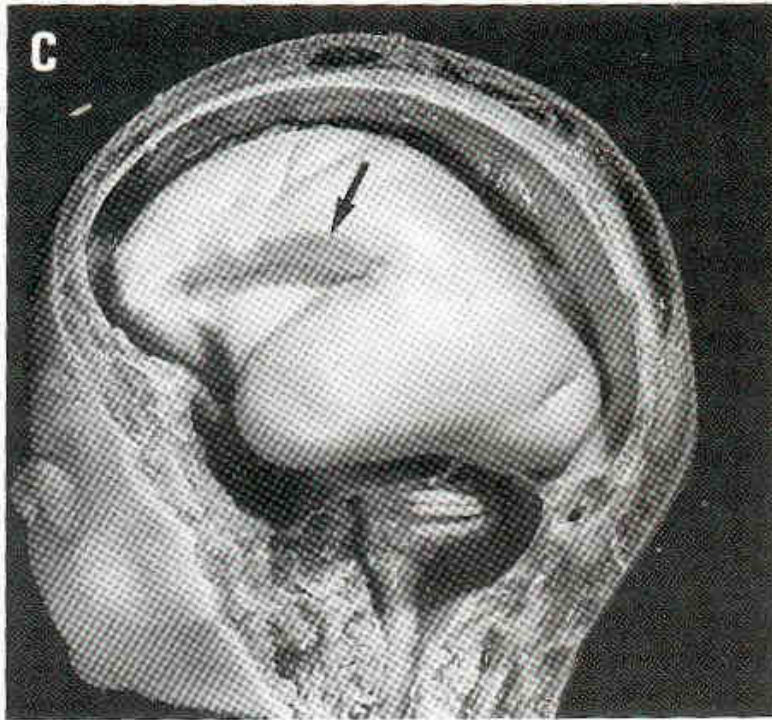
- Mêmes questions, mêmes tâches comportementales
- Utilisation comme modèle des fonctions normales et pathologiques
- Évolution du cerveau : identification des homologues et divergences

Neuroanatomie Comparative

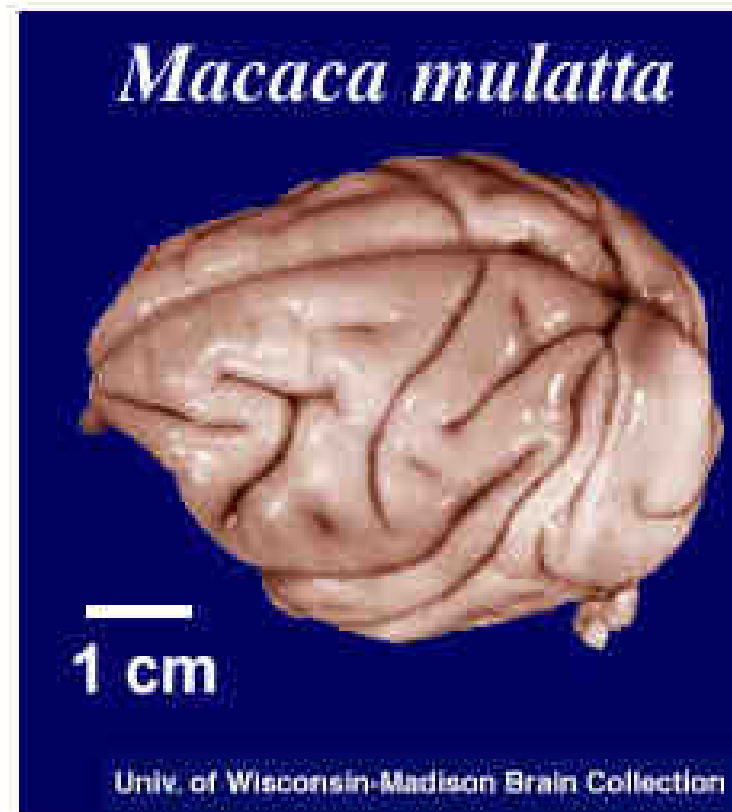
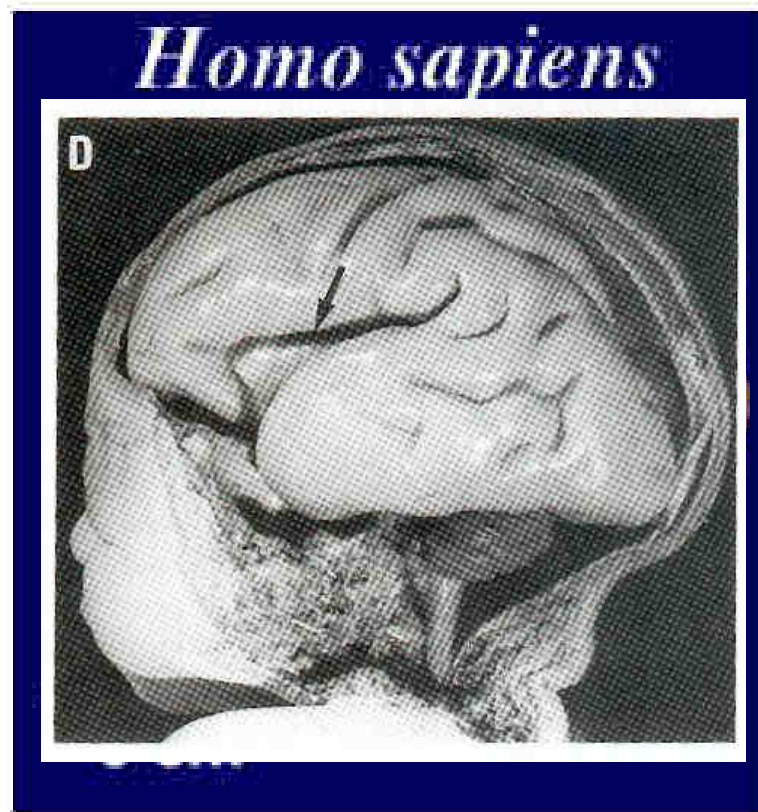


La complexité des sillons augmente au cours de l'évolution

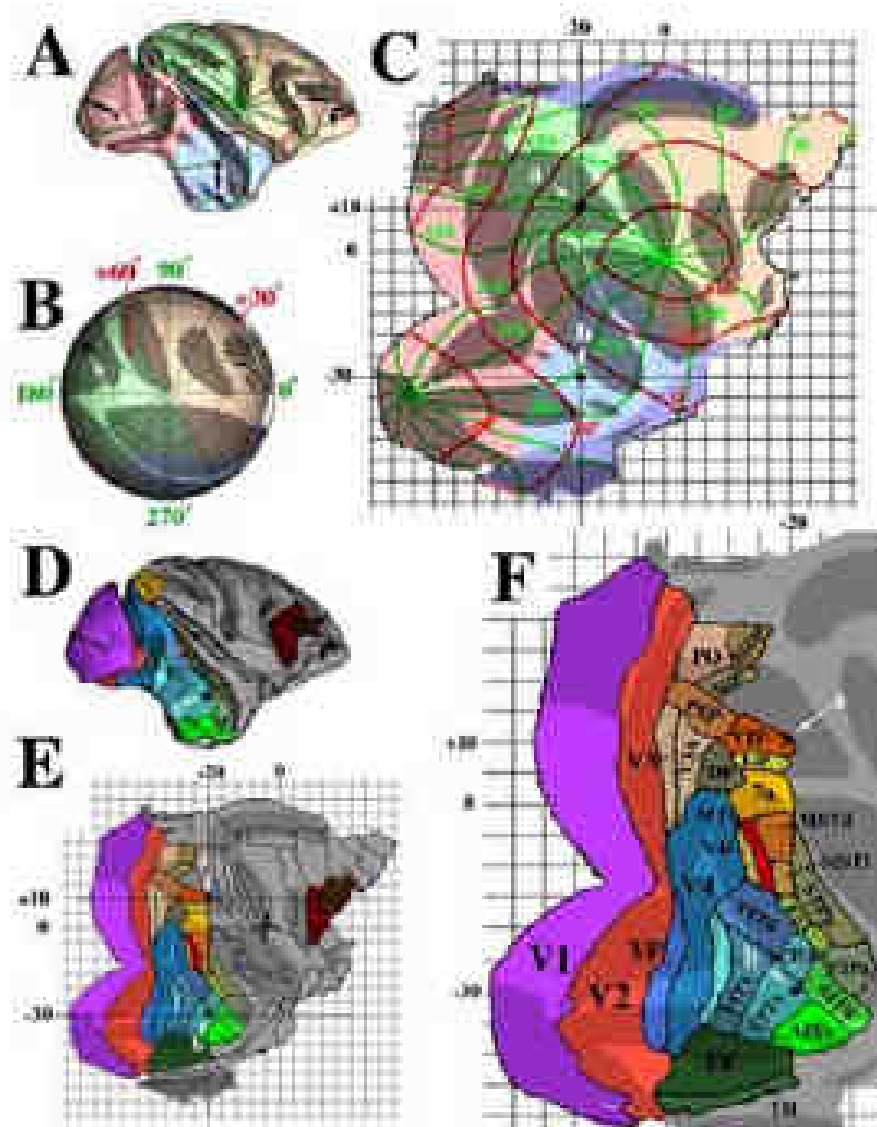
Neuroanatomie de l'ontogénèse du cerveau



“L’ontogénèse résume la phylogénèse”

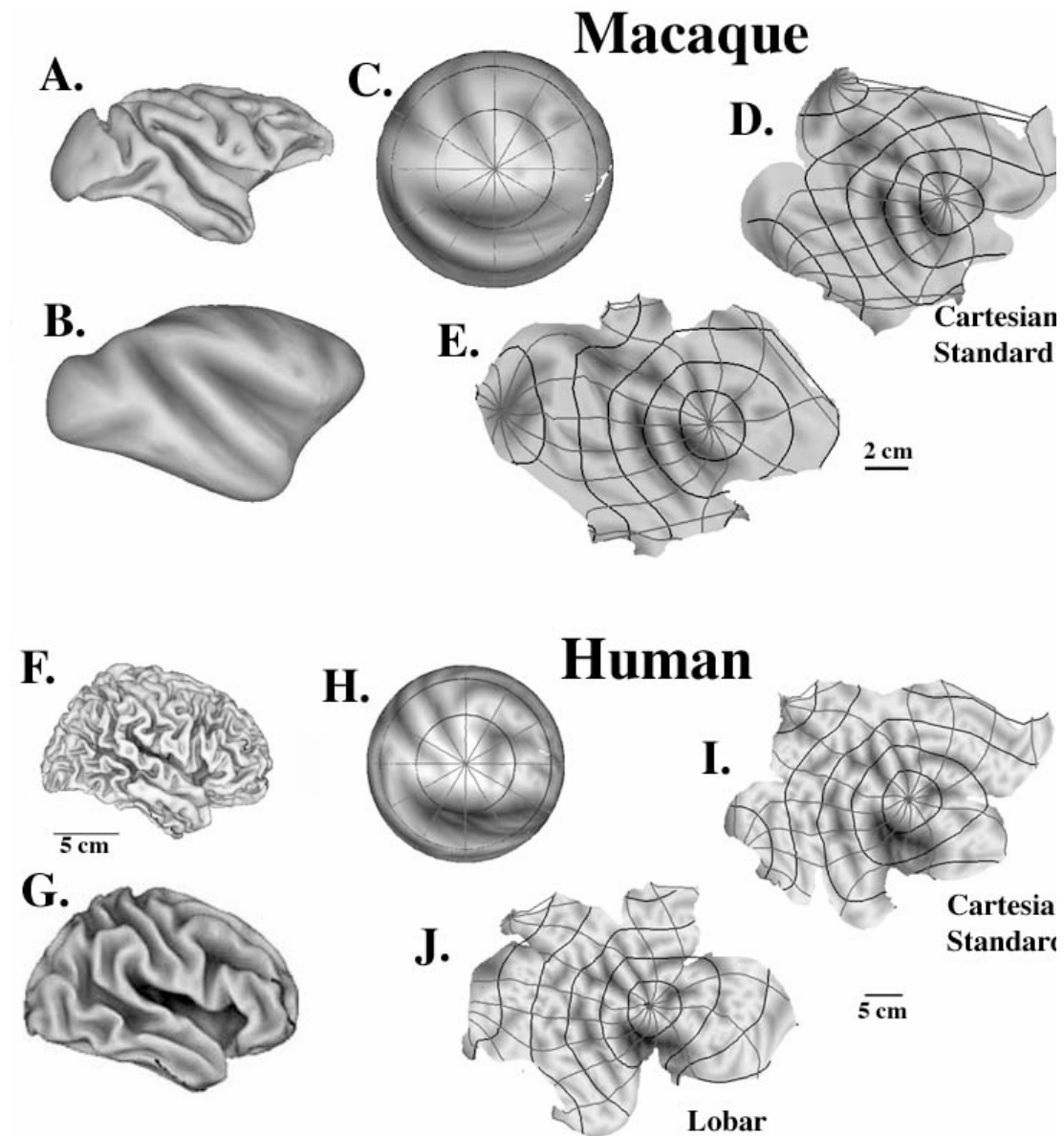


Parcellation du cortex visuel du macaque

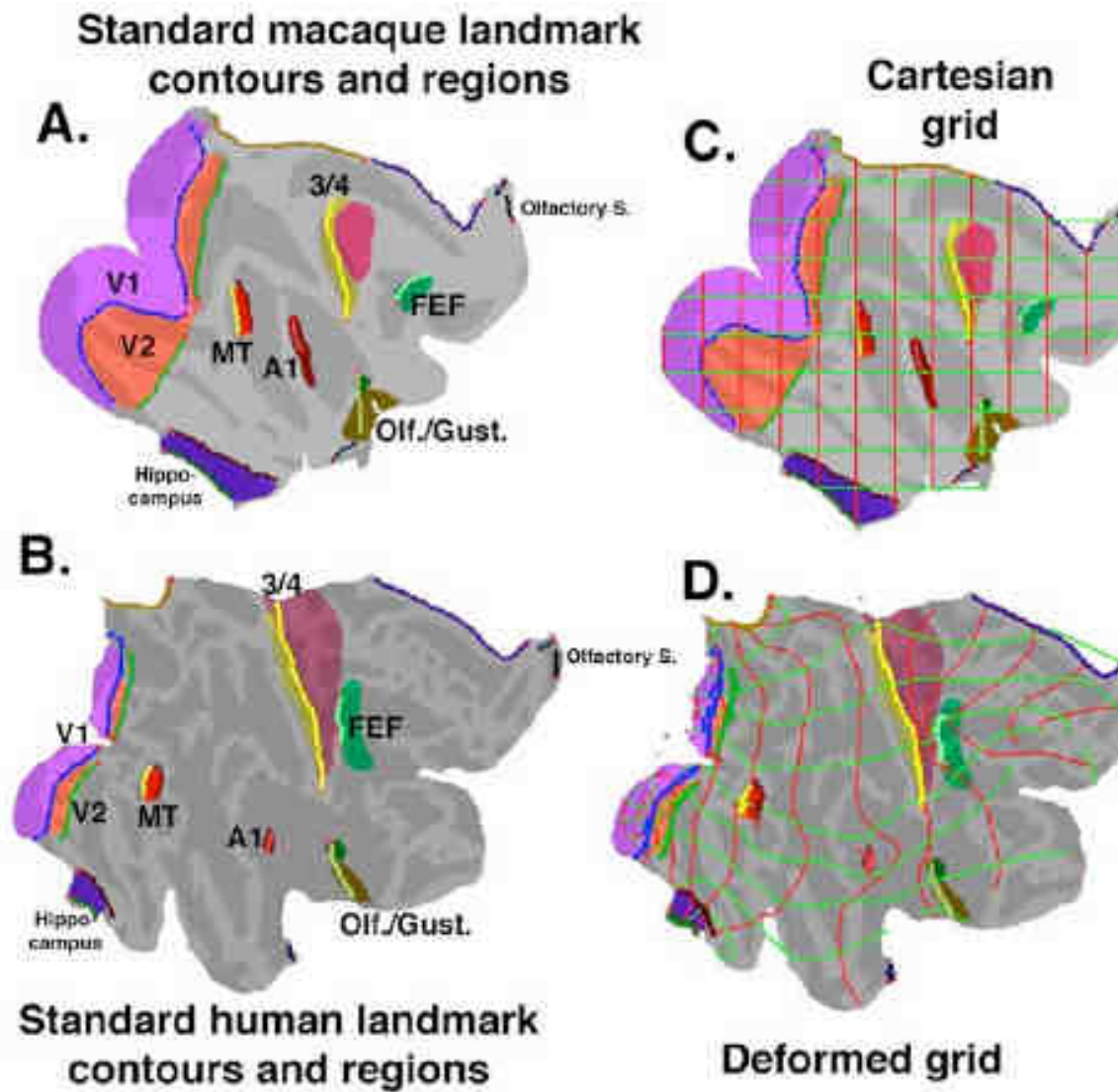


Van Essen et coll. , 2001

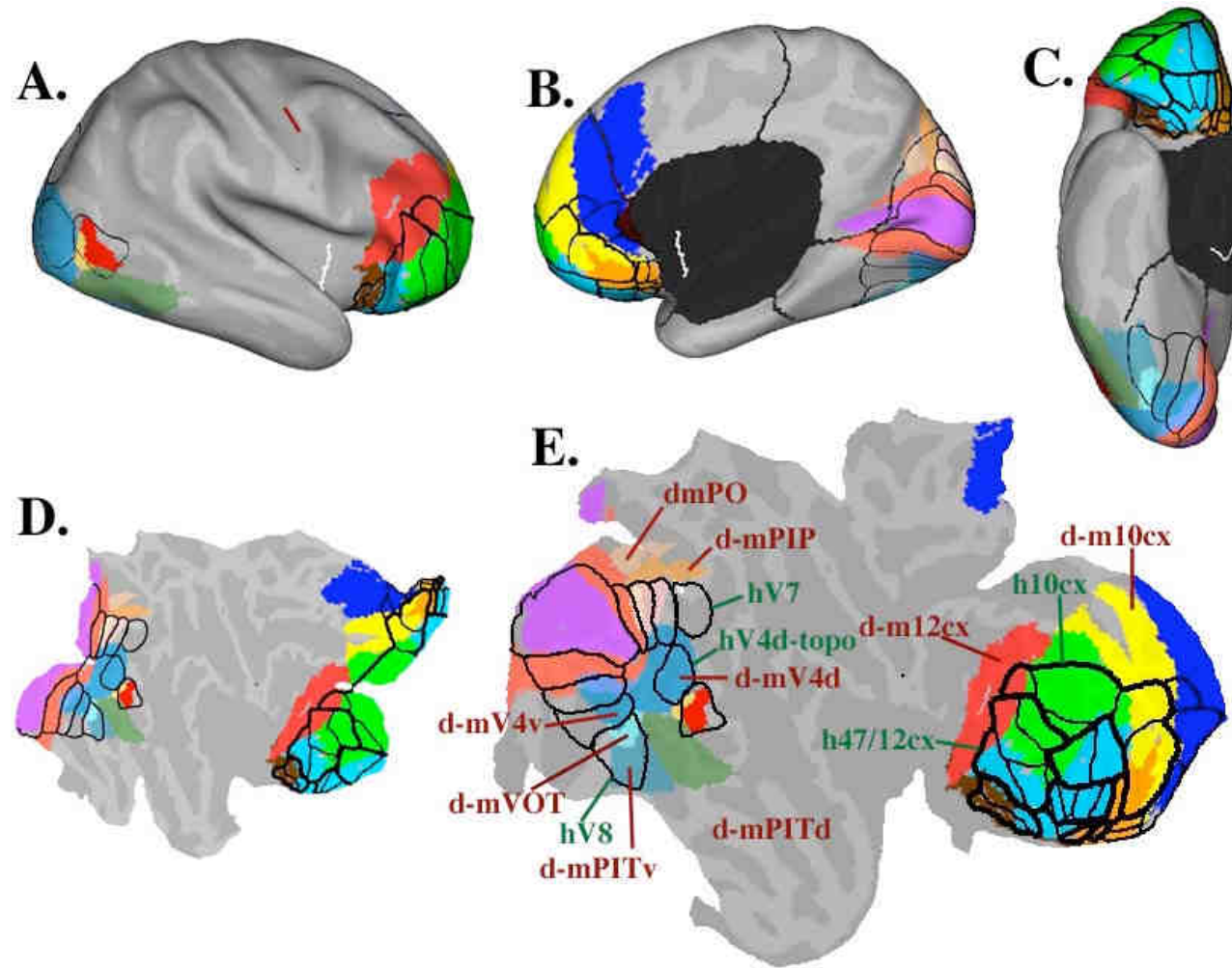
Projection du cerveau humain sur le cerveau de macaque



Projection du cerveau humain sur le cerveau de macaque



Hypothèses phylogénétiques :



Comparaison homme-singe

Tendances phylogénétiques (évolution) :

- Homologies probables entre les aires visuotopiques :
V1,V2,V3,MT
- Expansion non-uniforme du cortex entre le macaque et l'homme :

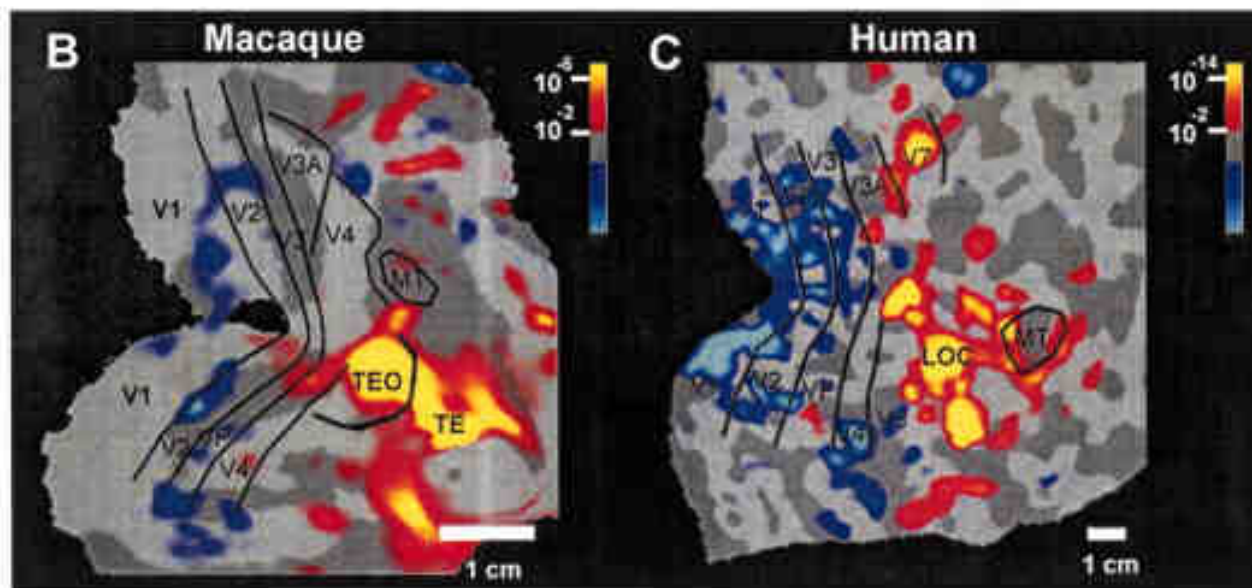
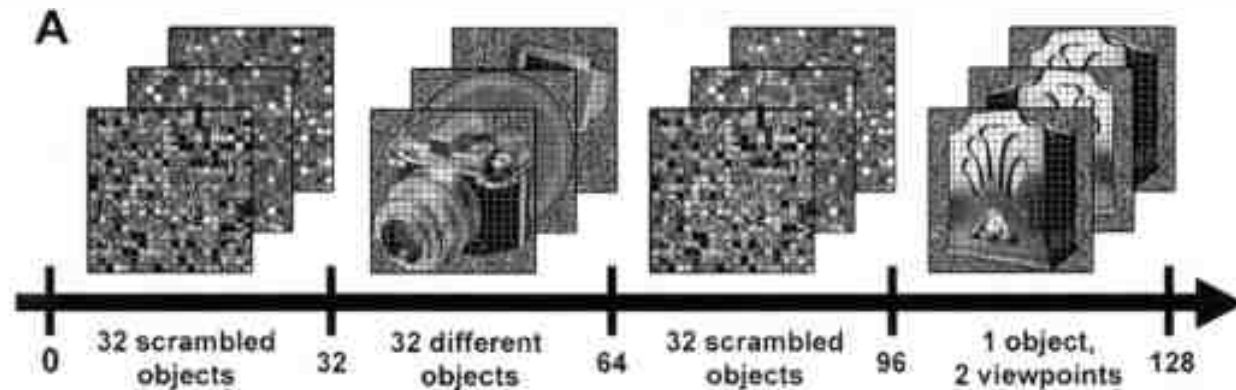
V1	x2
Temporal	x9
Pariétal	x20
- Même nombre d'aires mais plus grandes ou plus d'aires ?

Neuroimaging Weighs In: Humans Meet Macaques in “Primate” Visual Cortex

The Journal of Neuroscience, May 15, 2003 • 23(10):3981–3989 • 3981

Roger B. H. Tootell,^{1,2} Doris Tsao,^{1,3} and Wim Vanduffel^{1,2}

¹Nuclear Magnetic Resonance Center and ²Department of Radiology, Harvard Medical School, Charlestown, Massachusetts 02129, and ³Department of Neurobiology, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts 02115



The human region activated more by objects (C) has been named LOc; it corresponds primarily to higher-tier cortical areas TEO and TE in macaque (B). In both species, lower-tier retinotopic areas (e.g., V1, V2, V3) responded better to the control images (scrambled objects), making the reversal in higher-tier areas even more significant. In human LOc and macaque TEO/TE, there was a reduced response to presentations of the single object (condition c, dark gray) compared with the multiple objects (condition b, light gray). Thus macaque shows fMRI-based adaptation in inferotemporal cortex, similar to that in humans. Bold, Blood oxygen level dependent.

Similarities and differences in motion processing between the human and macaque brain: evidence from fMRI

Neuropsychologia 41 (2003) 1757–1768

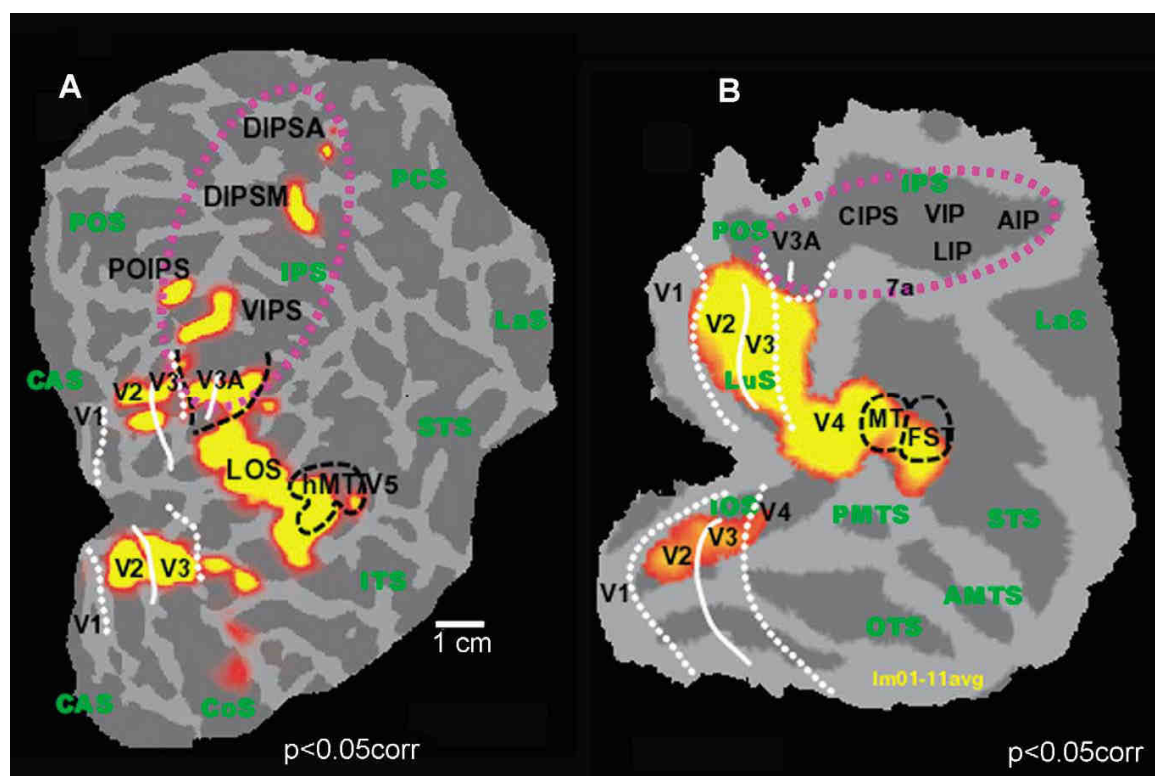
Guy A. Orban^{a,*}, Denis Fize^a, Hendrik Peuskens^a, Katrien Denys^a, Koen Nelissen^a, Stefan Sunaert^b, James Todd^c, Wim Vanduffel^a

^a K.U. Leuven, Laboratorium voor Neuro- en Psychofysiologie, Campus Gasthuisberg, Herestraat 49, B-3000 Leuven, Belgium

^b UZ Gasthuisberg, Division of Radiology, MR Research Center, Campus Gasthuisberg, Herestraat 49, B-3000 Leuven, Belgium

^c Department of Psychology, The Ohio State University, 142 Townshend Hall, 1885 Neil Avenue Mall, Columbus, OH 43210-1222, USA

Received 8 May 2003; accepted 20 June 2003



The present report reviews a series of functional magnetic resonance imaging (fMRI) activation studies conducted in parallel in awake monkeys and humans using the same motion stimuli in both species. These studies reveal that motion stimuli engage largely similar cortical regions in the two species. **These common regions include MT/V5 and its satellites**, of which FST contributes more to the human motion complex than is generally assumed in human imaging. These results also establish a direct link between selectivity of MT/V5 neurons for speed gradients and functional activation of human MT/V5 by three-dimensional (3D) structure from motion stimuli. **On the other hand, striking functional differences also emerged: in humans V3A and several regions in the intraparietal sulcus (IPS) are much more motion sensitive than their simian counterparts.**