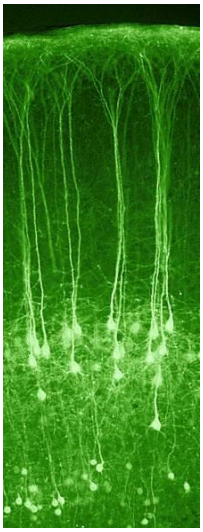
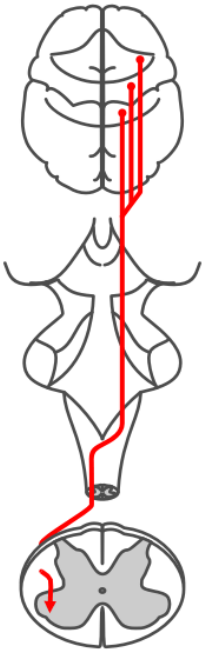
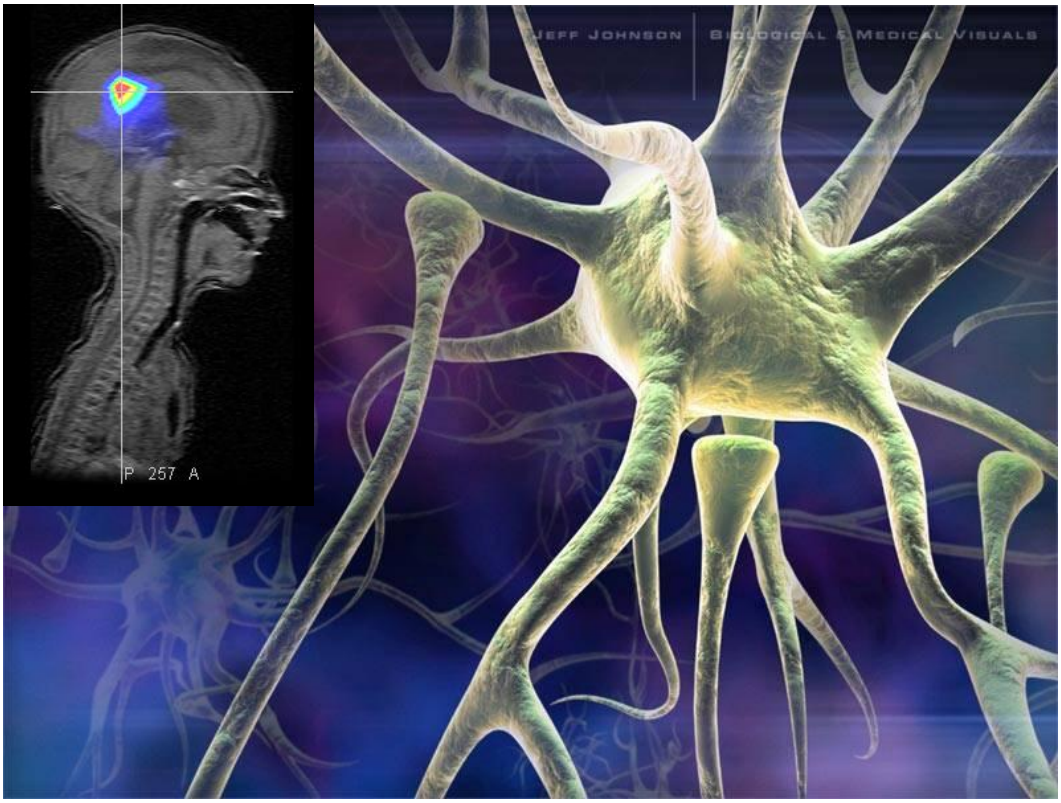


Neurosciences de la performance sportive

L2

Julien LAGARDE





Plan du cours

1 Définitions et objet de la neurophysiologie

2 Bref historique

3 Structure et fonctionnement du système nerveux

- Cortex
- Structures sous- corticales
- Cervelet
- Tronc cérébral
- Réseaux d'intégration
- Plasticité
- Moelle épinière
- Voies ascendantes et descendantes

Plan du cours (suite)

4 Reflexes

5 Perception

- Vision
- Audition
- Proprioception
- Intégration sensorimotrice

6 Invariants du mouvement

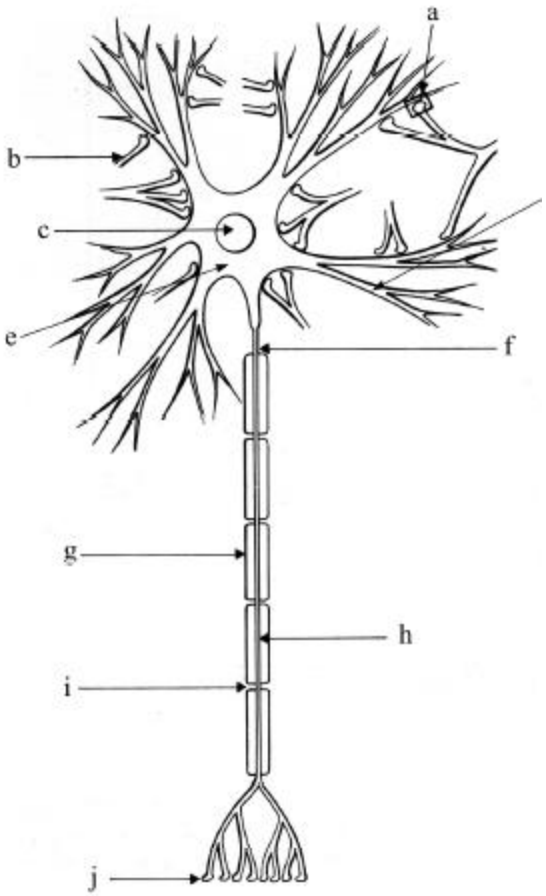
Objectifs de la neurophysiologie

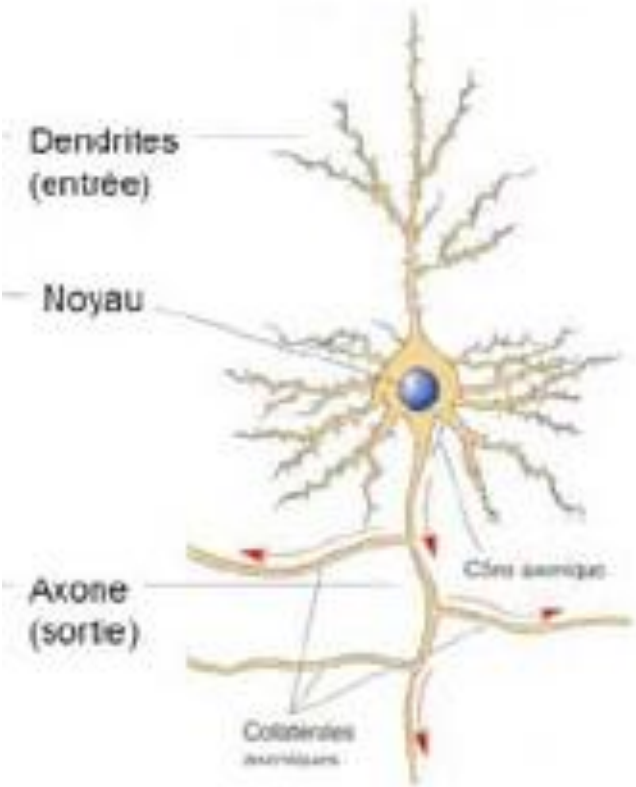
- La neurophysiologie étudie comment fonctionne le système nerveux chez le sujet normal

- Le système nerveux est un système complexe dont le fonctionnement dépend de ses composants élémentaires (les neurones) et de leurs connexions et de leur organisations

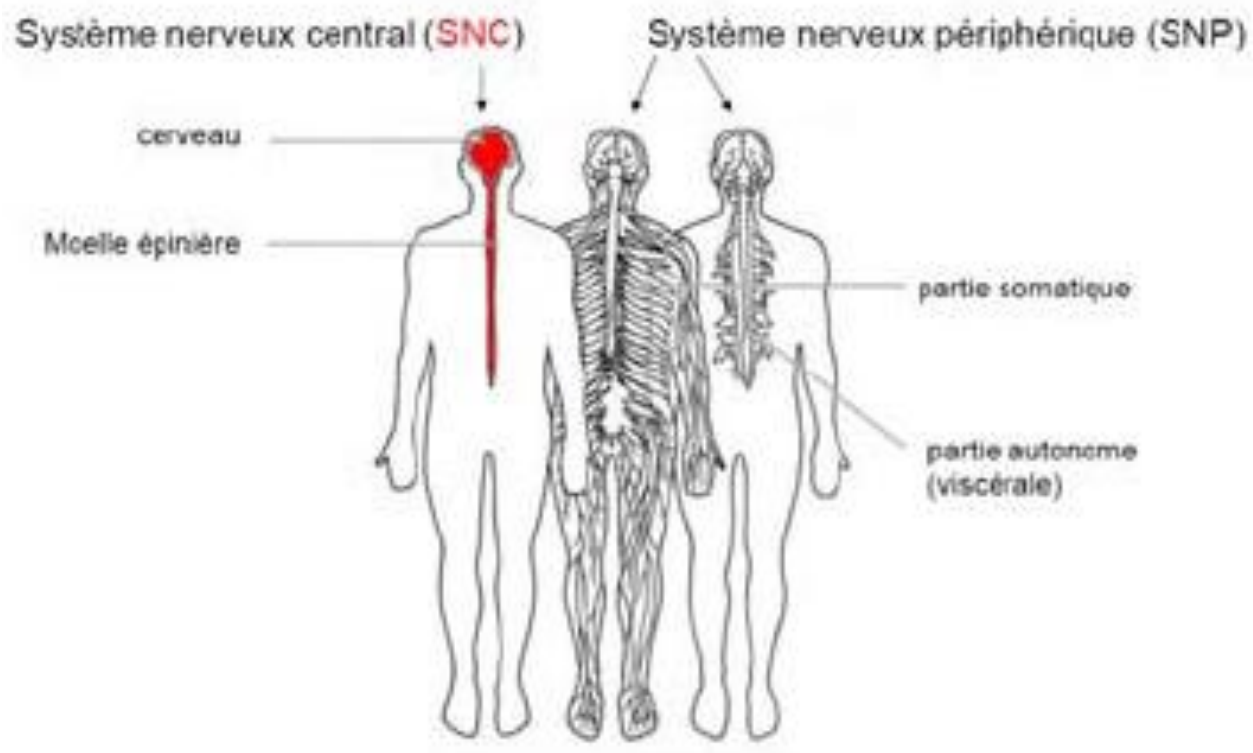
Le système nerveux est divisé en système nerveux central (SNC) et système nerveux périphérique (SNP)

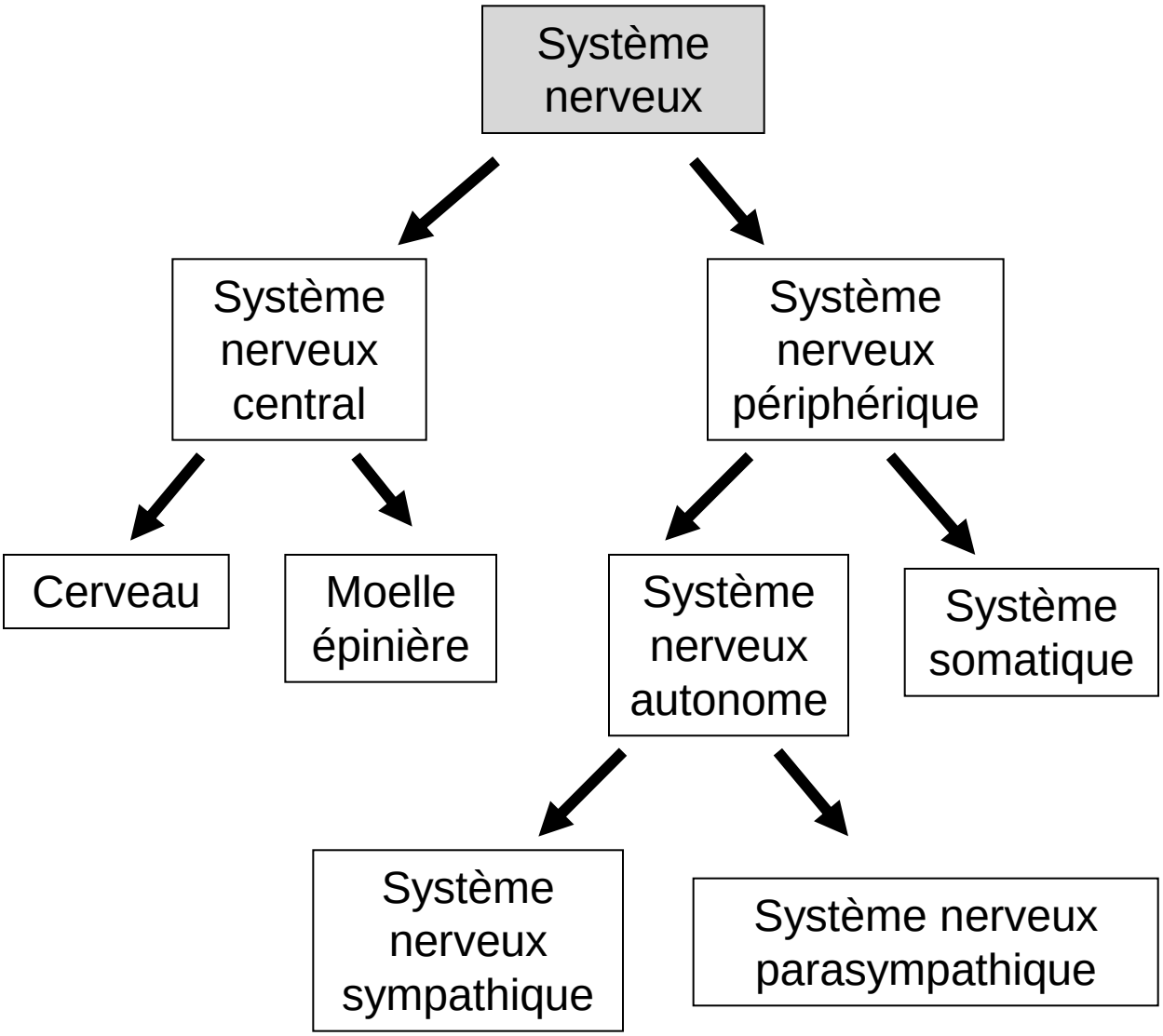
Il est constitué d'ensembles de neurones et d'axones qui forment des agrégats qui portent des noms spécifiques





Définitions




Système nerveux
Système nerveux central
Système nerveux périphérique
Cerveau
Moelle épinière
Système nerveux autonome
Système somatique
Système nerveux sympathique
Système nerveux parasympathique

- Substance grise : zones de corps cellulaires neuronaux dans le SNC

- Un nerf est un ensemble d’axones dans le SNP

- Un seul groupe d’axones dans le SNC porte le nom de nerf : le nerf optique

- La substance blanche est le nom générique d’un ensemble d’axones

- Une voie est un ensemble d’axones du SNC dérivant du même site d’origine et ayant la même destination

Système nerveux périphérique (SNP)

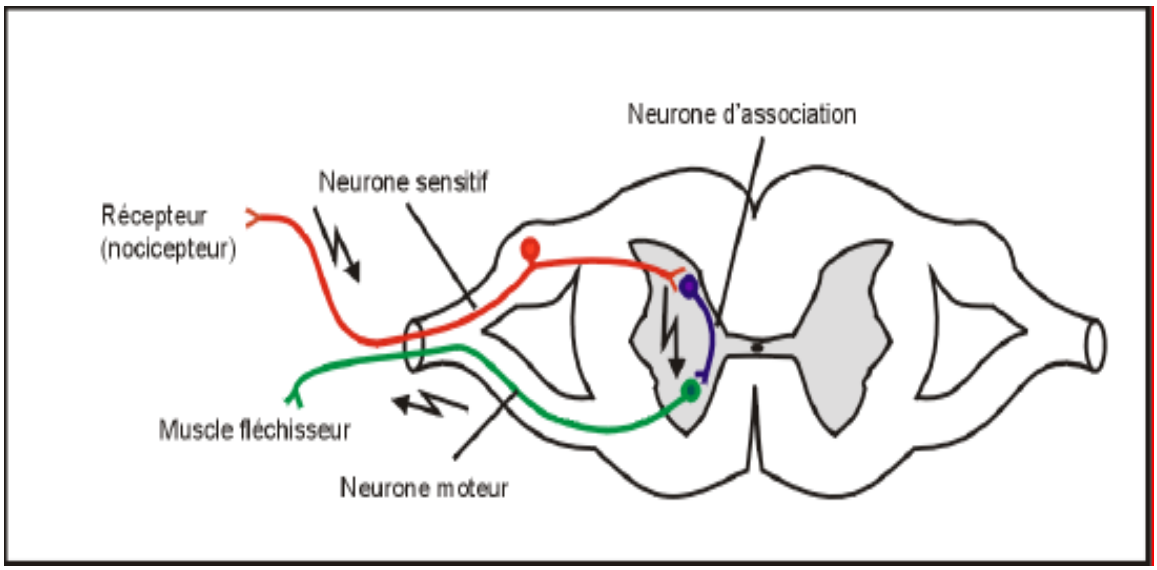
- SNP somatique :

Les nerfs innervant la peau, articulations, muscles

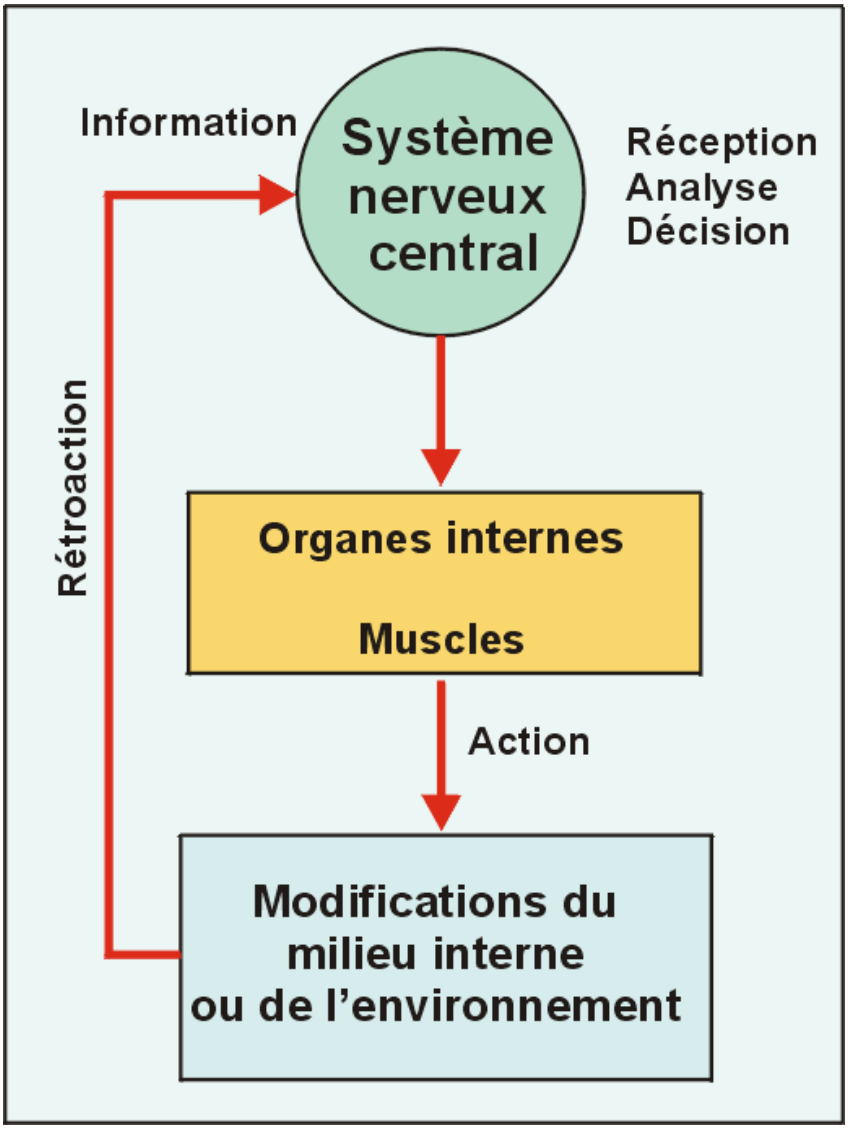
- SNP viscéral ou autonome ou végétatif :

Les nerfs innervant les viscères, les vaisseaux sanguins, et les glandes

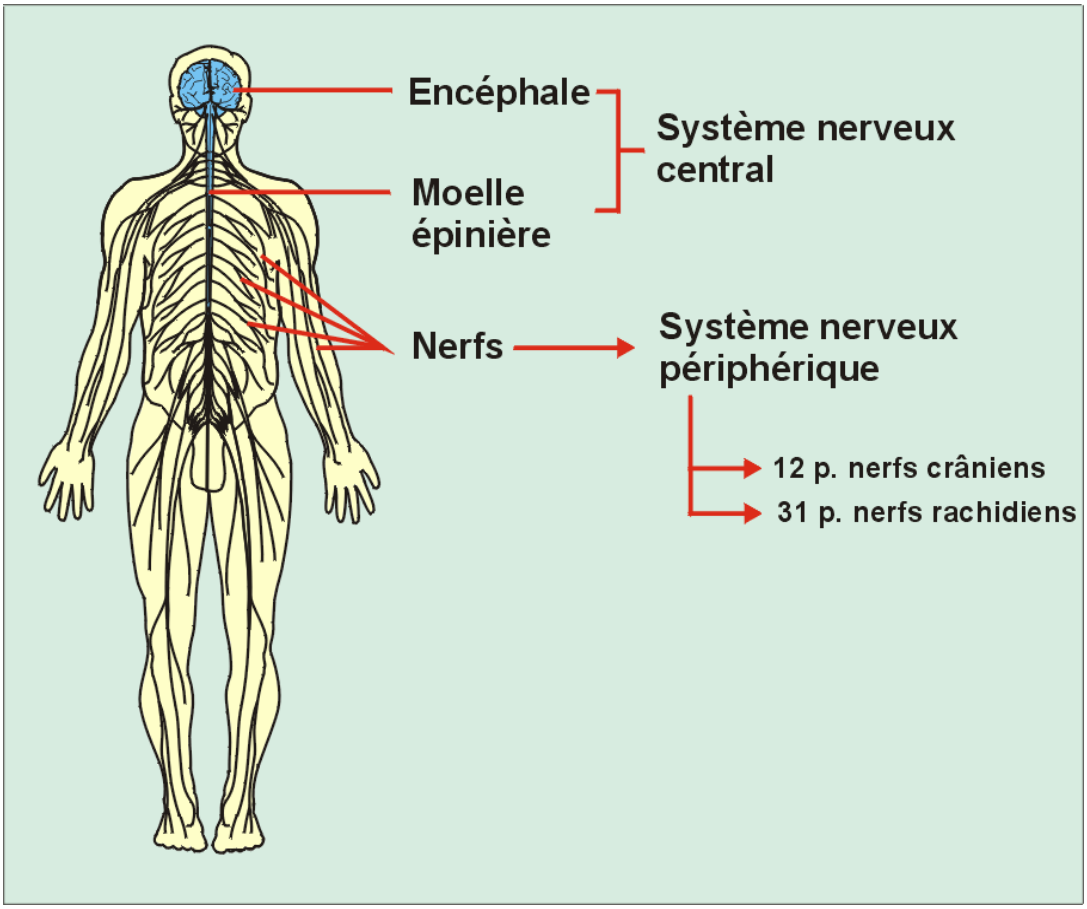
- Les nerfs du SNP somatiques rejoignent la moelle épinière par les racines dorsales (vers le SNC) et ventrales (depuis le SNC)



• Fonctions et structures- substrats

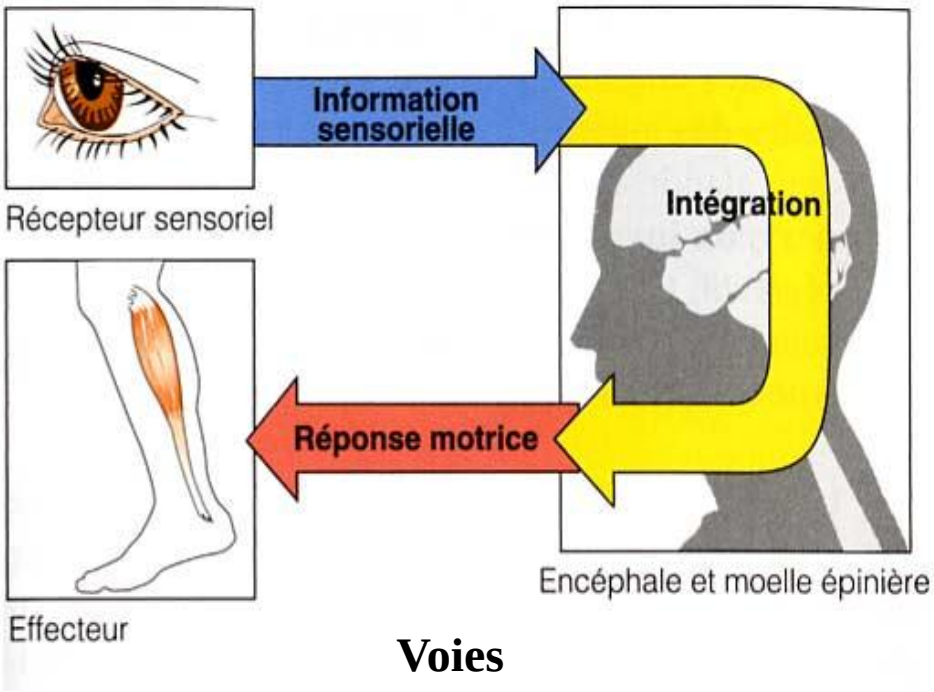


Les grandes divisions *structurelles* du système nerveux



Les grandes divisions *fonctionnelles* du système nerveux

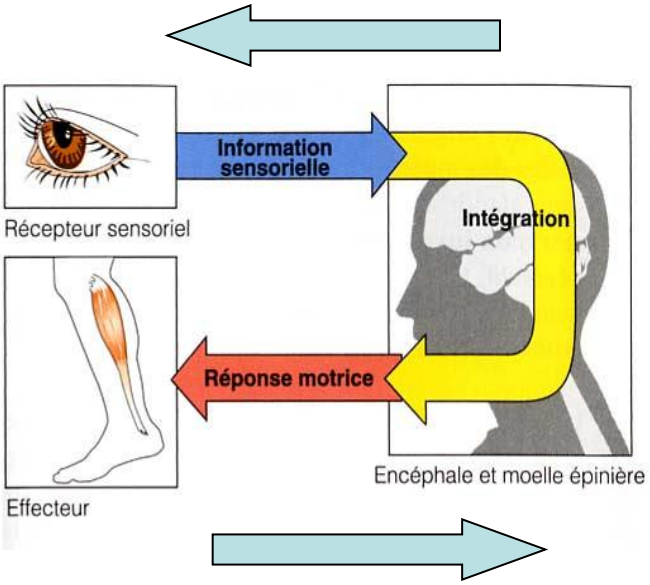
Voies afférentes



Voies efférentes

- **Fonctions**

  - **“input” sensoriel :** contact avec les stimuli externes et internes
  - **Intégration :** “interprétation” des inputs sensoriels
  - **“Output” moteur :** réponses aux stimuli par une activation des organes effecteurs (muscles, articulations)

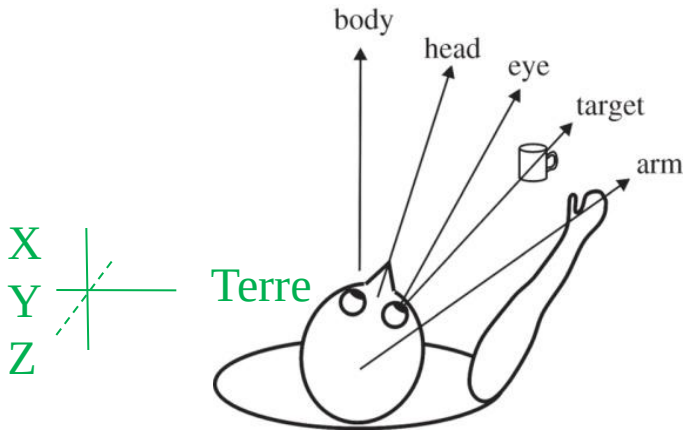


Des interactions dans les deux directions, pas de « sens unique »

Exemple concret : La vision

Information physique optique
--> Réflexion de la lumière sur des surfaces
- Récepteurs sensibles à la lumière : œil/ rétine
- Transmission « info » de la rétine vers le cerveau

MAIS : l'œil est en lui-même en mouvement !



Cohérence ?
(espaces, vitesses)

Le buste bouge, la tête bouge sur le buste, œil bouge dans la tête

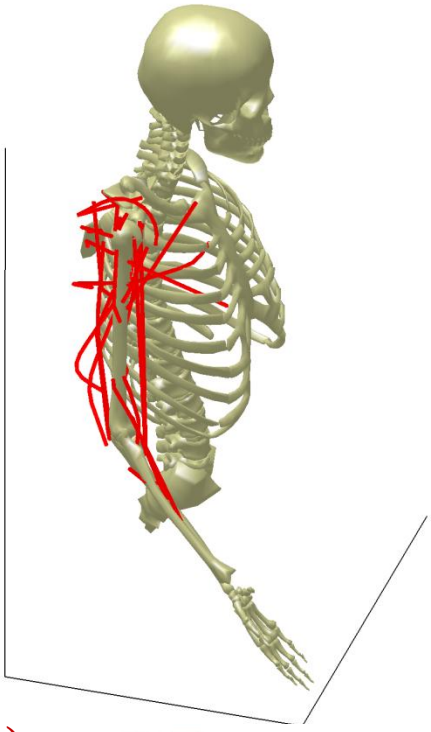
Question à résoudre pour le cerveau :
- Est ce le monde qui m'entoure qui bouge (le mouvement de l'information optique sur les objets qui m'entourent)
- Ou bien : Est ce mon œil-tête-buste qui bougent ?

Plus compliqué : A quelle vitesse ? Œil- cible (mobile) : Comment bouge mon partenaire pendant que je bouge moi-même quand je veux lui faire une passe ?

Est-ce le monde qui bouge ou mon œil ? Expérience

« intégration sensorimotrice »

La vision : L'œil une « caméra » passive ?

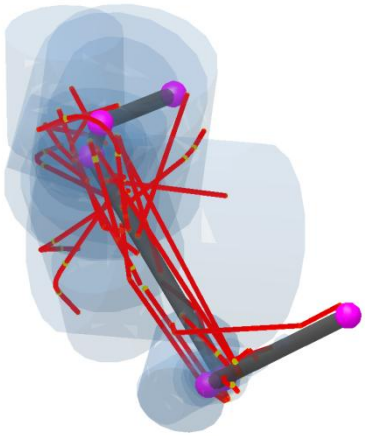


Le mouvement humain :

Un système complexe

Des éléments très nombreux :

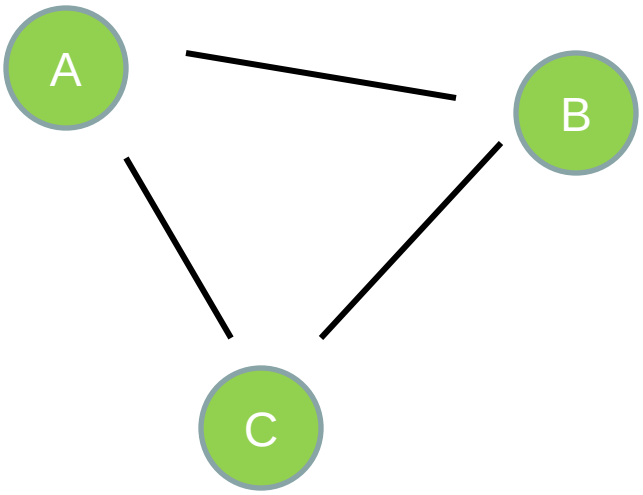
- 148 os mobiles (244 ddl / « degrés de liberté »)
- 600 muscles
- 100 milliards de neurones
- un million de milliards de synapses



→ Nombre de circuits neuronaux possibles
= 10 suivi d'un million de zéros

* nombre de particules de l'univers connu
= 10 suivi de 79 zéros

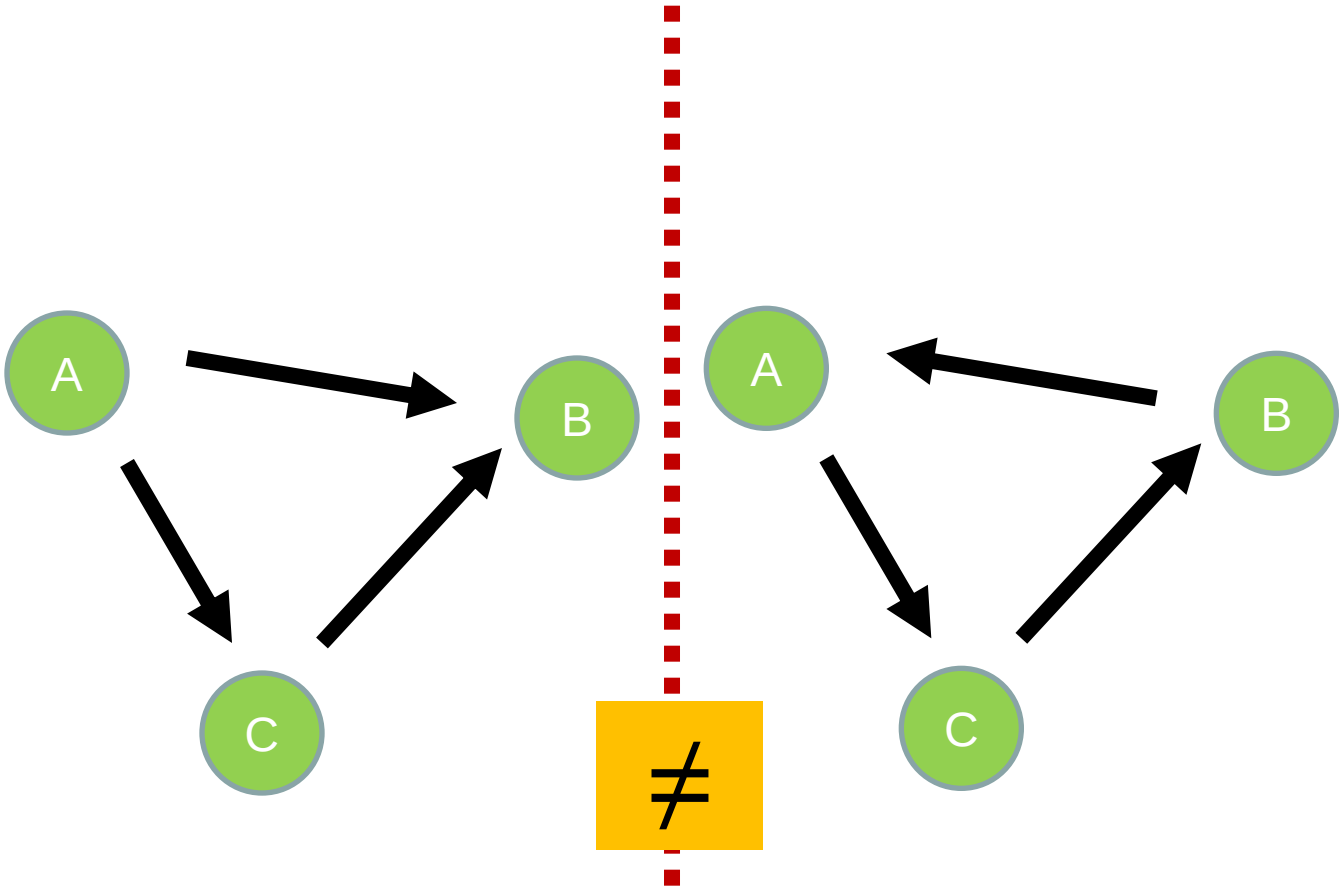
Des interactions entre éléments qui rendent la compréhension de l'ensemble difficile



Combien de réseaux ?

{A;B}
{A;C}
{C;B}
{A;B;C}

N = 4



Combien de réseaux ?

Relations aux autres disciplines

•Sciences de la vie

Neurosciences
Physiologie
Contrôle moteur
Biomécanique (mécanique)

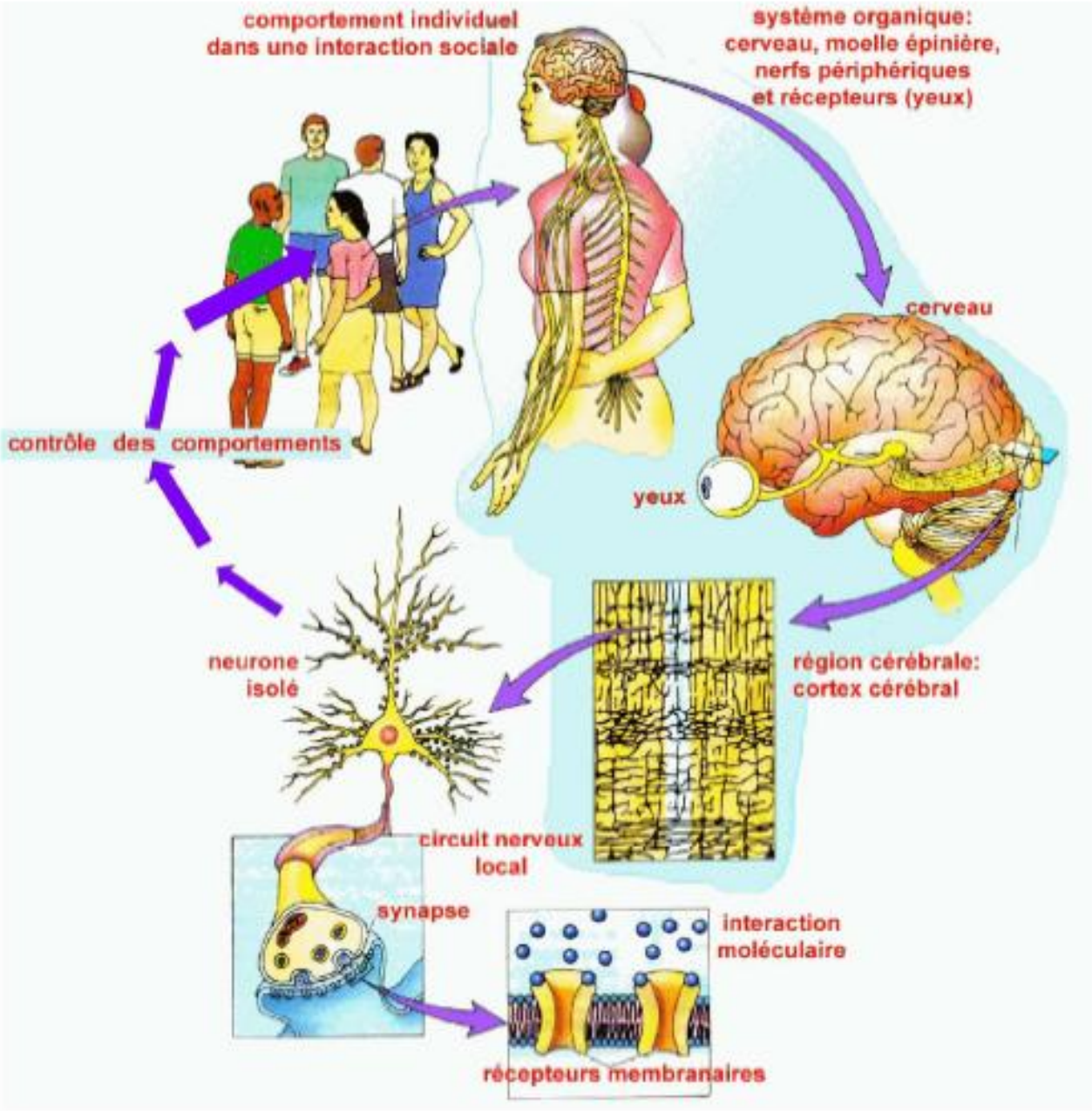
•Sciences humaines

Psychologie
Sociologie
Psychologie sociale

Sciences physiques et mathématiques

Modèles quantitatifs
Théories et méthodes
Biophysique (niveau microscopique)

Les différents niveaux d'analyse

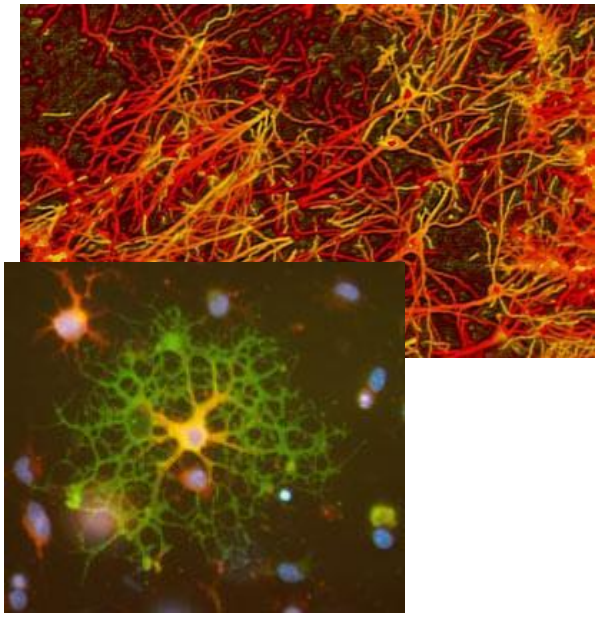


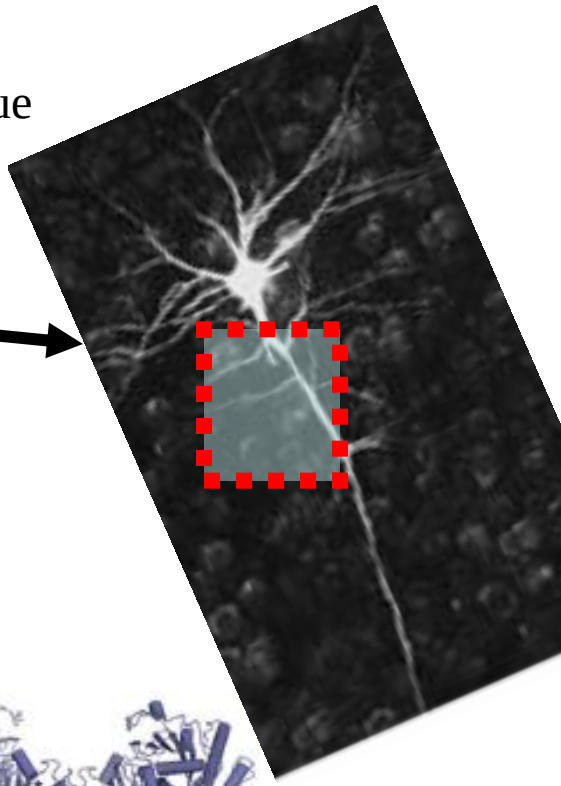
Du comportement global au niveau microscopique

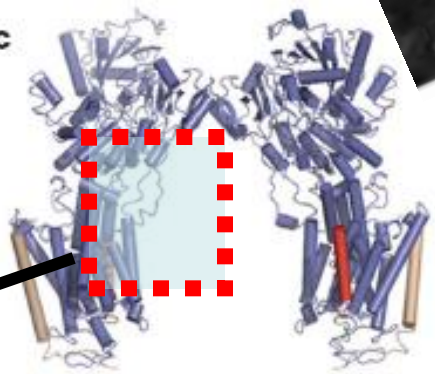
• ***Global*** = la tâche, ce que l'animal ou l'individu veut faire, le comportement observable (de l'extérieur)

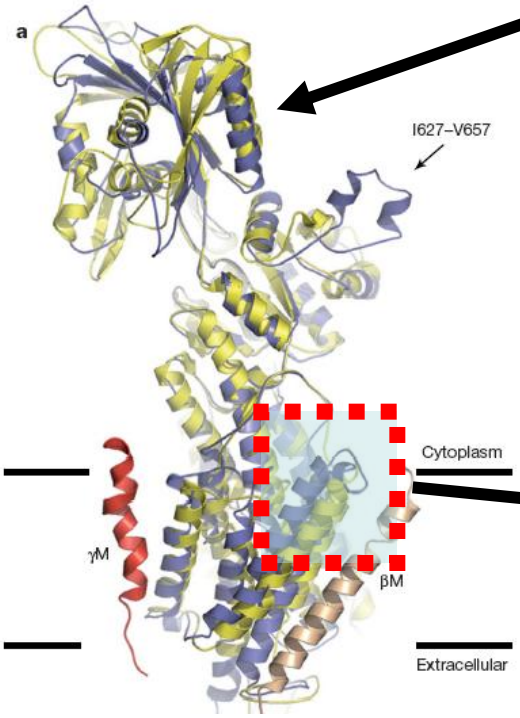
Ex: saisir un objet, franchir un obstacle, aller du point A au point B dans l'environnement, faire un salto

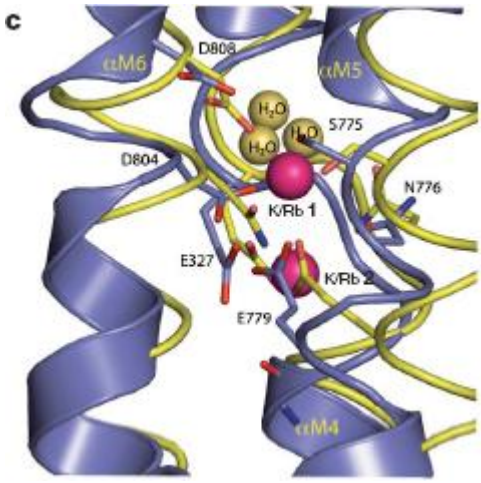
• ***Microscopique*** : physico-chimique



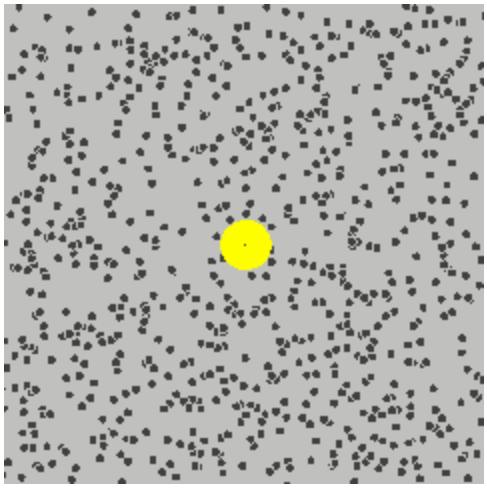


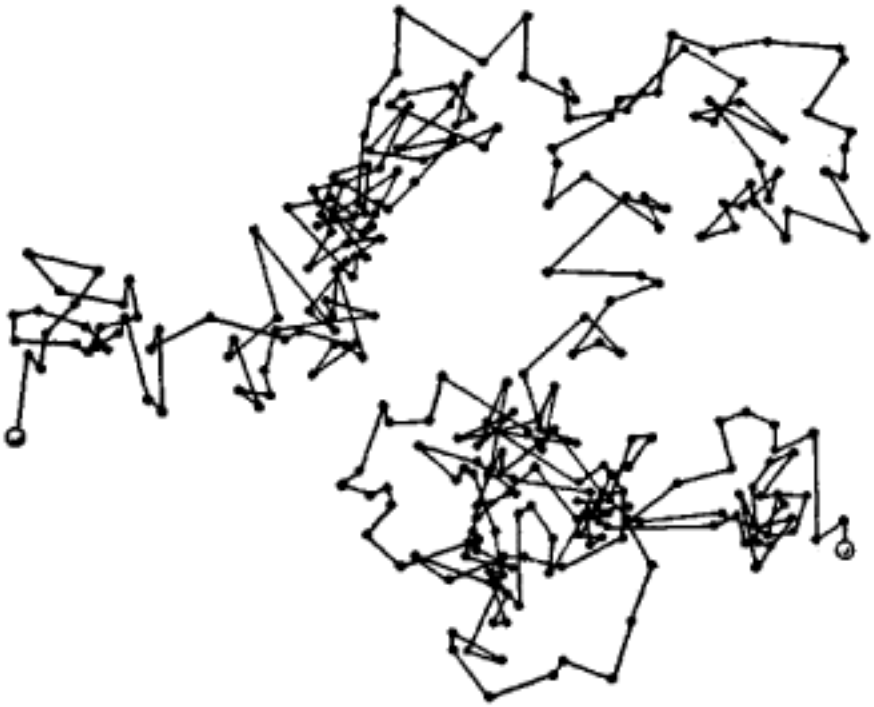






Echelle « micro » (atomique) : Aléas





A travers les échelles

Comportement adaptatif
(sensoriel, moteur, muscles, mécanique)

- SNC & SNP
- Cortex (0.45 mètres carré)
- Large ensemble de neurones (10 000 neurones)

- Neurone (cm, mm)

- Protéines pompes ioniques (0.1 mm), Gènes

- Molécules (H2O : < 200 pm, (10^{-12} mètres)

Social
Psychologique

Biologique

Physique

Objectifs de la neurophysiologie en relation avec le mouvement

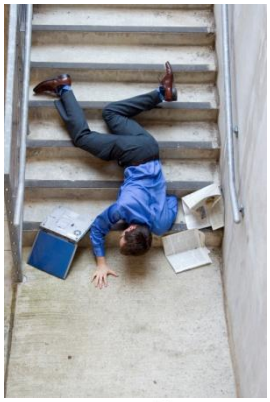
Apporter les connaissances fondamentales sur les mécanismes, la structure et les fonctions du système nerveux humain pour comprendre comment sont contrôlés les mouvements volontaires chez l'homme.

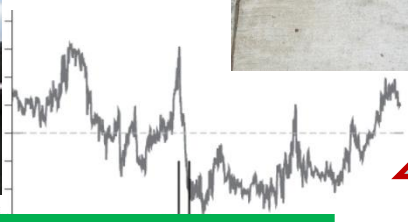
La relation entre la neurophysiologie et le contrôle moteur (comportement observable, le mouvement par exemple) n'est pas évidente :

1- le fonctionnement d'une structure nerveuse résulte des propriétés de ses éléments constitutifs (cellules nerveuses ou neurones). « Lorsque les scientifiques accumulent suffisamment d'informations concernant les éléments, le fonctionnement de celui-ci paraît évident ». Cette démarche est qualifiée de « réductionnisme »:

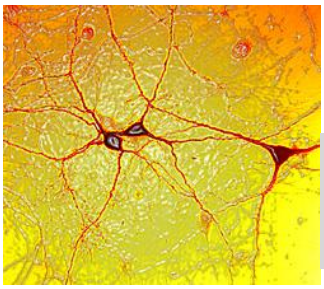
2- Le fonctionnement d'un système complexe ne peut être uniquement compris à partir de sa structure et des propriétés des éléments qui le composent pris isolément. Il semble utile de se focaliser sur ***l'organisation et les interactions entre les éléments***.

Exemple de relation entre niveaux d'analyse et échelles

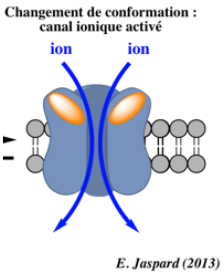




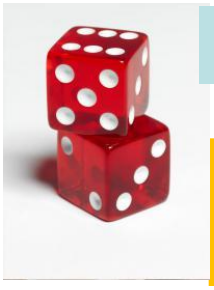
Erreurs comportementales



Neurone(s) et
Réseaux de neurones



Canaux ioniques de la
membrane du neurone



Désordre, hasard

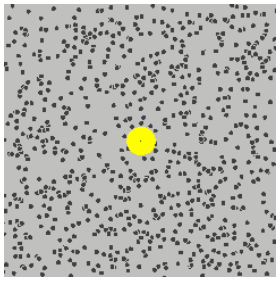
Agitation moléculaire
(fluctuations thermiques)

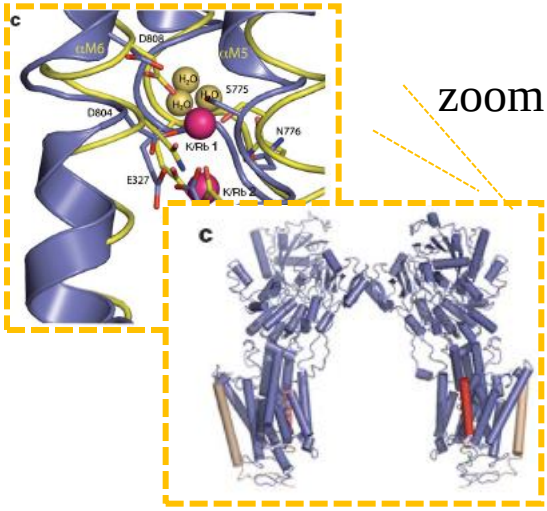
Perturbe

Macro

Micro

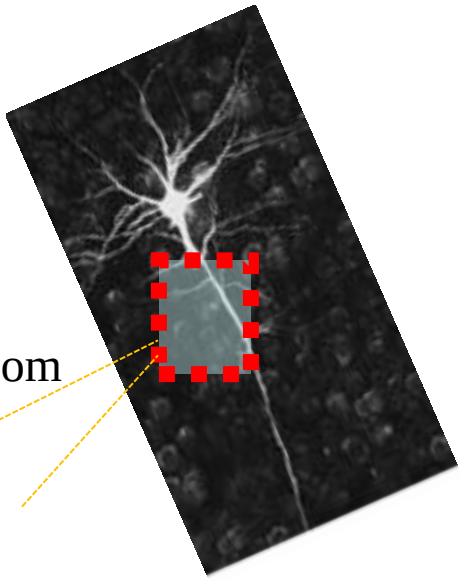
Agitation moléculaire « **hasard** »





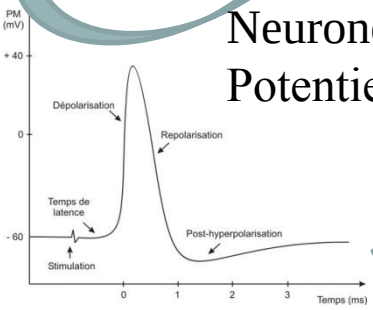
zoom

zoom



Canaux et pompes à ions »
Dans les **membranes** des neurones

Neurone
Potentiel d'action



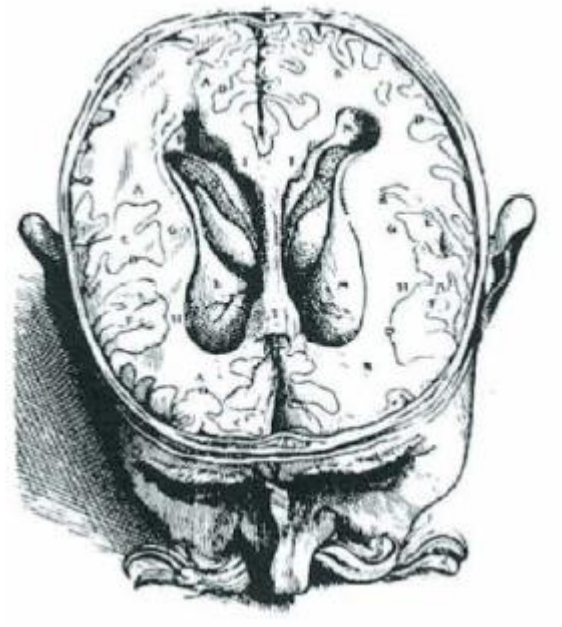
x *10 000* fois

Trajectoires de mouvement

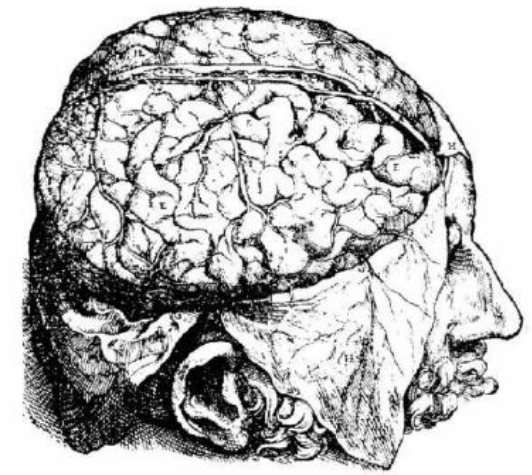
Cas idéal non biologique : Sans perturbations « bruit » ou « hasard » ou « fluctuations »

Réalité : cas biologique, = cas idéal + perturbations par le « bruit » moléculaire

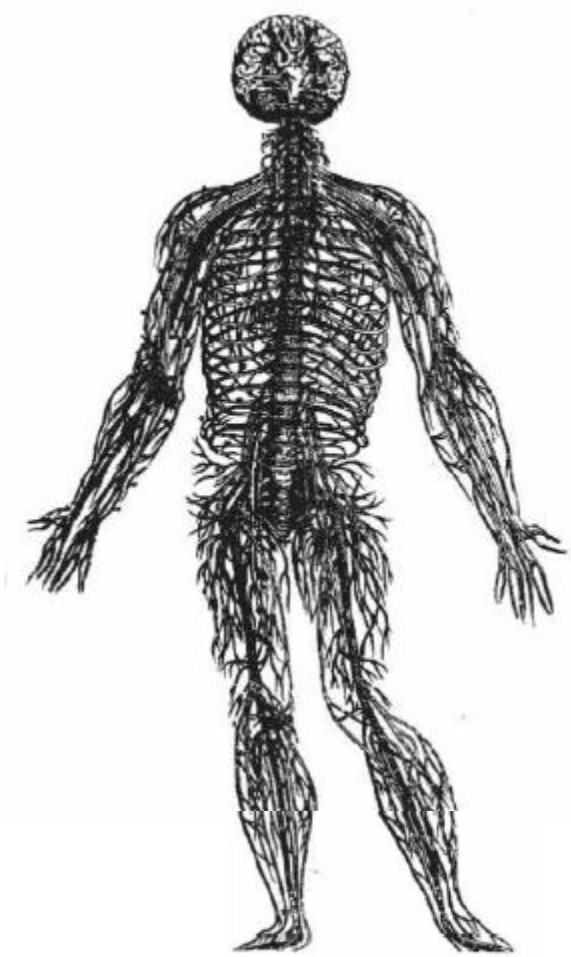
Structures et anatomie



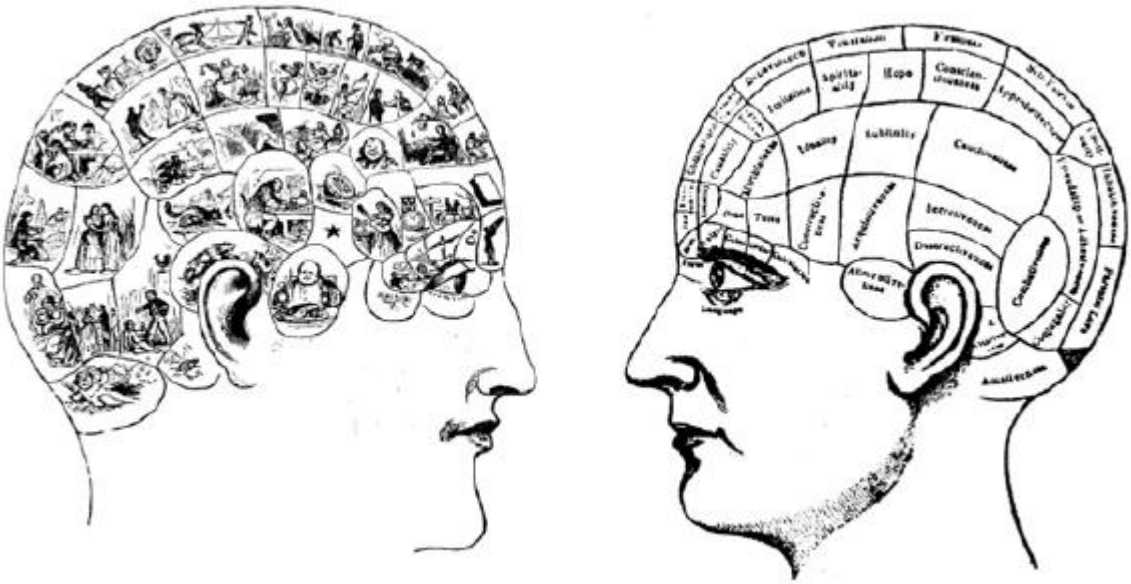
Andreas Vesalis (1514-1564)
De Humani Corporis Fabrica



http://archive.nlm.nih.gov/proj/ttp/books.htm



Etude de l’anatomie nerveuse

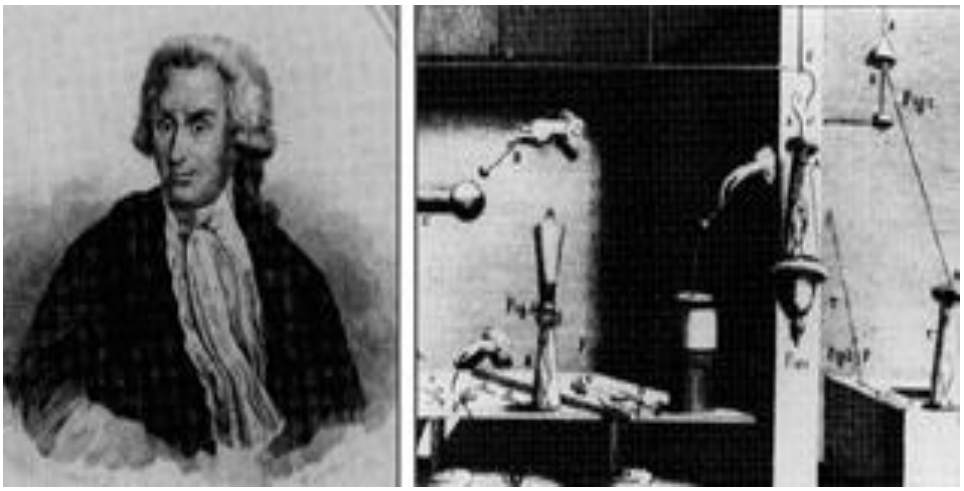


Localisation des fonctions 19e siècle (Broca, Gall)

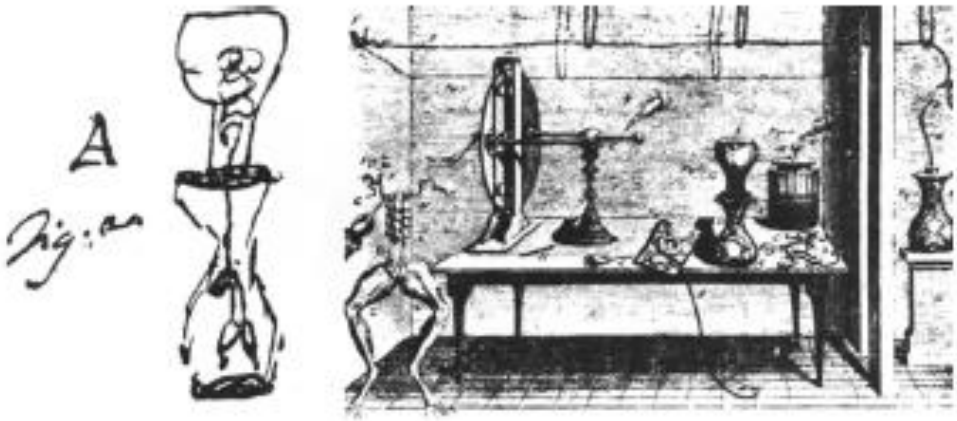
Historique

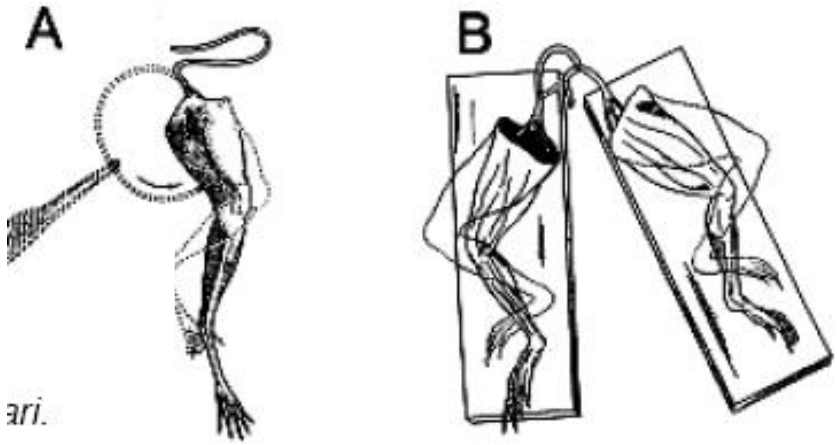
Le début de l'électro-neurophysiologie se situe dans la deuxième partie du 18e siécle

Galvani (1737-1798) démontre que la stimulation électrique est susceptible d'induire une contraction musculaire



Galvani

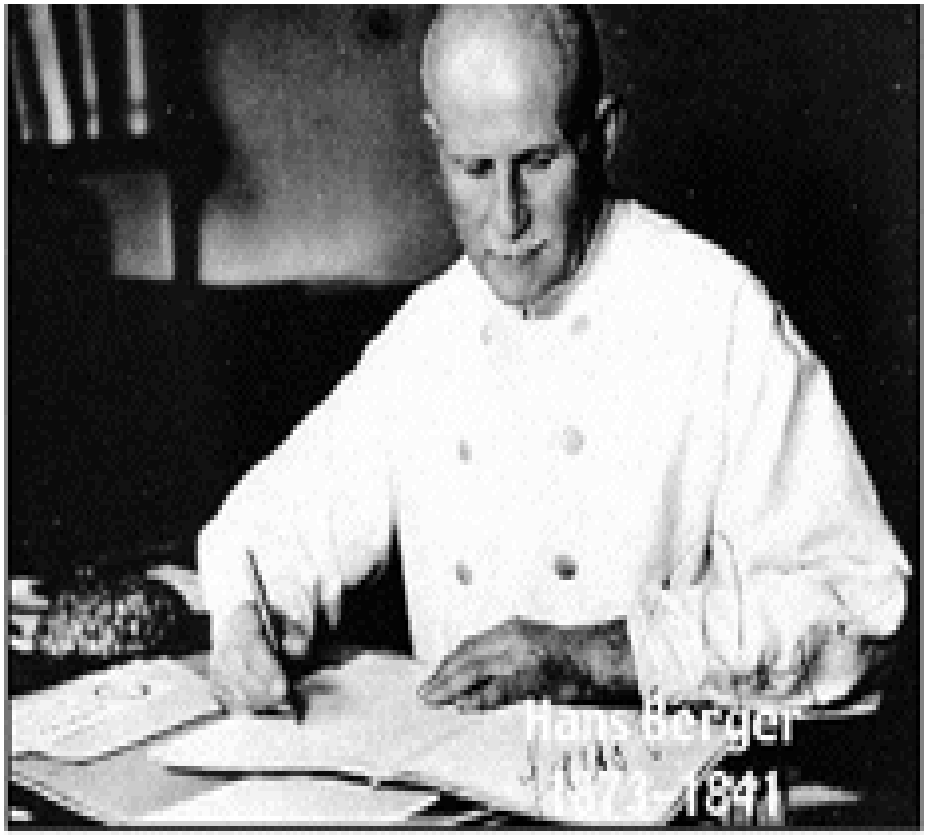


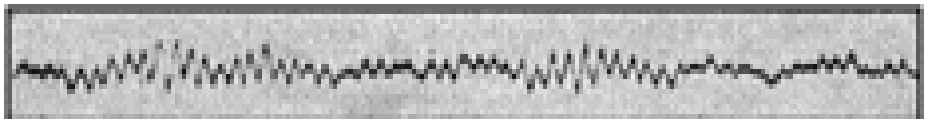


From Galvani L. *Aloysii Galvani de viribus electricitatis in motu musculari.* De viribus electricitatis artificialis in motu musculari. 1791;7:363–418.

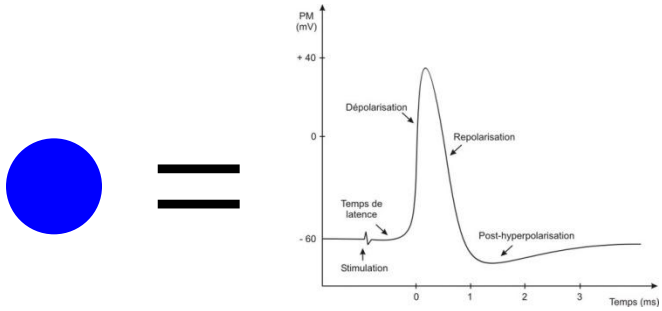
1888 et 1895 - Santiago Ramon y Cajal (neurophysiologiste espagnol) propose la théorie des neurones : il montre que le tissu cérébral est constitué de cellules (les «neurones») qui, contrairement à celles des autres tissus vivants, sont libres et séparées par de fins espaces, et il émet l'hypothèse d'un mode de communication chimique entre ces cellules. Il a reçu pour cela le Prix Nobel en 1906

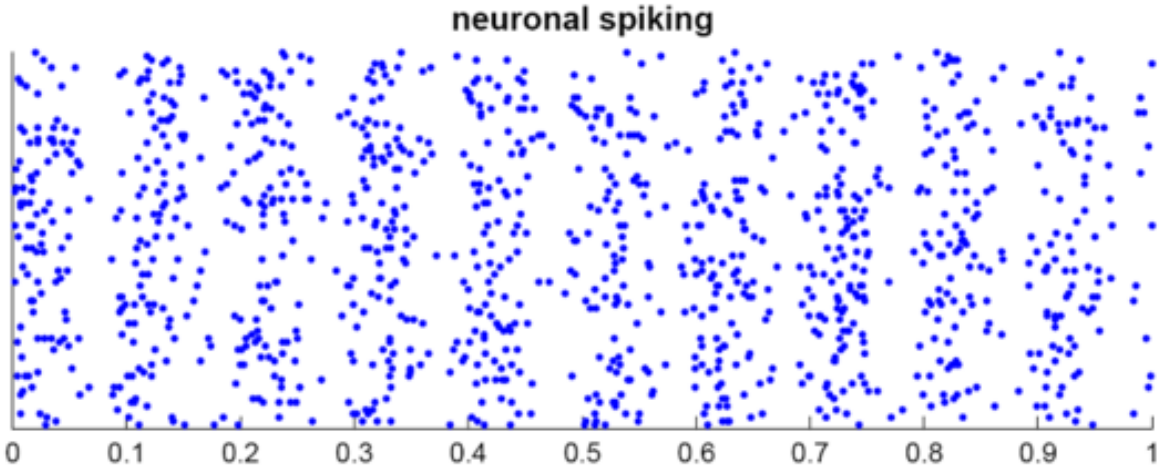
1909 - Korbinian Brodmann (neurologue allemand) établit une carte des aires du cerveau, en donnant un numéro différent à chaque aire. Cette numérotation est encore une référence aujourd'hui

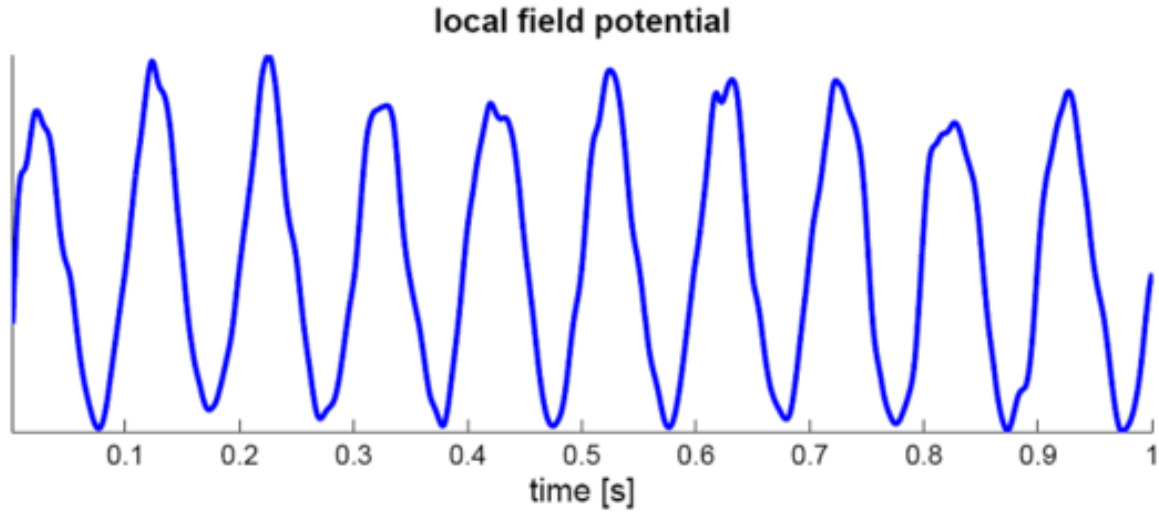
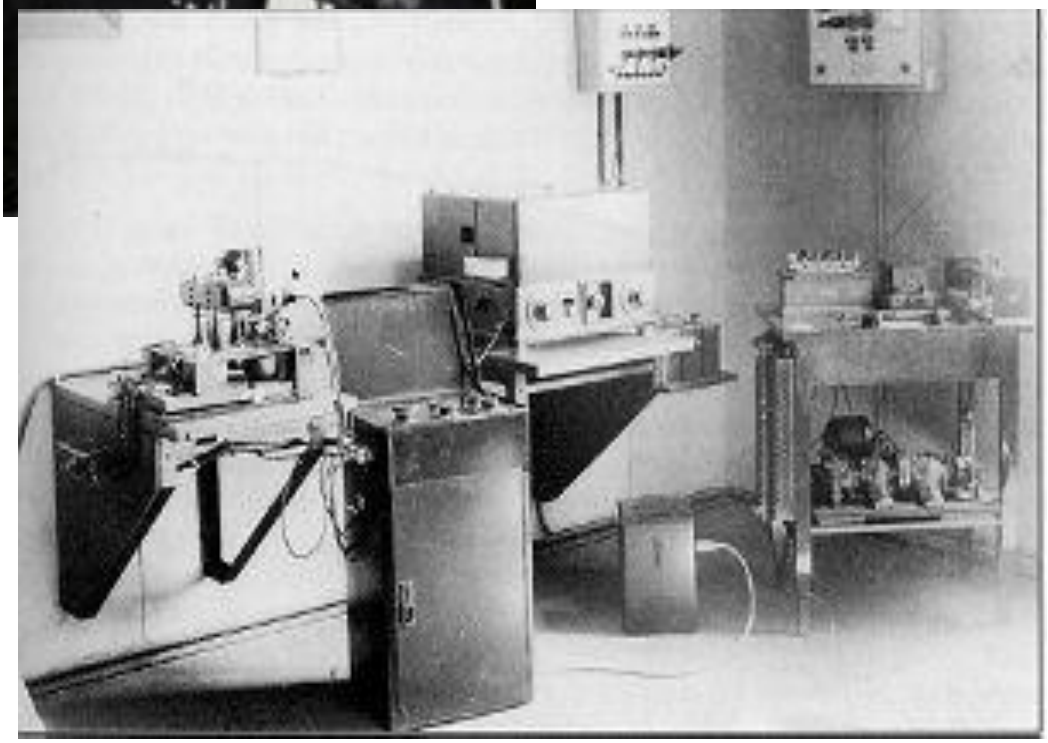




Hans Berger 1873-1941


PM
(mV)
+ 40
0
- 60
Dépolarisation
Repolarisation
Temps de
latence
Post-hyperpolarisation
Stimulation
0
1
2
3
Temps (ms)


neuronal spiking
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1


local field potential
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
time [s]

Le début de l'électroencéphalographie moderne chez l'homme débute avec Berger