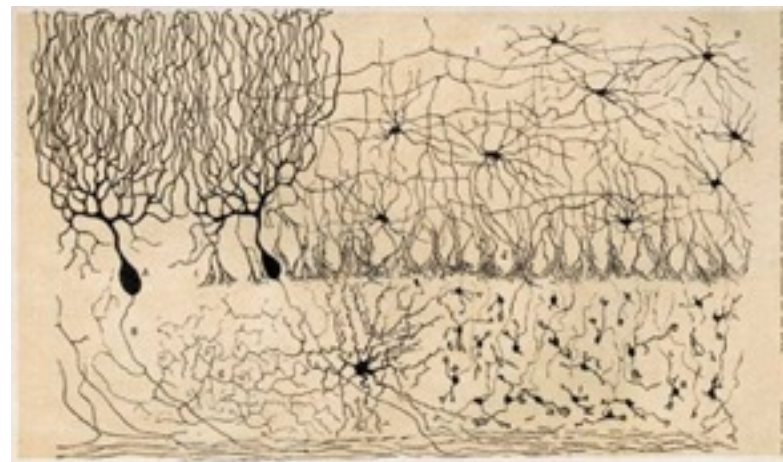


# Introduction aux Neurosciences Computationnelles

Neurosciences computationnelles:  
un ensemble d'approches qui visent à développer une  
compréhension mécanique du fonctionnement du cerveau

- » Quelques observations de psychologie
- effectuer des actions
  - former des représentations du monde extérieur
  - apprendre
  - différents états de fonctionnement du cerveau
- » Question générale à laquelle on tente de répondre:  
comment ces fonctions **émergent** du **substrat biologique** ?

Vidéo vue d'artiste  
neurones  
qui communiquent

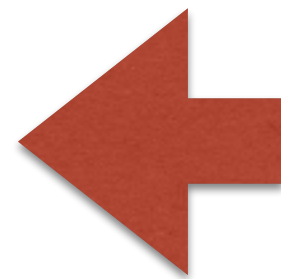


Vidéo  
MEA rétine

# A propos du concept d'émergence

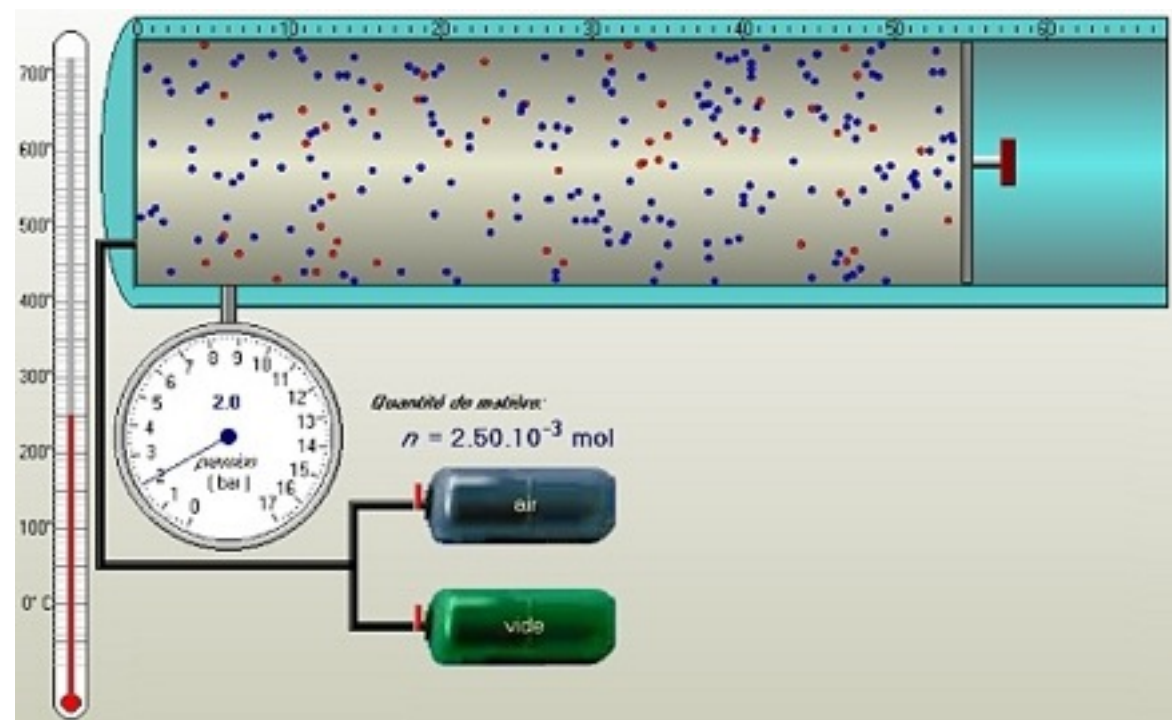
» Un exemple: l'étude des gaz

Niveau **macroscopique**  
Le gaz est décrit par une relation entre un ensemble de variables macroscopiques (P,V,n,T)













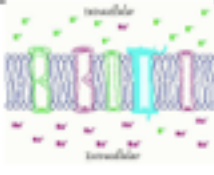

Mécanique statistique

Niveau **microscopique**  
Le gaz est décrit comme un ensemble de molécules/atomes, chacun étant décrit par une loi



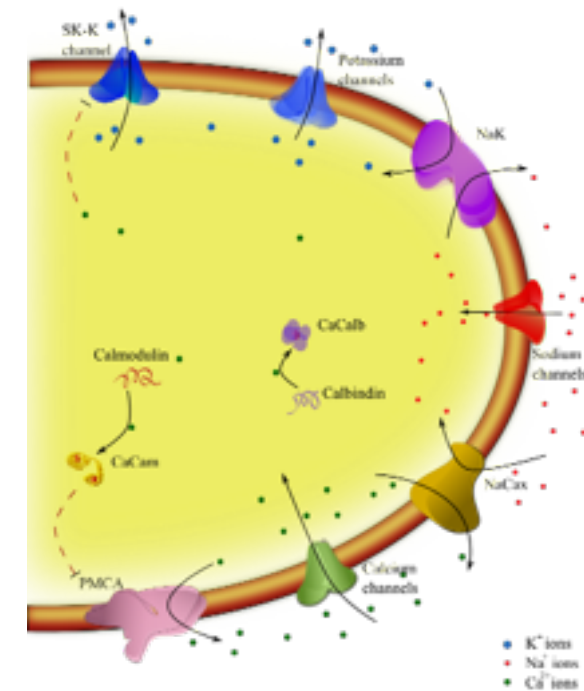
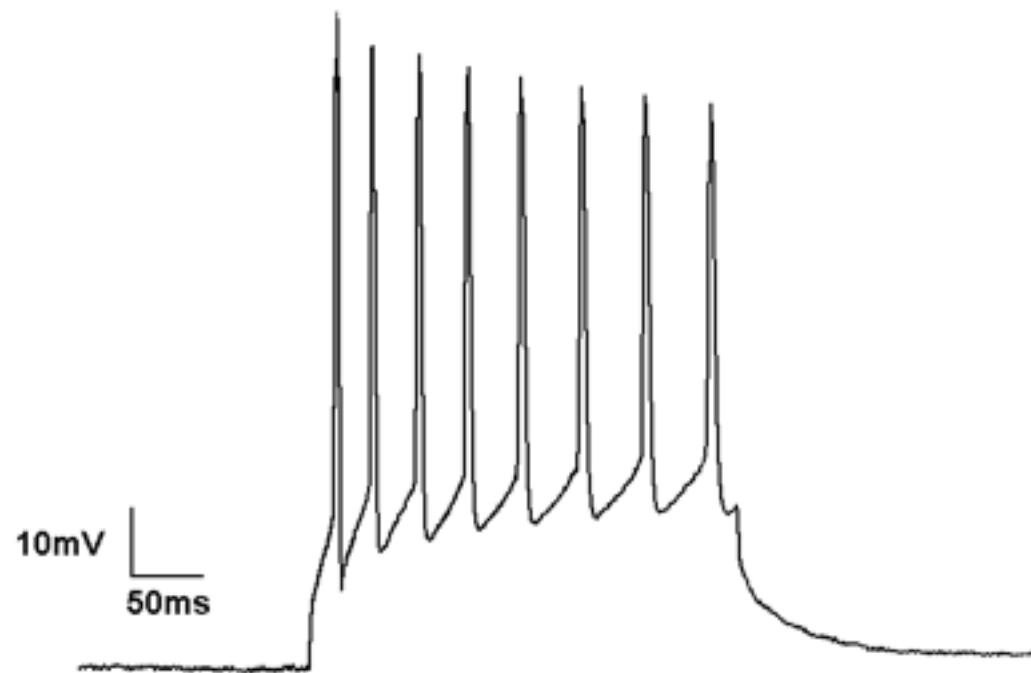
# A propos du substrat biologique

» Un système **multi-échelles**:

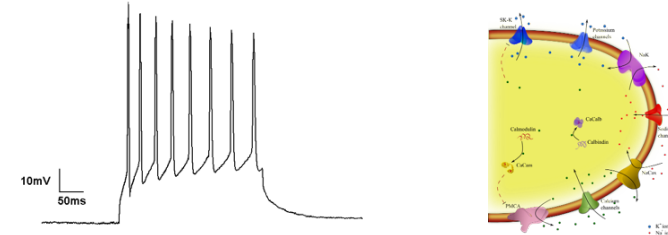
~10cm	Whole brain		
~1cm	Brain structure/cortical areas		
100μm- 1mm	Local network/'column'/'module'		
10μm- 1mm	Neuron		
100nm- 1μm	Sub-cellular compartments		
~10nm	Channel, receptor, intracellular protein		

# Exemple: le modèle de Hodgkin-Huxley

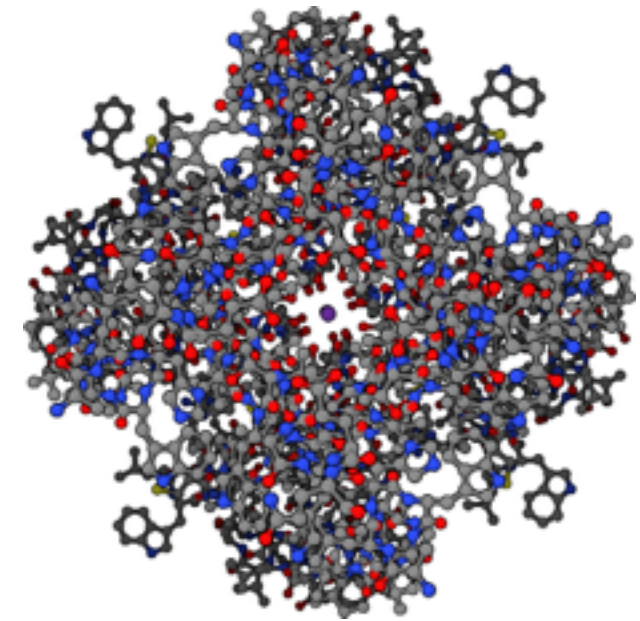
- » Contribution du modèle (1952): reproduit quantitativement la **génération de P.A.** par un neurone et ses **canaux ioniques**



# Exemple: le modèle de Hodgkin-Huxley



- » Canaux ioniques (objets microscopique):
  - 50,000 par neurones
  - **protéines** à deux conformations (**ouverte** ou **fermée**)
  - état de la protéine est déterminée de manière **probabiliste**, en fonction de la **différence de potentiel** électrique entre l'intérieur et l'extérieur du neurone.

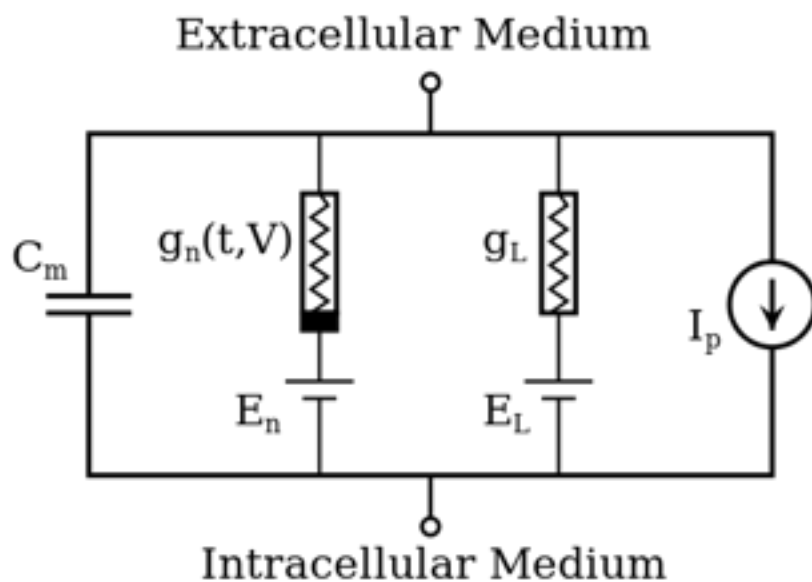


- » Idée: on décrit les canaux ioniques par des variables **macroscopiques**



# Exemple: le modèle de Hodgkin-Huxley

- » Modélise le neurone comme un circuit électrique, où les **canaux ioniques** sont des **conductances**



$$I = C_m \frac{dV_m}{dt} + \bar{g}_K n^4 (V_m - V_K) + \bar{g}_{Na} m^3 h (V_m - V_{Na}) + \bar{g}_l (V_m - V_l)$$

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n(V_m)(1 - n) - \beta_n(V_m)n$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(V_m)(1 - m) - \beta_m(V_m)m$$

$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h(V_m)(1 - h) - \beta_h(V_m)h$$

} Variables  
macroscopiques  
résumant le  
fonctionnement des  
canaux ioniques

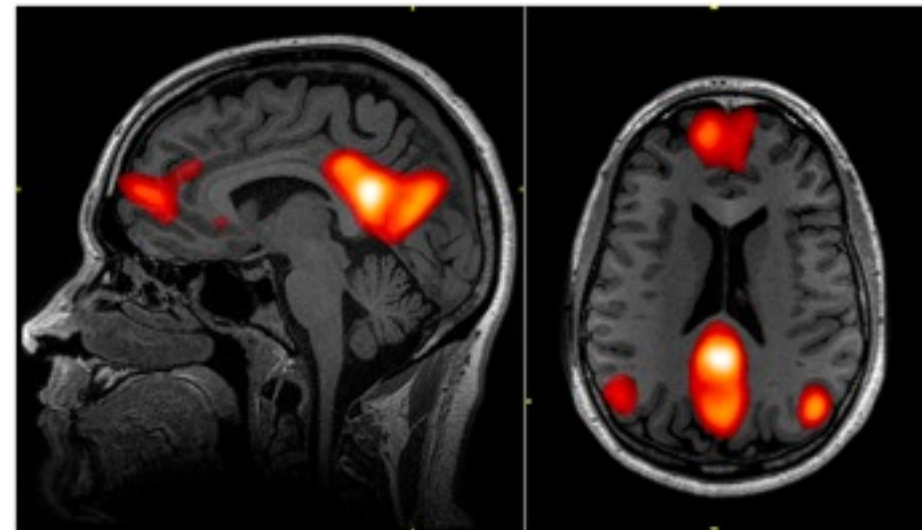


# D'autres questions sur le substrat biologique

- » comprendre la biophysique des règles de plasticité **synaptique**
- » comprendre les comportements oscillant de **réseau de neurone**
- » etc.

# Du substrat biologique à la psychologie ?

- » exemple: enregistrer l'activité cérébrale d'un humain qui accomplit une tâche cognitive avec l'**IRM fonctionnelle**



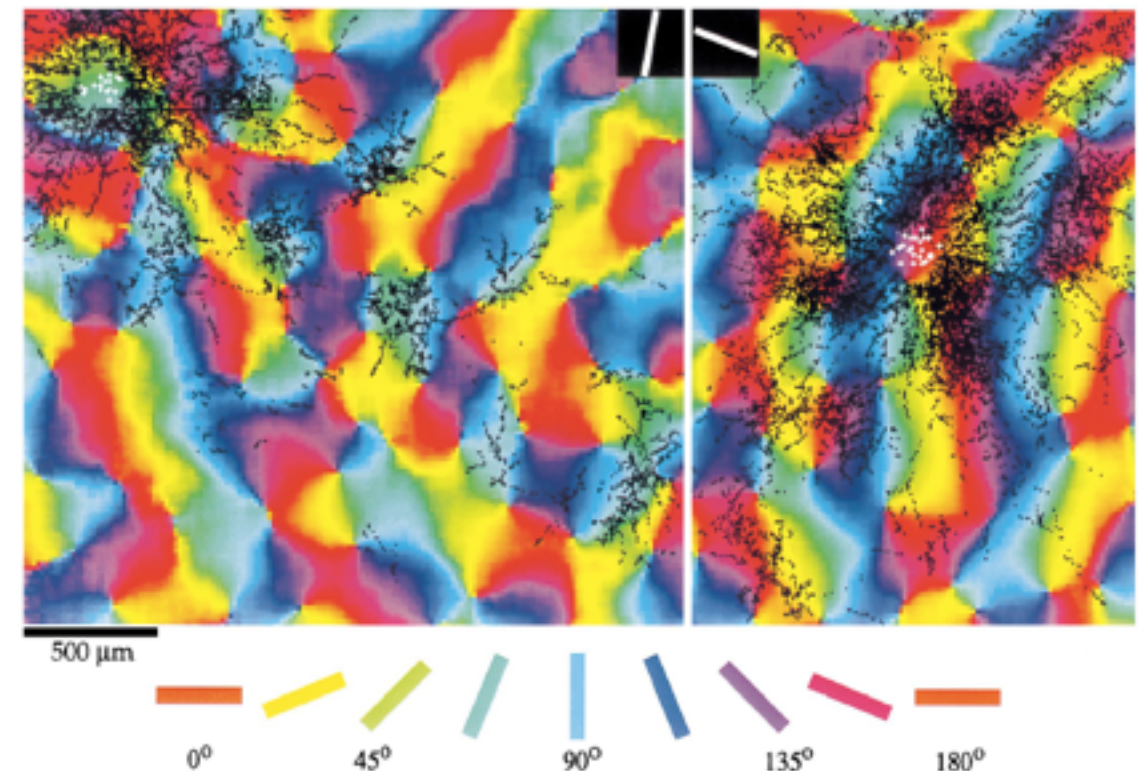
- » Pb: enregistre le taux d'oxygène dans le sang  
=> **mauvaise résolution** d'enregistrement.

# Du substrat biologique à la psychologie ?

» Les expériences d'Hubel et Wiesel (1959):  
comment les stimuli visuels sont représentés par le cerveau ?

» Organisation spatiale des représentations sensorielles:

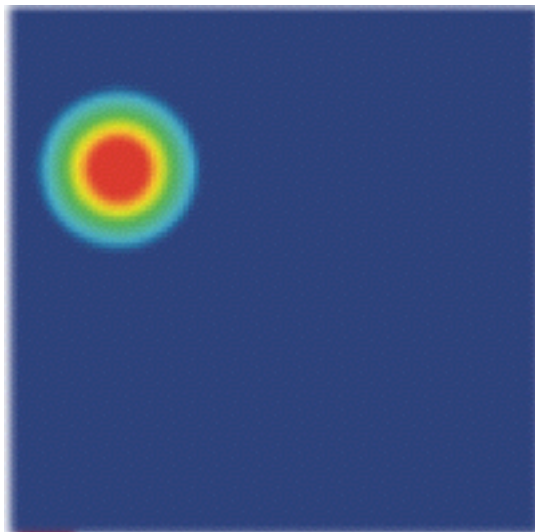
» Concept de **champ récepteur** pour un neurone:  
l'ensemble des stimuli qui activent ce neurone



# Du substrat biologique à la psychologie ?

» Représentation de l'espace:

**Cellule de lieu (1971)**



# Du substrat biologique à la psychologie ?

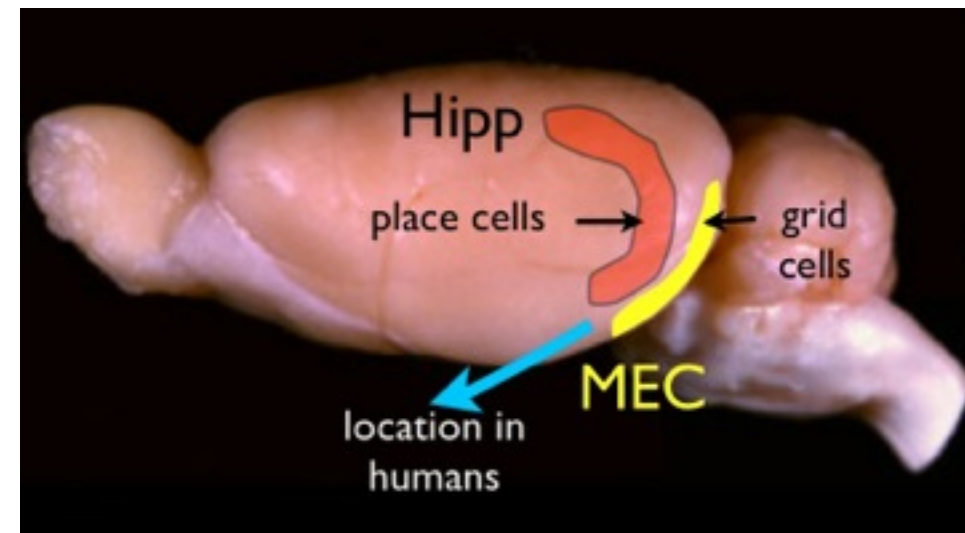
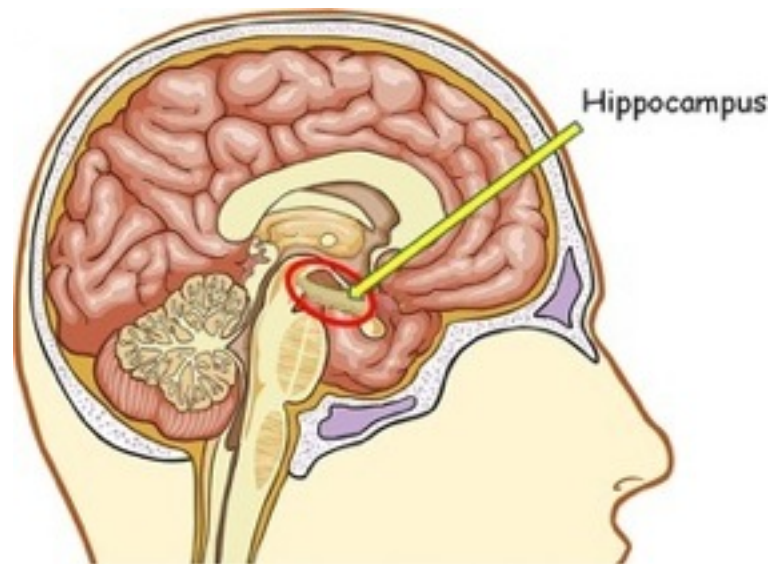
» **Représentation de l'espace:**

**Cellule de grille** (2005)

# Du substrat biologique à la psychologie ?

## » Représentation de l'espace:

Structure cérébrale impliquée: l'hippocampe





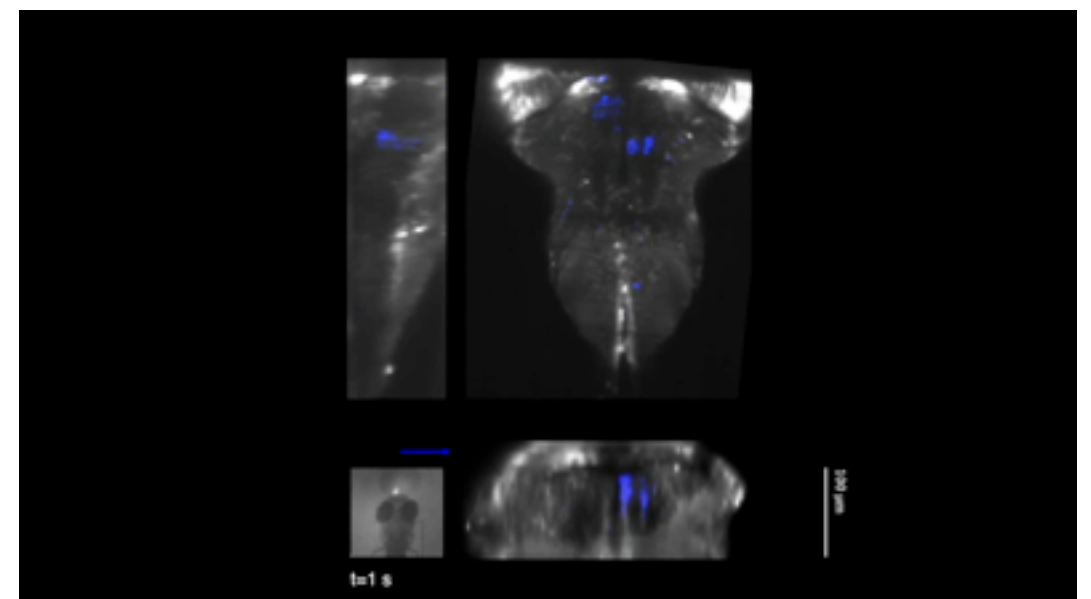
# Du substrat biologique à la psychologie ?

- » Compromis entre complexité de la tâche cognitive et la capacité à enregistrer l'activité cérébrale avec une précision suffisante



# Du substrat biologique à la psychologie ?

- » Des techniques expérimentales de plus en plus sophistiquées
- enregistrements à grande échelle (à haute résolution spatiale)
- réalité virtuelle
- stimulation neuronale
- etc



# Du substrat biologique à la psychologie ?

- » Divers sous-domaines d'étude:
  - représentations sensorielles
  - motricité
  - navigation spatiale
  - prise de décision
  - mémoire
  - apprentissage
  - etc

# Méthodologie en Neurosciences computationnelles

Démarches:

- » Les expérimentateurs collectent des observables qu'il s'agit de pouvoir reproduire, de manière quantitative, avec un modèle.
- » Développer des outils d'analyse des données expérimentales

# Méthodologie en Neurosciences computationnelles

Le choix des modèles: compromis entre la complexité du modèle et la facilité avec laquelle il peut être étudié.

simuler le comportement du  
cerveau entier à partir de modèles  
ultra-détaillés

**ou**

simplifier le substrat biologique  
pour définir un modèle pour lequel  
les observables puissent être  
calculées analytiquement

# Méthodologie en Neurosciences computationnelles

La boîte à outils:

- théorie des systèmes dynamiques/équations différentielles
- théorie de l'information
- mécanique statistique
- processus stochastiques
- probabilités
- simulations numériques (optimisation de code, développement de hardware spécifique)
- etc

# Liste thématique des exercices:

- Neurones uniques
- Plasticité synaptique
- Classification et perceptron
- Modèle de mémoire
- Modèle de prise de décision

# Bibliographie:

Livres de cours:

- Introduction to theoretical neurobiology, Henri Tuckwell
- Introduction to theoretical neuroscience, Dayan et Abbott
- Introduction to the theory of neural computation, Hertz Krogh et Palmer

Livre de vulgarisation:

- L'homme neuronal, Jean-Pierre Changeux

Wikipedia et Scholarpedia Computational Neuroscience