

Bases neurales de la  
conscience et de  
l'esthétique

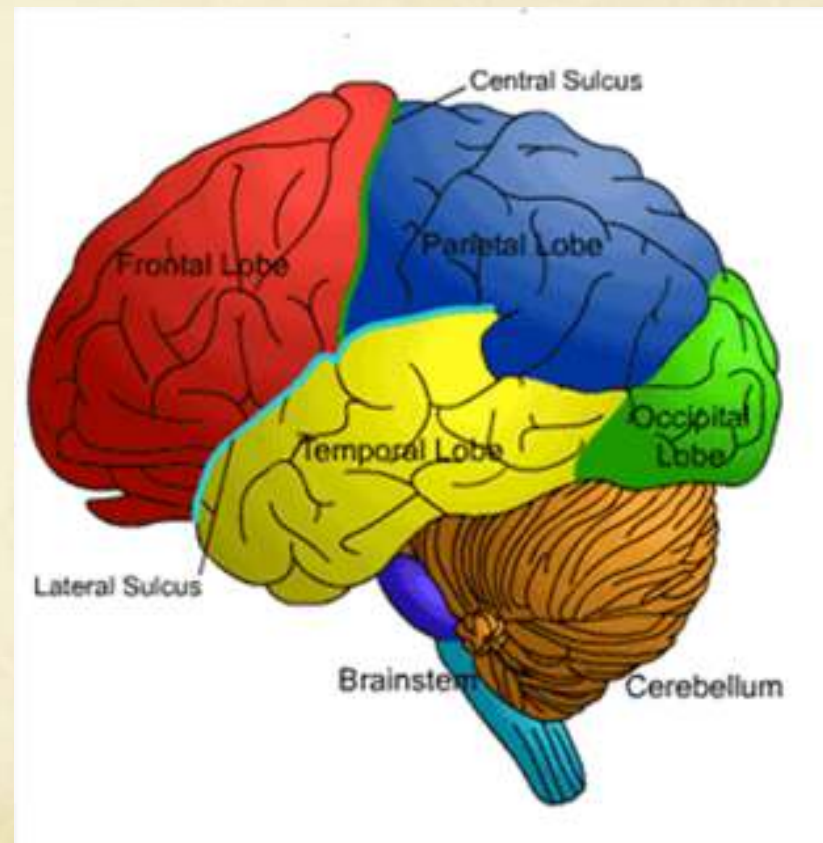
# Qu'est-ce-que la conscience ?

Multiples définitions

- ✓ Etymologiquement : *connaissance partagée*
- ✓ Pour les neurobiologistes, fonction qui se situe au **niveau le plus élevé de l'organisation des êtres vivants**
- ✓ Distinction entre **états de conscience** (éveil, sommeil) et **contenu** de l'expérience consciente (subjectif)

# Expansion du cortex cérébral chez l'espèce humaine, en particulier du lobe frontal

*« The dawn of higher consciousness coincides with the apparition of the frontal lobes in the evolution of the brain »  
(Luigi Bianchi, 1921)*



# Résultat de multiples histoires évolutives

Processus de sélection de synapses

*« To think is to make selections. »  
(William James)*

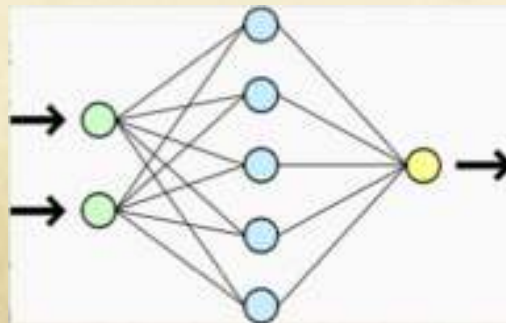




# Enjeu :

## Construire un modèle

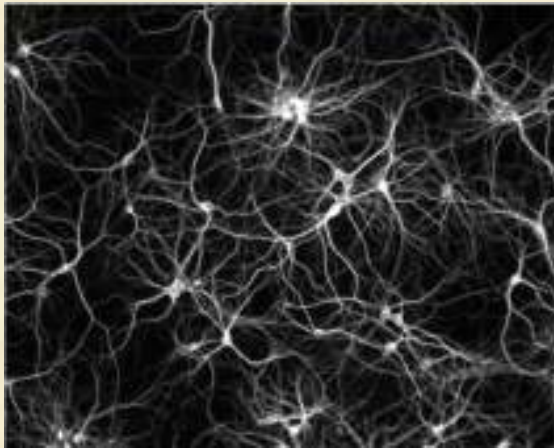
- ✓ **formel** conduisant à des prédictions expérimentales
- ✓ qui fassent le lien entre les **données moléculaires, neuronales, comportementales**
- ✓ sur la base d'une architecture **minimale mais réaliste**



*Vision simplifiée d'un réseau de neurones*

# Thèse générale du modèle

- ✓ Propriété d'**auto-organisation**(plusieurs niveaux d'organisation : molécule, neurone, réseau, réseau de réseaux)



*Neurones d'hippocampe de rat*

- ✓ Contribution des mécanismes de **variation et sélection**

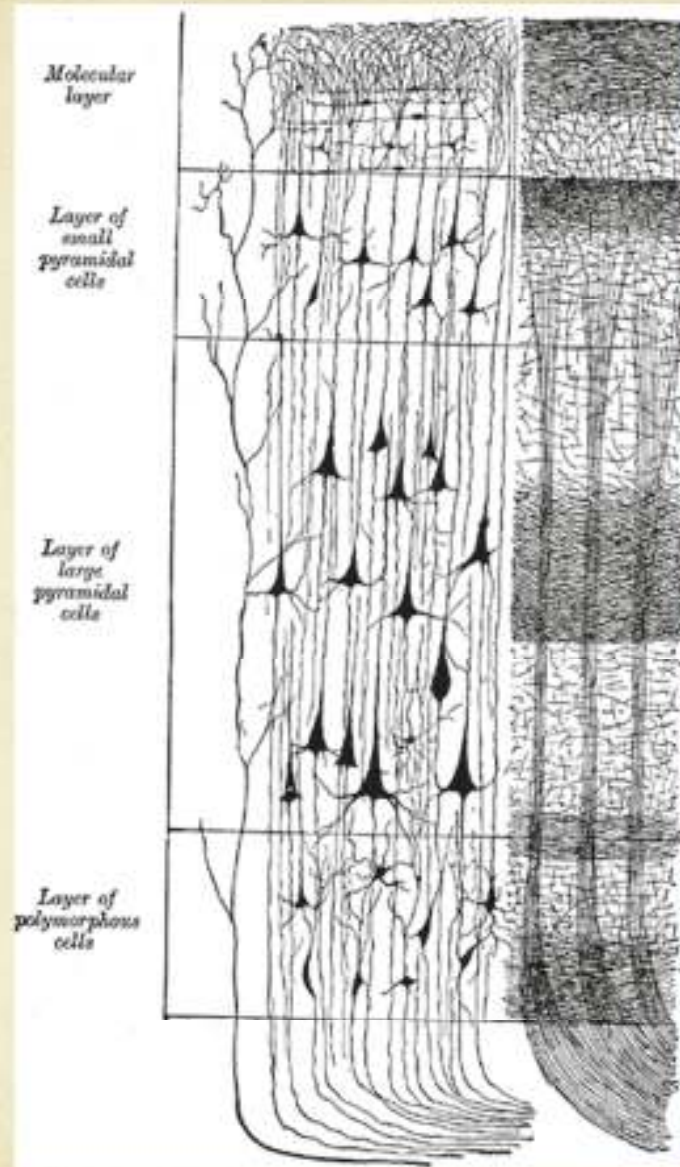
# Théorie de « l'espace de travail neuronal conscient »

*(Global Neuronal Workspace, Changeux, Dehaene, Kerszberg, 1998)*

Reprise de schémas antérieurs (Baars, 1988)

*Hypothèse anatomique originale :*

importance primordiale des **neurones à axones longs**, en particulier des couches II et III du cortex



*Organisation du néocortex humain*



# Peut-on modéliser la conscience?

## 1.38 The Neuronal Workspace Model: Conscious Processing and Learning

J.-P. Changeux, URACNRS 2182, Collège de France and Institut Pasteur, Paris, France

S. Dehaene, Collège de France, Paris, France, and INSERM-CEA Cognitive Neuroimaging Unit, Neurospin Center, Gif-sur-Yvette, France

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

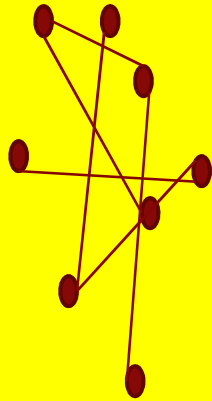
In Learning and Memory: A comprehensive reference  
Vol1: Learning theory and Behaviour

# PLAN

- I: Le modèle de l'espace de travail conscient
- II: Comment démontrer la « validité » d'un tel modèle  
Une organisation à deux niveaux
- III: Illustrations sur l'exemple de la stroop task

# Niveau local: Organisation en réseau

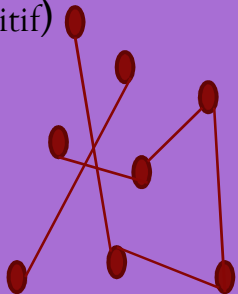
Zone traitant les informations visuelles (lobe occipital)



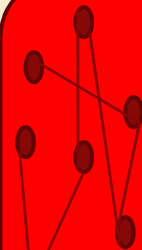
Zone de la mémoire (hippocampe)



Zone traitant les informations sensorielles de la main droite (cortex sensitif)



Zone contrôlant la prise de décision (cortex préfrontal)



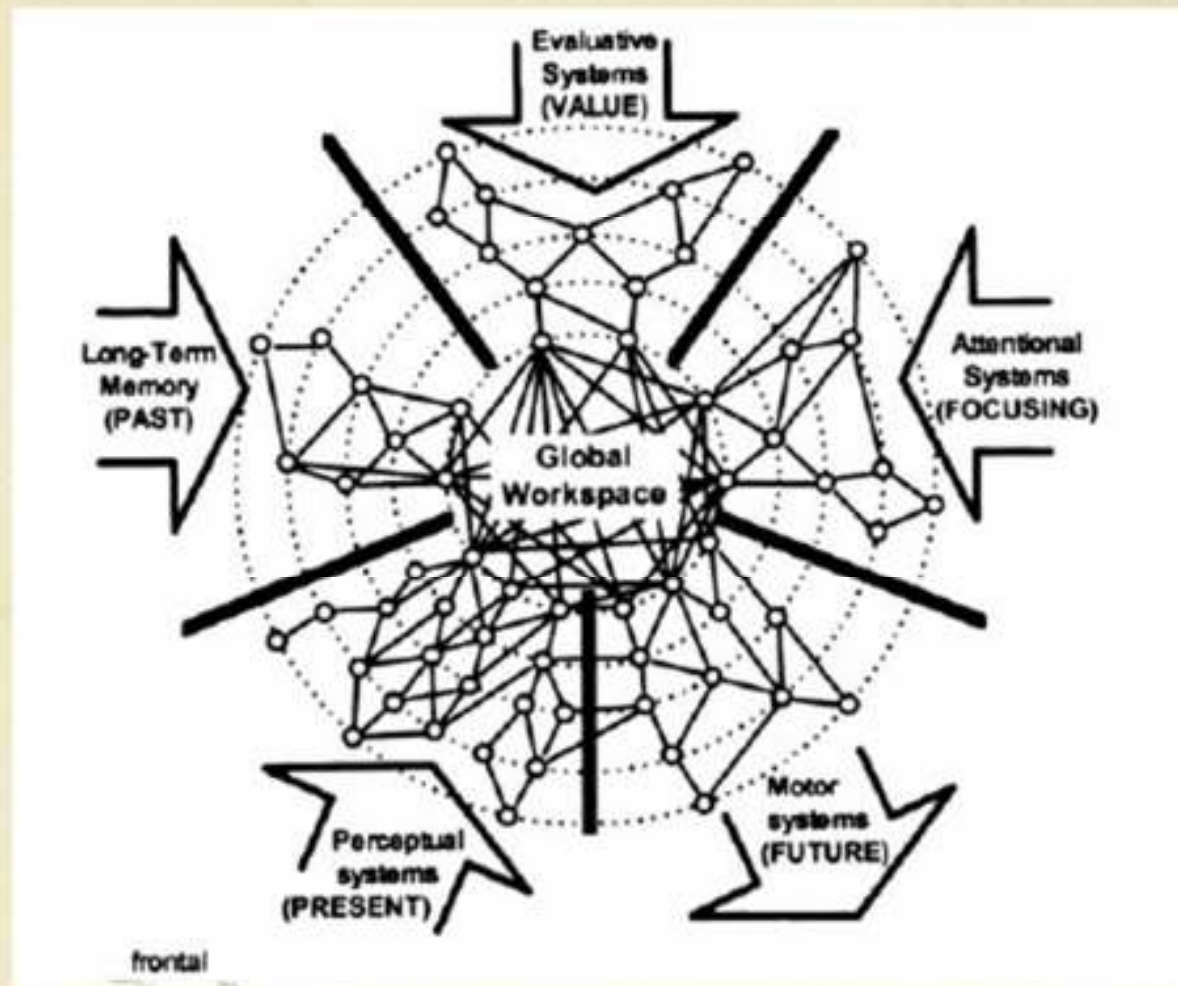
- Réseaux parallèles
- Réseaux spécialisés
- Localisation spatiale distinctes
- Liaisons locales
- Sollicite uniquement l'information nécessaire à sa fonction

## L'espace de travail conscient: Un réseau global

- Collège des neurones pyramidaux
- Peuplent toutes les zones du cortex
- Capacité à communiquer:
  - entre eux à longue distance
  - avec les neurones spécialisés proches à courte distance (rétroaction)

Ils organisent la montée et descente d'information





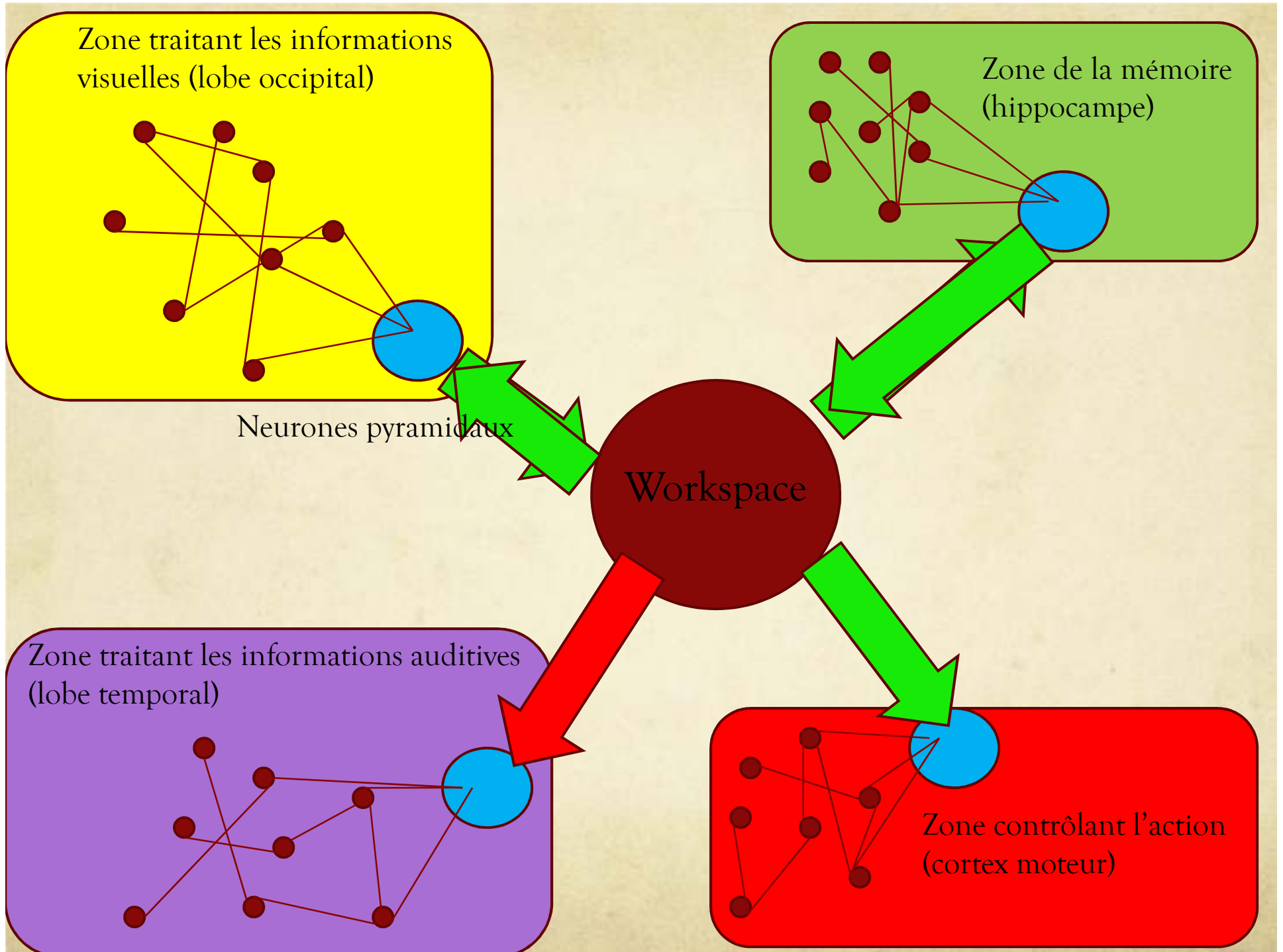
## Représentation de l'espace global de travail conscient

D'après Dehaene et al. (1998) A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks.  
*Proc.Natl.Acad.Sci. USA 95: 14529-14534; used without permission.*

# Accéder à la conscience

- Processus d'ignition: organisation d'un « dialogue » entre les deux niveaux.
- Dépend de la force du stimulus
- L'espace de travail peut favoriser ou inhiber l'accès d'un réseau inférieur particulier.

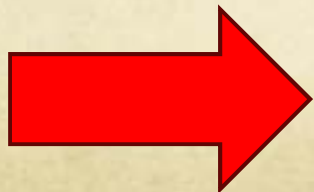
L'espace de travail ne peut faire qu'une chose à la fois



# Variation d'activité de l'espace de travail

L'espace de travail est plus ou moins sollicité selon les périodes et les tâches à réaliser

Bas degré d'activité	Haut degré d'activité
Sommeil	Eveil
Tâches routinières	Tâches nouvelles
Tâches simples	Tâches complexes
Erreurs rares	Erreurs répétées



Concept de Vigilance

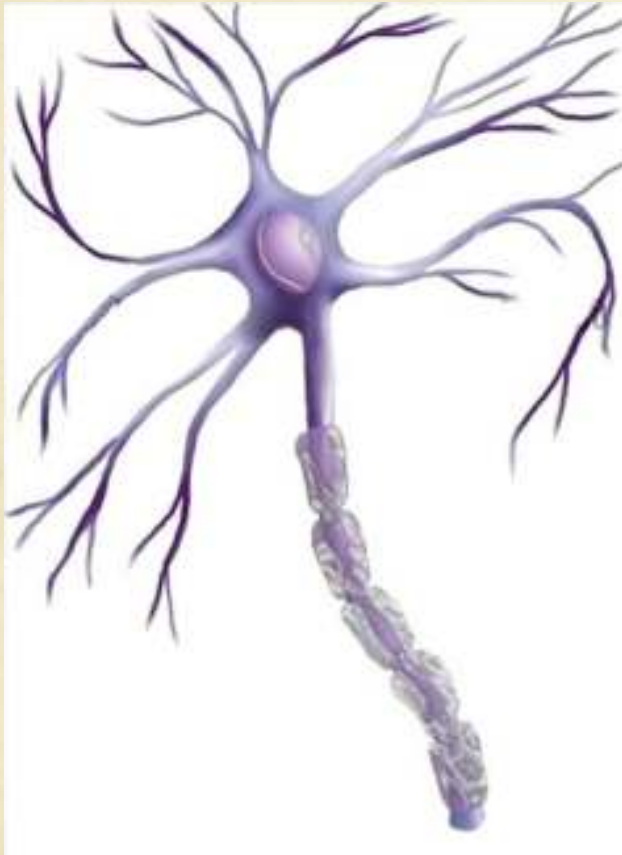


# Comment appuyer concrètement ce modèle?

- Le modèle prédit:
  - Résultat en Electroencéphalographie:  
Enregistrement d'un neurone
  - IRMf: Localisation de l'activité cérébrale (zones) pour une tâche donnée.

Objectif: Jouer sur les variations d'activité du Workspace via la vigilance.

# Neurone isolé



- Equation différentielle du neurone connue.
- Dépend de l'activité spontanée
- Dépend du stimulus extérieur
- Seul manque le terme lié à l'interaction avec l'espace de travail conscient (paramètre)

# Résultats des simulations:

- Pour un stimulus (spontané+extérieur) suffisant, il existe une bifurcation du comportement du neurone
- Valeur seuil dépend de la valeur du paramètre.
  - Plus l'interaction avec le niveau supérieur est forte, plus la bifurcation arrive vite.
- Le nouveau comportement se traduit par une activité structurée oscillante environ à 40 Hz.

Résultat à tester.

# Observation globale

- On voudrait montrer que:
  - Activité d'une zone perceptive ~~↔~~ Conscience du stimulus
  - La conscience ne peut s'occuper que d'une tâche à la fois.
  - Il existe des zones dont l'activation est liée à une vigilance élevée (à la fois tâche nouvelle et tâche complexe) et inactives en cas de vigilance faible (sommeil, routine)
  - Ces zones sont connues pour contenir des neurones à long axone (communication à longue distance)



# Méthode d'analyse

- Conception de tâches sollicitant différemment la vigilance
- Enregistrement IRMf des sujets réalisant les tâches
- Rapport du sujet sur l'activité de sa conscience pendant la tâche.
- Comparaison des zones activées, de la vigilance attendue, du rapport du sujet.

**Un exemple: La Stroop Task**

# Une tache complexe: La Stroop Task

JAUNE

- Interférences dans le sens des mots
- Contre le lien naturel
- Erreurs si inattention

Rouge    Jaune    Vert    Bleu

Par des feedback négatifs, on va augmenter la vigilance et forcer l'activation de l'espace de travail conscient

# Petit Laius: Effet du feedback

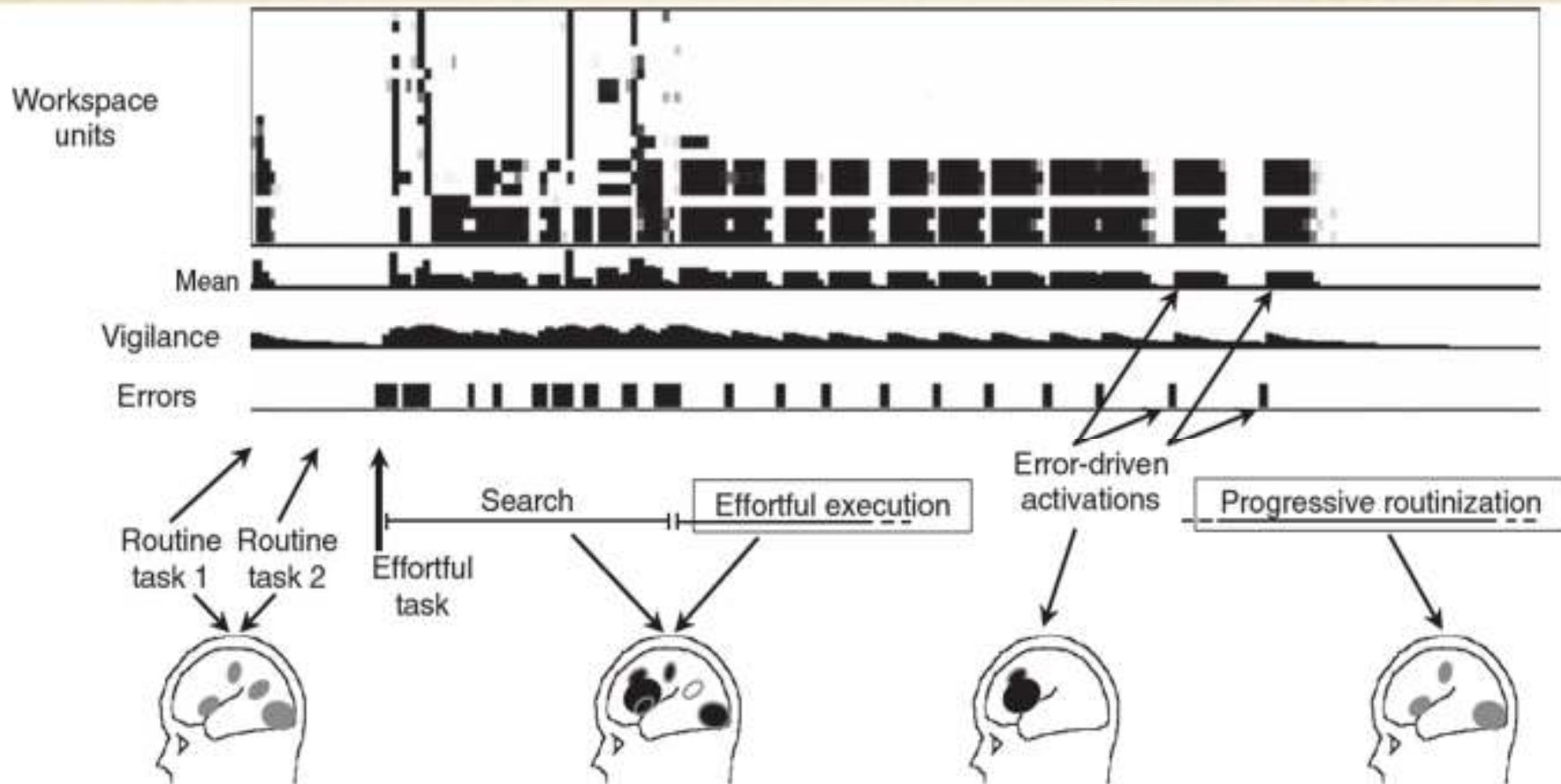
- On considère que si à une tache donnée le cerveau reçoit une « récompense »  $R$ 
  - Pour  $R=1$  sa vigilance diminue de 10%
  - Pour  $R=-1$ , l'écart à 1 de la vigilance se réduit de moitié
  - Via les règles de type Hebbian, on change les liens entre les neurones (renforcer ou atténuer les synapses qui ont répondu à la tâche)

# Stroop Task (II)

Nombre d'essais	Taux d'erreur	Vigilance
20	Nul	Très faible
30	Très haut	Maximale
50	Faible	Maximale
100	Faible	Variable
150	Nul	Très faible

- On endort la vigilance
- Série de feedback négatifs
- Activation du workspace
- Erreurs occasionnelles quand la vigilance diminue
- Devient routinier  
vigilance chute sans affecter les résultats





## Simulation of temporal dynamics of the Stroop task.

From Dehaene S, Kerszberg M, and Changeux JP (1998) A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proc.Natl.Acad.Sci. USA* 95: 14529-14534; used without permission.

# Conclusion

- Modèle: Résiste à de nombreuses expériences
- De plus en plus complet au cours du temps
- Ne prends pas encore en compte tout: La conscience de soi, la conscience de la conscience (métaconscience)
- Pourrait être relié à d'autres modèles expliquant d'autre phénomènes
  - Modèle de la prise de décision de E. Koechlin

# Problème :

Validité des modèles animaux dans l'étude des bases neurales de la conscience

« *There are several grades of consciousness.* » (Preyer 1894)

- ✓ Niveau minimum de conscience (souris, fœtus)
- ✓ Conscience basique (singe, nouveau-né)
- ✓ Conscience de soi explicite (chimpanzé, enfant de 2ans)
- ✓ Conscience réflexive (enfant entre 3 et 5 ans)

# Importance des systèmes cholinergiques dans l'accès à la conscience

1970 :

Isolement du **récepteur nicotinique** de l'acétylcholine à partir de l'organe électrique de gymnote, **premier récepteur membranaire à être isolé.**

1980-1990 :

Déchiffrage des structures tertiaire et quaternaire.

Au cours des années 1990 :

Etude du rôle physiologique de ce récepteur à la **jonction neuromusculaire** puis dans le **cerveau**, notamment en relation avec la **dépendance à la nicotine.**

I) Expérimentations sur des récepteurs et neurotransmetteurs

II) La souris comme modèle



## Acetylcholine et neurones cholinergiques

Projections à travers tout le cerveau

Prosencéphale basal, responsable des MOR et de l'attention

Noyau tegmental lateral dorsal, contrôle du sommeil

Interviennent dans la régulation des signaux entre parties du cerveau

## Domaine d'étude : 2 récepteurs principaux

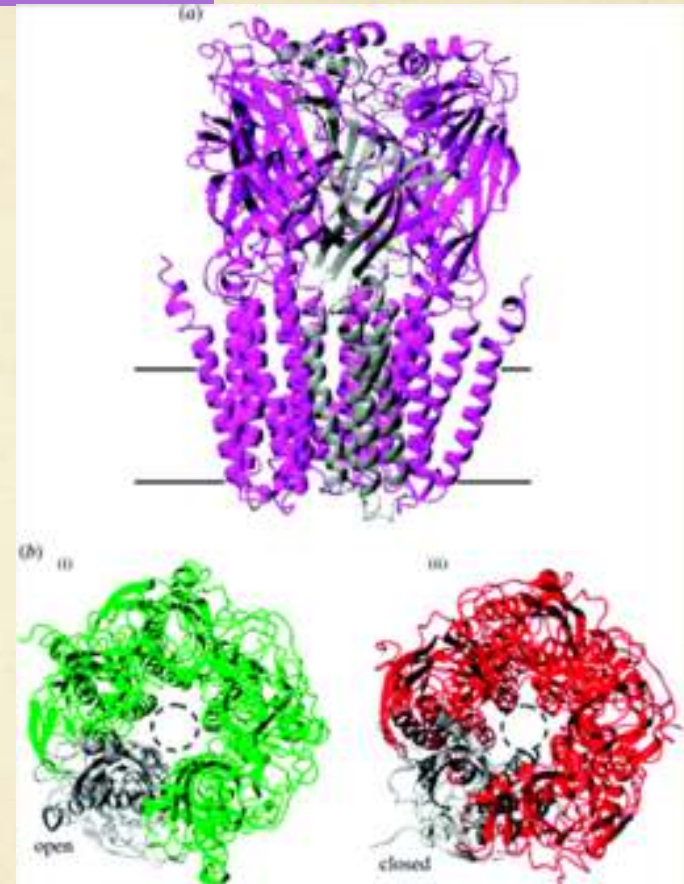
Muscarinique :

Mémoire de travail

Attention visuelle

Acetylcholine nicotinique:

Réveil, anesthésie, MOR

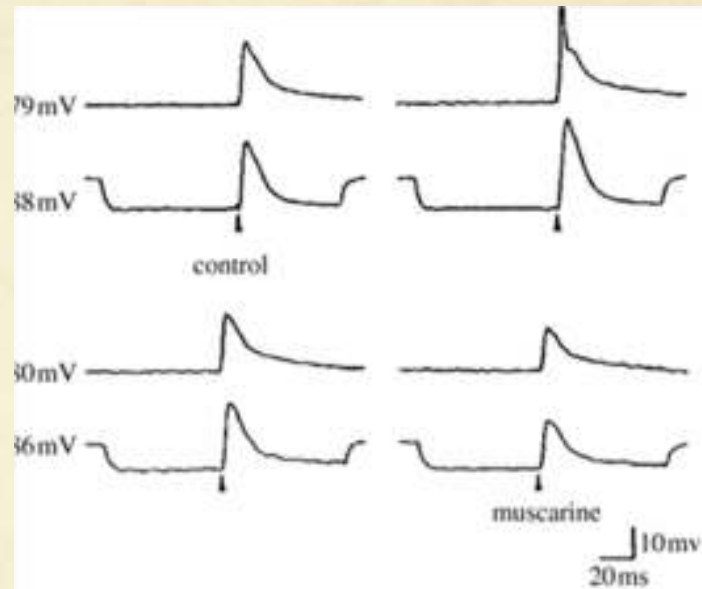


Rôle stimulant  
de la nicotine

Présents dans  
tout le  
cerveau

Augmente les  
signaux de  
régulations,  
inhibiteurs et  
excitateurs

Contrôlent l'accès  
à l'espace de travail



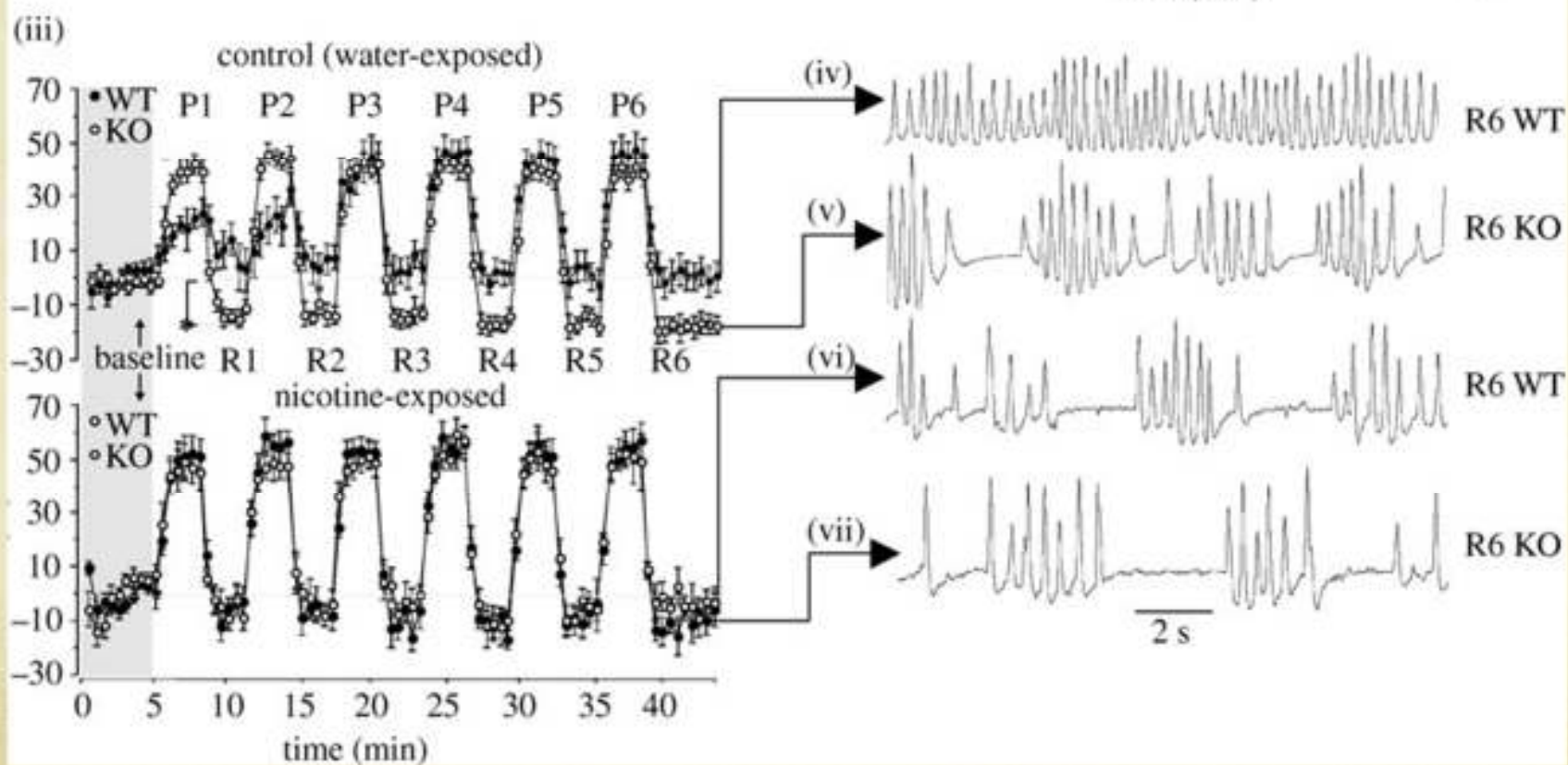
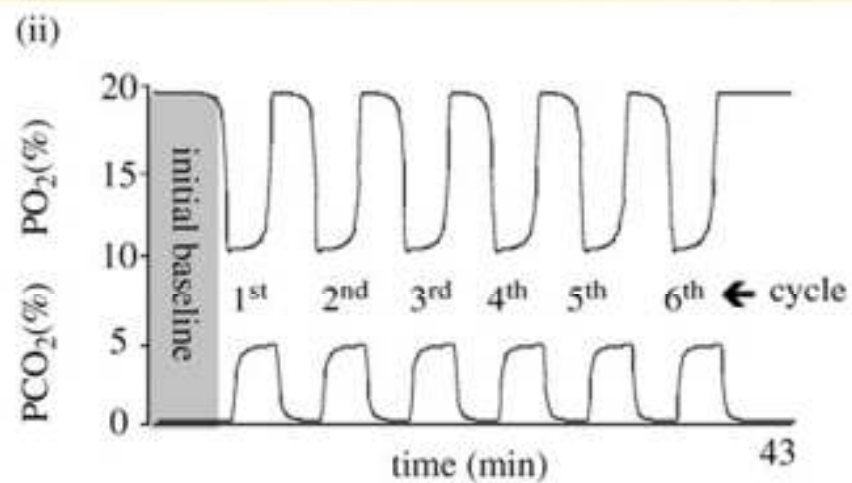
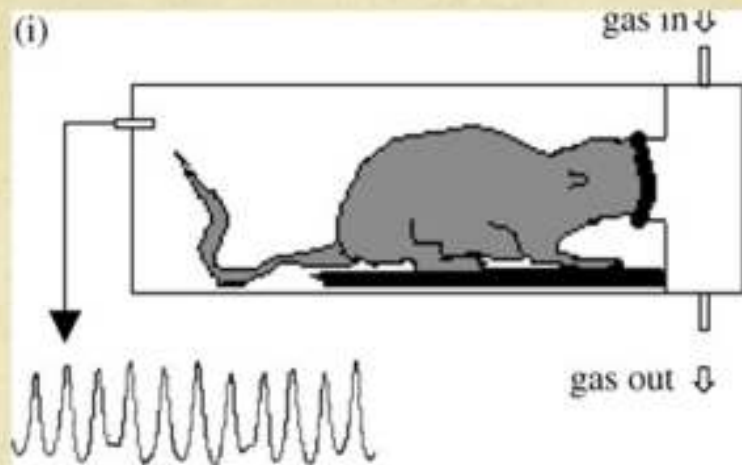
## Travail sur des souris

Souris  $\beta 2^{-/-}$  : pas de récepteurs  
nicotiniques

Exposition à la nicotine :

	Avec nicotine	Sans nicotine
WT	État éveillé plus long	normal
$\beta 2^{-/-}$	normal	Moins de micro réveils

Impliqués dans les processus de réveil





## Récepteurs nicotiques et conscience

Matching to sample retardé et non matching to sample

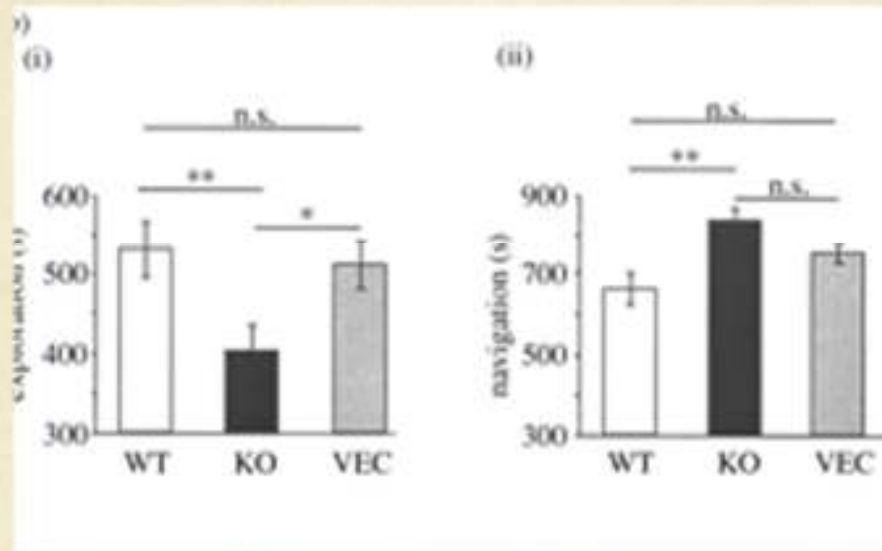
Lésions au cortex préfrontal

Bungarotoxine diminue les résultats pour les MTS, pas pour les NMTS

Un inhibiteur muscarinique diminue dans tous les cas la performance

Récepteurs nécessaires aux tâches retardées

Implication dans la conscience : test d'exploration



Flexibilité : exploration

Vitesses de déplacement

Objet nouveau

$\beta 2^{-/-}$  plus rigides,

Comportements sociaux : plus d'approches et moins de fuites chez  $\beta 2^{-/-}$

Lien avec l'autisme : réduction de l'activité préfrontale

# Récupération

Insertion par  
lentivirus

Récupération de caractéristiques connues  
perdues chez les  $\beta 2^{-/-}$  : fréquence des  
impulsions...

## Récompense

WT s'administrent la nicotine

KO ne sont pas sensibles

Les souris injectées retrouvent le comportement

Nécessaire et suffisant pour la sensibilité à la nicotine comme récompense

Même phénomène pour l'exploration



## La souris : un bon modèle?

Problème de définition de la conscience

Permet l'utilisation de techniques variées

Exploration : lié à la conscience

Relations sociales : pas de comparaison soi/autres, pas d'imitation

# Neuroesthétique

*« Voir, c'est déjà une opération créatrice qui demande un effort ». (Matisse)*

Une synthèse consciente se produit lors de la contemplation d'une œuvre d'art.



Sélection darwinienne



*Naisance de Jupiter, Bon Boullogne*

- ✓ Nouvelle conception unifiée des savoirs humains, comme résultats de processus évolutifs
- ✓ Art = forme de communication intersubjective qui renforce le lien social



**Contribution à l'émergence d'une nouvelle éthique mondiale**



# ART et NEUROSCIENCES

Jean Pierre Changeux - Institut Pasteur

LEONARDO, Vol. 27, No. 3, pp. 189-201, 1994

# PLAN

- Processus évolutifs et observation d'une œuvre d'art
- Processus évolutifs et création artistique
- Le plaisir esthétique et le rôle de l'art



## Processus évolutifs et observation d'une œuvre d'art

### ○ Différentes étapes de l'observation

- Perception sensorielle
- Analyse passive des données
- Reconnaissance
- Synthèse active
- Stockage dans la mémoire à long terme

## Processus évolutifs et observation d'une œuvre d'art

### ○ Processus évolutifs

- Réutilisation sélective des représentations mentales : processus de multiplication / réplique
- Système générateur de diversité, avec combinaisons transitoires et spontanées de neurones
- Composante aléatoire à la fois dans stockage et reconstruction des informations stockées, variabilité de leur reconstruction
- Stabilisation sélective de certaines combinaisons

## Processus évolutifs et création d'une œuvre d'art

### ○ Différentes étapes de la création

- Construction d'une « image fondamentale »
- Réalisation technique – maîtrise du geste
- Notion d'entités culturelles

## Processus évolutifs et création d'une œuvre d'art

### ○ Processus évolutifs

- Recombinaisons d'images mentales, à partir d'éléments pré-structurés, selon un vocabulaire stabilisé
- Sélection finale au regard des objectifs de l'artiste
- Travail du dessin primaire, puis application des couleurs, et à nouveau sélection motivée
- Evolution dynamique d'entités culturelles, à l'échelle des populations et des générations
- A cette nouvelle échelle, erreurs dans la transmission de memes, combinaisons aléatoires
- Naissance d'un courant après interactions entre une dynamique ouverte et des dynamiques fermées

## Le plaisir esthétique et le rôle de l'art

### ○ Plaisir esthétique

- Implique les fonctions les plus hautes dans la hiérarchie du cerveau : raison et faculté de simulation
- Lié à la capacité de l'observateur à identifier et comprendre l'organisation et le sens de l'œuvre : hypothèses émises et testées au cours d'un processus de quasi-reconstruction du travail de l'artiste



## ○ Prédispositions de l'homme pour l'art

- Puiser des représentations mentales dans un stock de memes non verbaux
- Repérer des invariants, et à maintenir la structure d'un univers stable
- Apprendre et mémoriser
- Produire une représentation propre du monde, et à anticiper l'évolution de ce modèle (hypothèses / simulations)

## Le plaisir esthétique et le rôle de l'art

### ○ Rôle et définition de l'art

- Art défini au travers du duo émetteur/récepteur, communiquant par le biais d'un vecteur (l'œuvre) et d'un code
- Double communication, intra-personnelle et interpersonnelle, qui appelle un accès à ses représentations mentales, subjectives et inconscientes
- Schiller : L'œuvre d'art « réconcilie les lois de la raison et l'intérêt des sens »
- Marcuse : « Derrière la forme esthétique, on trouve l'harmonie de la sensualité et de la raison »

*« Ce savoir doit favoriser la tolérance et le respect mutuel sur la base d'une reconnaissance d'autrui comme un autre soi-même appartenant à une même espèce sociale issue de l'évolution des espèces ».*

*(Changeux, Du Vrai, du Beau, du Bien.)*

La **neurophilosophie** recherche un dialogue fécond entre philosophie et neurosciences.

# Bibliographie

- ✓ Baars B (1989) *A cognitive theory of consciousness*.
- ✓ Changeux, J.-P. and Dehaene Stanislas (1989), *Neuronal models of cognitive functions*.
- ✓ Changeux, J.-P. (1994) *Art and neuroscience*.
- ✓ Changeux, J.-P. (2006), The Ferrier Lecture 1998: *The molecularbiology of consciousnessinvestigatedwithgeneticallymodifiedmice*.
- ✓ Changeux, J.-P. and Dehaene Stanislas (2008), *The neuronal workspace model: Consciousprocessing and learning*.
- ✓ Changeux, J.-P. (2008), *Du Vrai, du Beau, du Bien*. Odile Jacob.
- ✓ Crick FC and Koch C (2003) *A framework for consciousness*
- ✓ Emission Canal Académie : *Le cerveau : l'inconscient, le conscient et la créativité* avec Jean-Pierre Changeux et Jean-Claude Picard
- ✓ Koechlin E. (2007): *Prefrontal cortex and decision*.
- ✓ McCormick DA and Bal T (1997): *Sleep and arousal: Thalamocortical machanism*
- ✓ Racine Eric (2005), *Pourquoi et comment doit-on tenir compte des neurosciences en éthique ? : Esquisse d'une approche neurophilosophiqueémergentisteet interdisciplinaire*