

- La médecine et l'évolution  
Pourquoi sommes-nous encore malades ?
- Notre cerveau à tous les niveaux. 10 ans, 10 séances — saison 2
- Cafés philosophiques. 10 ans, 10 discussions — saison 2
- L'économie comportementale. Révéler l'irrationalité de l'économie orthodoxe
- Urgence climatique et transition sociale-environnementale. Partie 1 : La science du changement climatique
- Urgence climatique et transition sociale-environnementale. Partie 2 : La transition sociale et environnementale au Québec
- La BD, un art populaire
- Artistes au travail ! Observation du processus créatif d'artistes de la scène

**FÉVR.** 19 Notre cerveau à tous les niveaux. 10 ans, 10 séances — saison 2  
Les rythmes cérébraux : se synchroniser pour mieux régner  
*Mercredi, 19h, Café Les Oubliettes*

**FÉVR.** 24 Urgence climatique et transition sociale-environnementale. Partie 1 : La science du changement climatique  
Gouvernance climatique et environnementale au Canada  
*Lundi, 19h, Solon Collectif*

**FÉVR.** 25 Artistes au travail ! Observation du processus créatif d'artistes de la scène  
Alexandre Castonguay, Patrice Dubois et Soleil Launière  
*Mardi, 12h, Théâtre de Quat'Sous*

**FÉVR.** 25 La médecine et l'évolution Pourquoi sommes-nous encore malades ?  
La médecine évolutionniste, le normal et le pathologique  
*Mardi, 19h, Station Ho.st*

**FÉVR.** 26 Cafés philosophiques. 10 ans, 10 discussions — saison 2  
La décroissance et ses critiques  
*Mercredi, 19h, Café Les Oubliettes*

UPOP Montréal 10<sup>e</sup> ANNÉE | AUTOMNE 2019

ARME D'ÉMANCIPATION MASSIVE





# Notre cerveau à tous les niveaux

**10 séances pour 10 ans d'UPop !**  
Automne 2019 - Hiver 2020

Les **mercredis** aux deux semaines, 19h

Café **Les Oubliettes**, dès le 16 octobre

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- English

Recherche -> site + blogue

Google Re

## Principes fondamentaux

- Du simple au complexe**
  - Anatomie des niveaux d'organisation
  - Fonction des niveaux d'organisation
- Le bricolage de l'évolution**
  - Notre héritage évolutif
- Le développement de nos facultés**
  - De l'embryon à la morale
- Le plaisir et la douleur**
  - La quête du plaisir
  - Les paradis artificiels
  - L'évitement de la douleur
- Les détecteurs sensoriels**
  - La vision
- Le corps en mouvement**
  - Posture

## Fonctions complexes

- Au cœur de la mémoire**
  - Les traces de l'apprentissage
  - Dûbi et amnésie
- Que d'émotions**
  - Peur, anxiété et angoisse
  - Désir, amour, attachement
- De la pensée au langage**
  - Communiquer avec des mots
- Dormir, rêver...**
  - Le cycle éveil - sommeil - rêve
  - Nos horloges biologiques
- L'émergence de la conscience**
  - Le sentiment d'être soi

## Dysfonctions

- Les troubles de l'esprit**
  - Dépression et mélancolie-dépression
  - Les troubles anxieux
  - La démence de type Alzheimer

Nouveaux! "L'école des profs"

<http://lecerveau.mcgill.ca>

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil

Recherche -> blogue

Billets par catégorie

Abonnez-vous!

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

Deric Bownds' Mindblog

The Metamorphosis of the Western Soul

Shape of your heart is determined by whether you run or sit.

The default mode network represents esthetic appeal.

Cross-national negativity bias in reacting to news

An update on the science of 'free will'

BrainFacts.org Blog

RSS Error: WP HTTP Error: Connection

Lundi, 21 octobre 2019

### De la «poussière d'étoile» à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui



Le cours «Notre cerveau à tous les niveaux» donné dans le cadre de la 10<sup>e</sup> année d'existence de l'UPop Montréal a donc débuté mercredi dernier dans le café Les Oubliettes rempli à pleine capacité (arrivez tôt la prochaine fois pour avoir de bonnes places!). Comme je le ferai pour chaque séance, j'ai mis le pdf du Power Point de cette première présentation au bas de la page [L'école des profs de mon site](#) ou directement en suivant [ce lien](#). Pour le Facebook Live de cette première séance elle demeure disponible pour visionnement ici. Comme je l'ai expliqué dans un [billet antérieur](#) présentant la démarche générale du cours, je vais soulever aujourd'hui quelques questions générales qui seront abordées mercredi le 30 octobre lors de notre deuxième séance intitulée « De la «poussière d'étoile» à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui ».

On a vu la semaine dernière que devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que « nos sens peuvent nous tromper ». C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un « miroir »

Après nous avoir appuyés pendant plus de dix ans, des donateurs budgétaires ont décidé d'interrompre le financement de Le Cerveau à tous les niveaux le 31 mars 2013.

Malgré tous nos efforts (et malgré la reconnaissance de notre travail par les organismes approchés), nous ne sommes pas parvenus à trouver de nouvelles sources de financement. Nous nous voyons contraints de nous en remettre aux dons de nos lecteurs et lectrices pour continuer de mettre à jour et d'alimenter en contenu le blogue et le site.

Soyez assurés que nous faisons le maximum pour poursuivre notre mission de vulgarisation des neurosciences dans l'esprit premier d'internet, c'est-à-dire dans un souci de partage de l'information, gratuit et sans publicité.

En vous remerciant chaleureusement de votre soutien, qu'il soit moral ou monétaire,

Bruno Dubuc, Patrick Robert, Denis Paquet et Al Daigen

Faire un don

## LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

### Principes fondamentaux

#### Du simple au complexe

- Anatomie des niveaux d'organisation
- Fonction des niveaux d'organisation

#### Le bricolage de l'évolution

### Fonctions complexes

#### Au cœur de la mémoire

- Les traces de l'apprentissage
- Oubli et amnésie

#### Que d'émotions

# NOTRE CERVEAU A TOUS LES NIVEAUX. 10 ANS, 10 SEANCES — SAISON 1

## Présentation

Ce cours voudrait présenter comment les sciences cognitives conçoivent aujourd'hui le cerveau et le corps humain, ainsi que les phénomènes socioculturels qui en découlent. Vaste programme qui ne peut se réaliser qu'en adoptant une perspective évolutive sur l'émergence de ces systèmes dynamiques faits de multiples niveaux d'organisation. Du Big Bang au langage, de la perception à l'action et de l'apprentissage à la prédiction et à la prise de décision, nous verrons comment l'impératif de rester en vie et de donner du sens à cette vie se manifeste chez l'humain.

Aux 5 séances de l'automne résumées ci-contre s'ajouteront 5 autres séances à l'hiver :

6. Les rythmes cérébraux : se synchroniser pour mieux régner
7. Tout ce qui précède permet de simuler le monde pour décider quoi faire
8. Cerveau et corps ne font qu'un et sont constamment affectés par l'environnement
9. Conscient, inconscient et langage : quel est ce « je » qui se dit libre?
10. Morale de l'histoire : notre espèce a-t-elle de l'avenir ?

## Professeur-e(s)

**Bruno Dubuc**

Bruno Dubuc détient une maîtrise en neurobiologie et a fait de la vulgarisation scientifique pour des séries télé et des magazines pendant une dizaine d'années. Depuis 2002, il est rédacteur du site web et du blogue [www.lecerveau.mcgill.ca](http://www.lecerveau.mcgill.ca) ainsi que conférencier sur les neurosciences. Il aime aussi utiliser les régions associatives de son cerveau en collant ensemble des images et des sons pour faire ce qu'on appelle des films. Son dernier porte sur Henri Laborit, tout comme le site web qu'il lui a consacré au [www.slogedelasuite.net](http://www.slogedelasuite.net)

[www.upopmontreal.com](http://www.upopmontreal.com)

## Plan de session

Au café Les Oubliettes, 6201, rue De Saint-Vallier



### OCT 16 Le « connais-toi toi-même » de Socrate à l'heure des sciences cognitives

Mercredi, 19h, Café Les Oubliettes

Où l'on commencera par se demander ce qu'on entend par « connaître » ? Puis qu'est-ce qu'on peut connaître ? Et qu'est-ce que la science nous apporte en tant qu'outil particulier pour comprendre le monde ? Et quel est l'apport des sciences cognitives pour se connaître soi-même ? On en profitera aussi pour clarifier le sens de certains concepts plus spécifiquement employés dans les sciences cognitives comme celui de subjectivité, de représentation, de signification, d'information, de niveau d'organisation, système dynamique, etc.

Plan :

L'observateur observé, ou le cerveau humain qui tente de comprendre lui-même.

C'est compliqué parce que des atomes à la conscience, il y a de nombreux niveaux d'organisation spatiaux et temporels.

Face à cette complexité, la méthode scientifique nous aide.

De l'importance de la qualité de vulgariser tout ça.

[PDF du Power Point de cette séance.](#)

[Facebook Live de la séance.](#)

science of 'free will'

BrainFacts.org  
Blog

RSS Error. WP HTTP  
Error: Connection

séance elle demeure disponible pour visionnement en ligne comme le fait expliqué dans un [billet](#) antérieur présentant la démarche générale du cours, je vais soulever aujourd'hui quelques questions générales qui seront abordées mercredi le 30 octobre lors de notre deuxième séance intitulée « De la « poussière d'étoile » à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui ».

On a vu la semaine dernière que devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que « nos sens peuvent nous tromper ». C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un « miroir »

de votre environnement de votre soutien, qu'il soit moral ou monétaire,

Bruno Dubuc, Patrick Robert,  
Denis Paquet et Al Daigen

Faire un don

# Plan du cours

5 séances à l'automne  
5 séances à l'hiver

Séance 3 :  
**L'humain découvre la grammaire de base de son système nerveux**

Séance 2 :  
**De la « poussière d'étoile » à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui**

Séance 1 :  
**Le « connais-toi toi-même » de Socrate à l'heure des sciences cognitives**

Séance 4 :  
**Des circuits de millions de neurones : plaisir, douleur, apprentissage, mémoire**

Séance 6 :  
**Les rythmes cérébraux : se synchroniser pour mieux régner**

Séance 7 :  
**Tout ce qui précède permet de simuler le monde pour décider quoi faire**

Séance 5 :  
**Cartographier des réseaux de milliards de neurones à l'échelle du cerveau entier**

Séance 10 :  
**Morale de l'histoire : notre espèce a-t-elle de l'avenir ?**

Séance 9 :  
**Conscient, inconscient et langage : quel est ce « je » qui se dit libre ?**

Séance 8 :  
**Cerveau et corps ne font qu'un et sont constamment affectés par l'environnement**



Séance 1 :  
Le « connais-toi  
toi-même » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



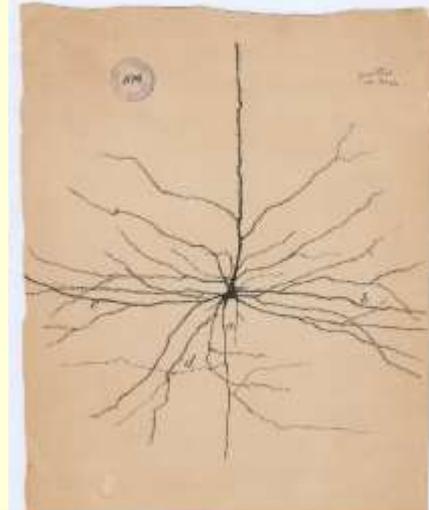
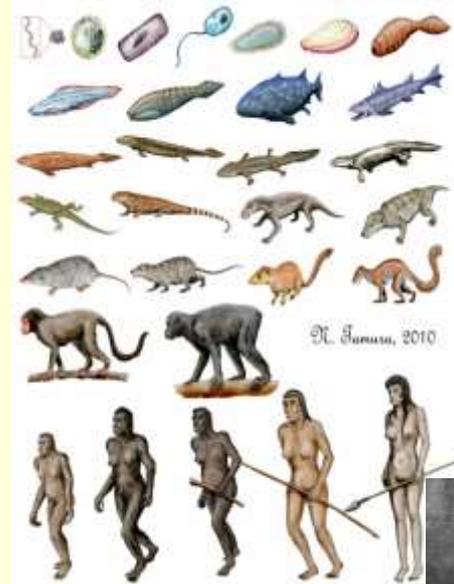
Séance 2 :  
De la « poussière  
d'étoile »  
à la vie : ces  
bizarreries qui  
font qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3:  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux

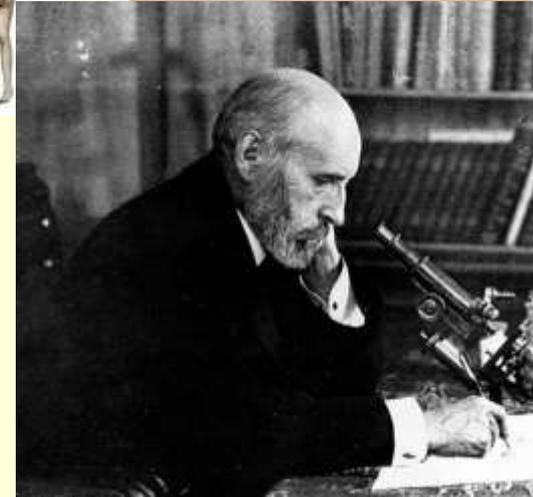
→ **la structure  
particulière de  
notre corps**  
(et en particulier  
de notre système  
nerveux)

détermine ce  
que l'on peut  
**connaître**



→ cette structure est le fruit  
d'une très **longue évolution**

Et il y a à peine plus d'un siècle...



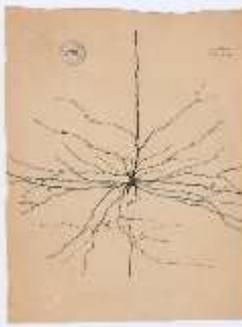
Séance 1  
Le « cor  
toi-mên  
Socrate  
des scie  
cognitiv



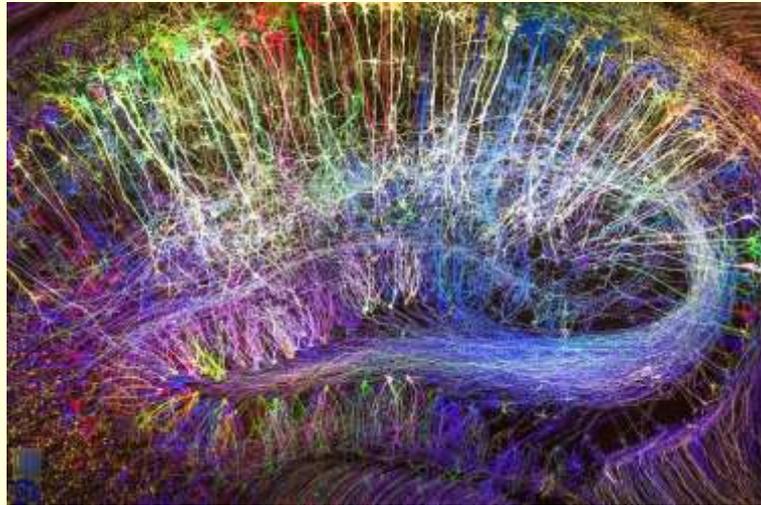
Séance 2  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3:  
L'hum  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux



→ la **connectivité particulière** de chaque structure cérébrale amène des capacités computationnelles distinctes qui ont été « **recyclées** » durant le bricolage de l'évolution



Séance 4 :  
Des circuits de millions de neurones : plaisir, douleur, apprentissage, mémoire

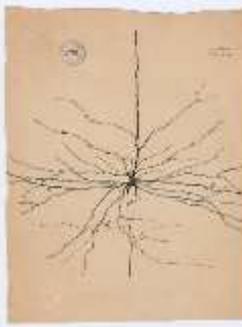
Séance 1 :  
Le « cor  
toi-mêm  
Socrate  
des scie  
cognitiv



Séance 2 :  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'huma  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux

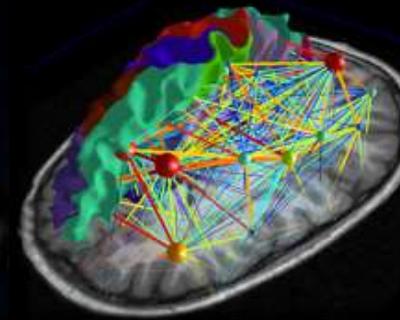
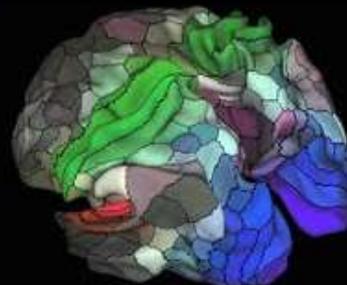


Séance 4 :

De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 5 :  
Cartographe  
des réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier



Séance 5 :  
Cartographe  
des réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du cerveau entier

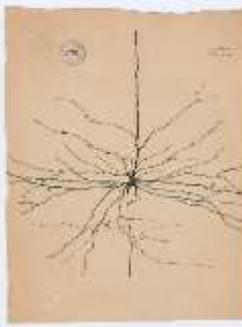
Séance 1 :  
**Le « cor  
toi-mên  
Socrate  
des scie  
cognitiv**



Séance 2 :  
**De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu  
aujourd'hui**



Séance 3 :  
**L'huma  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux**



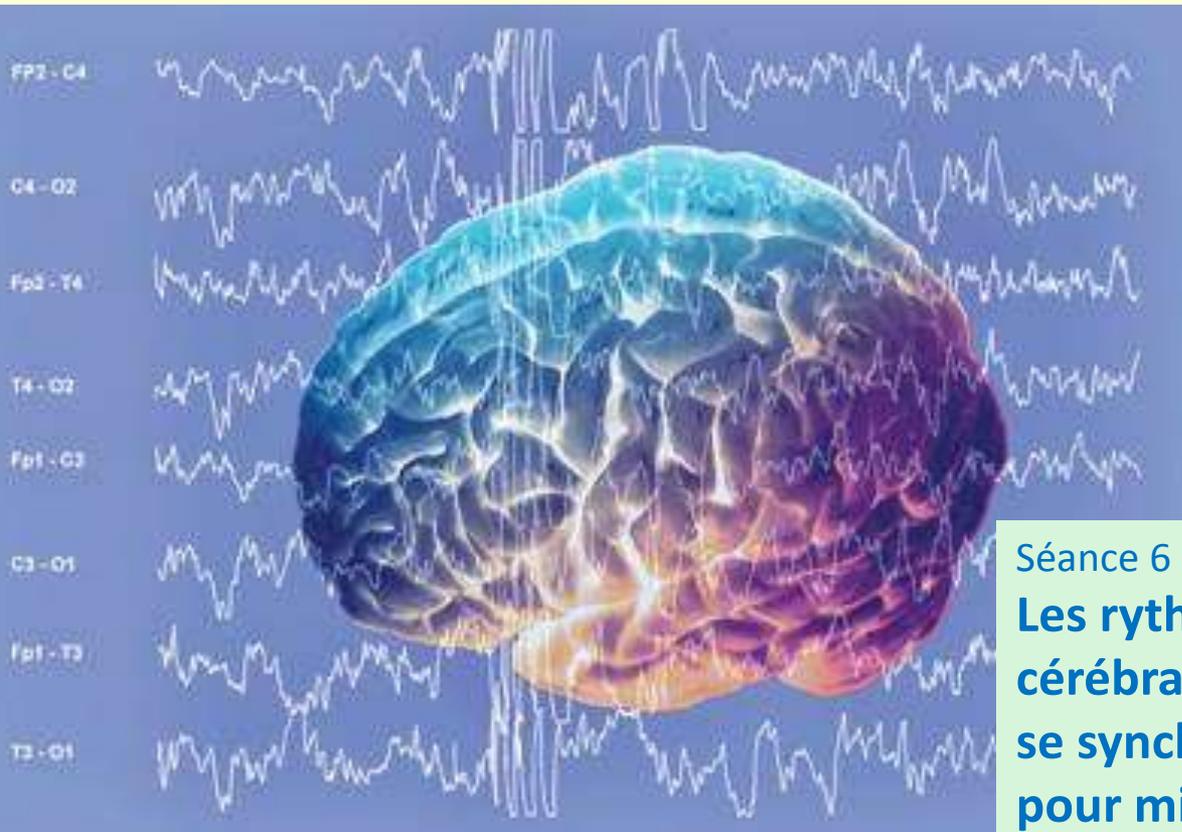
Séance 4 :  
**De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire**



Séance 6 :  
**Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner**



Séance 5 :  
**Ca  
rés  
de  
à l  
cerveau entier**



## Plan de ce soir

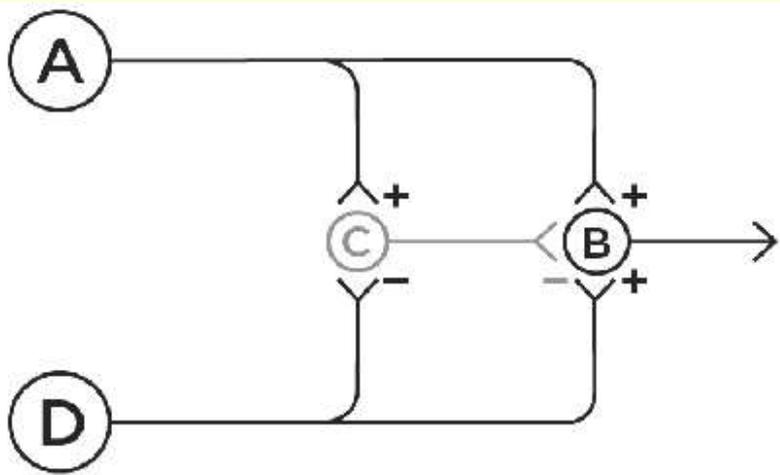
De l'activité nerveuse forme  
des systèmes dynamiques non linéaires.

Différents modèles de systèmes non linéaires  
éclairent la dynamique cérébrale

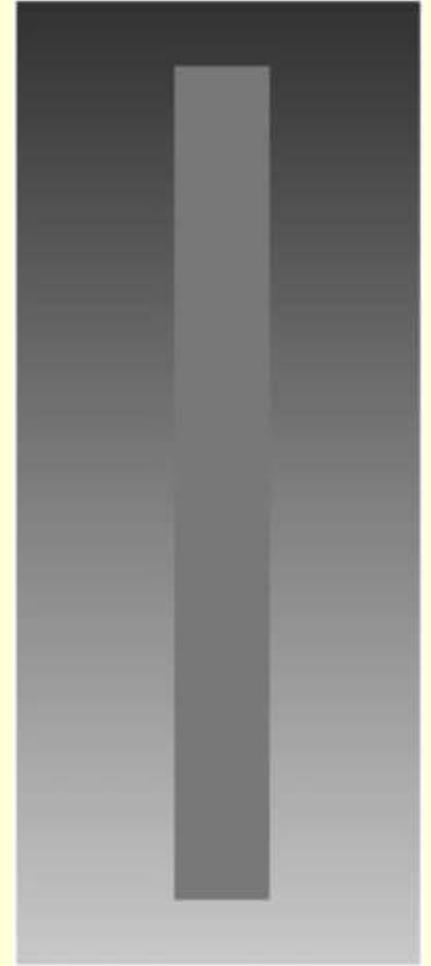
L'origine des rythmes cérébraux

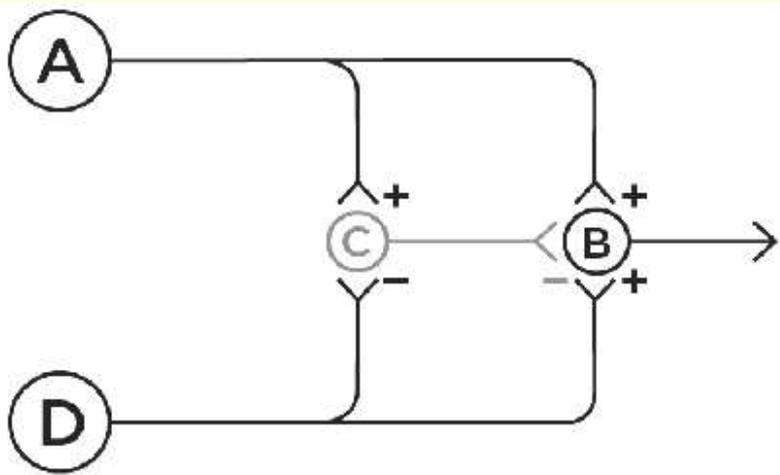
Rôles fonctionnels des oscillations  
et des synchronisations

Après la pause et quelques questions/échanges:  
Éveil, sommeil et rêve

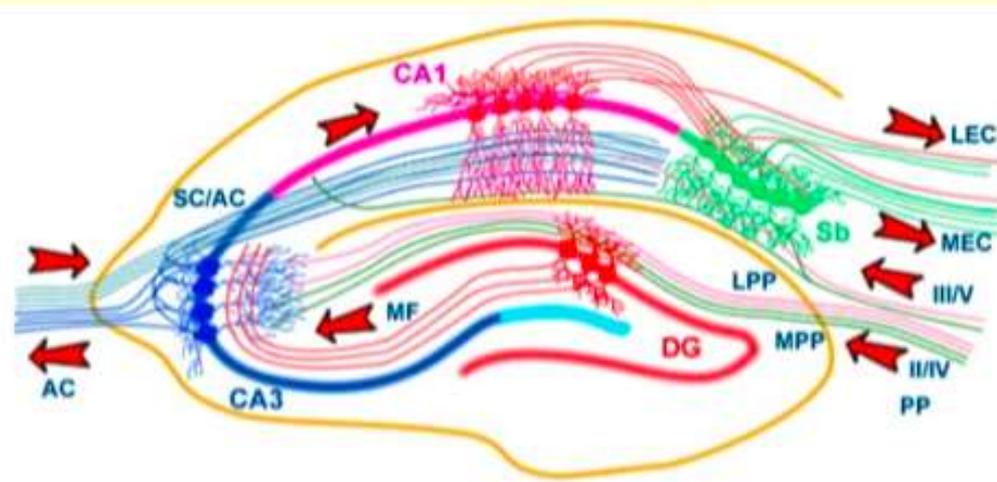


On est passé de quelques neurones...





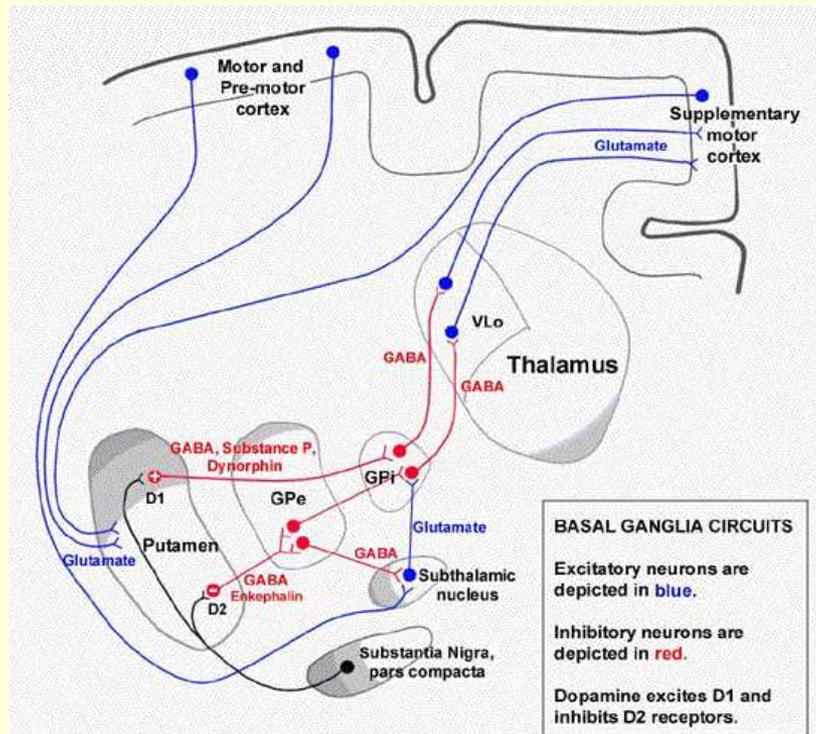
On est passé de quelques neurones...



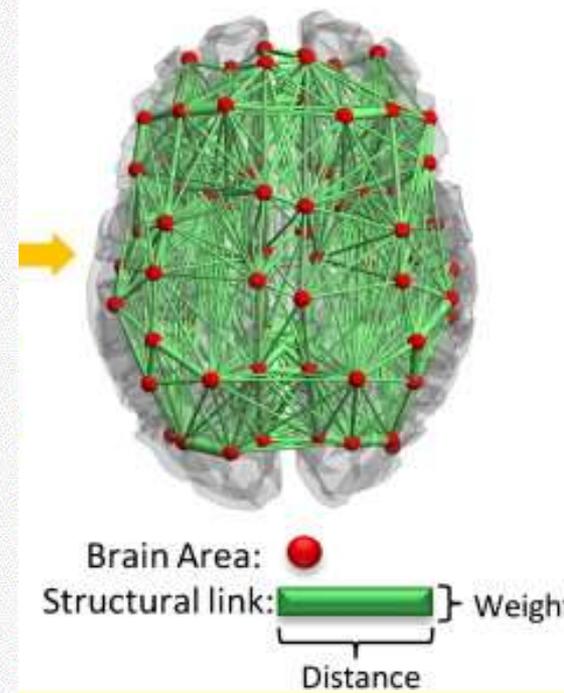
...à des circuits de millions de neurones dans des structures (comme l'hippocampe)...

...à des structures cérébrales qui vont se connecter entre elles en réseaux locaux...

... mais aussi à l'échelle du cerveau entier !

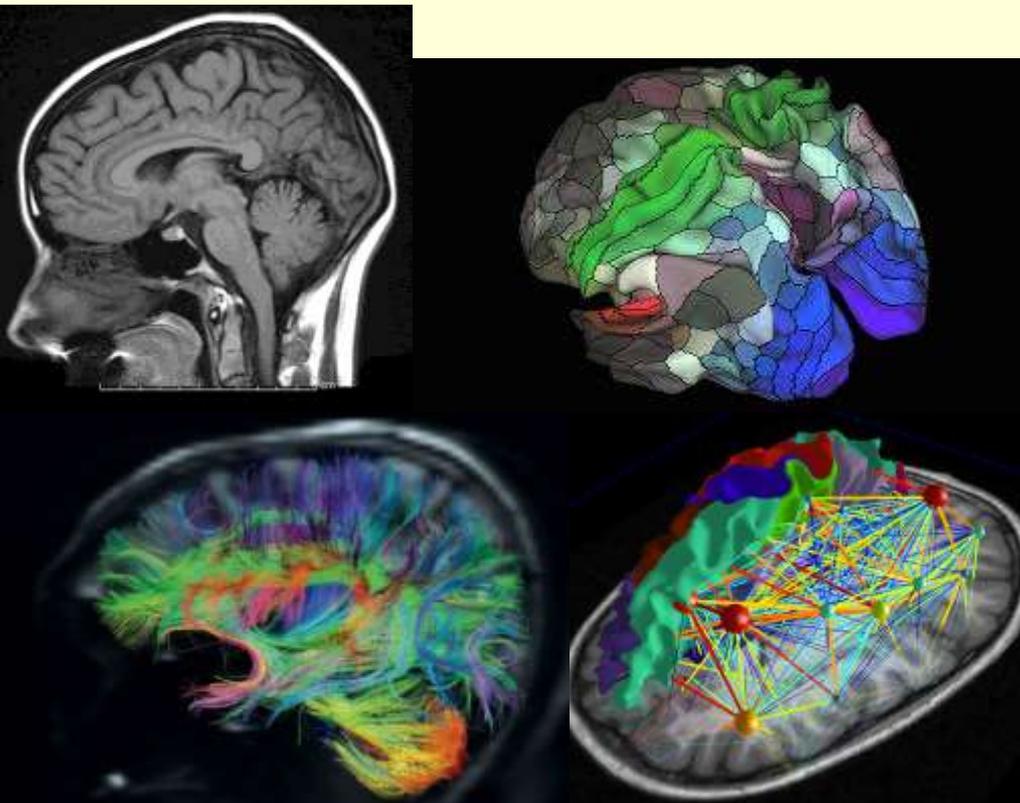


Brain network model



Et donc à la dernière séance, on a vu...

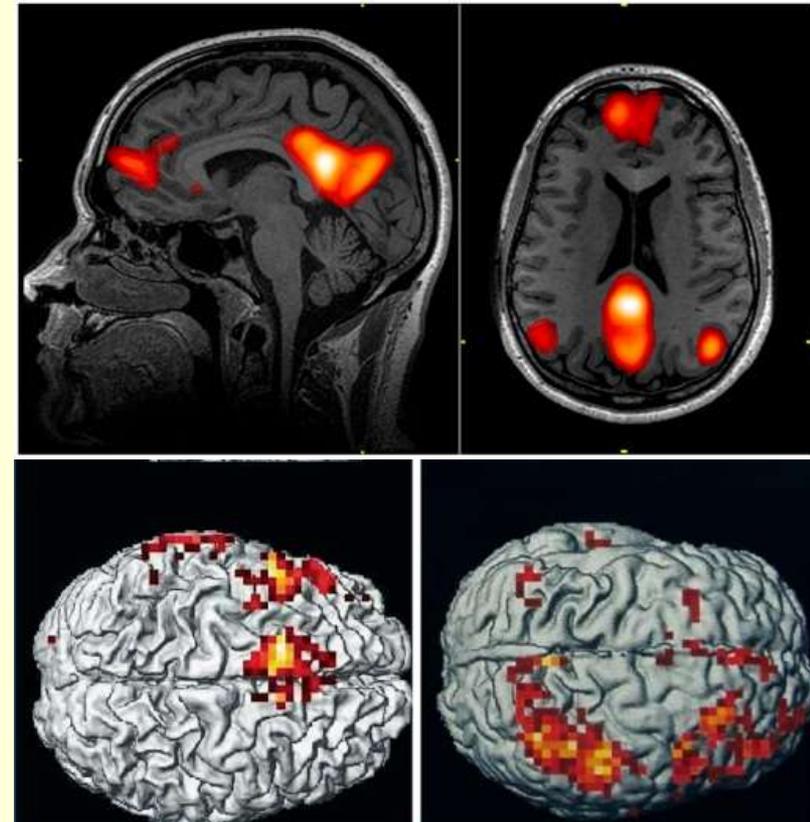
La cartographie **anatomique**  
du cerveau...



...et l'imagerie cérébrale **fonctionnelle**.

**...mais pas en temps réel !**

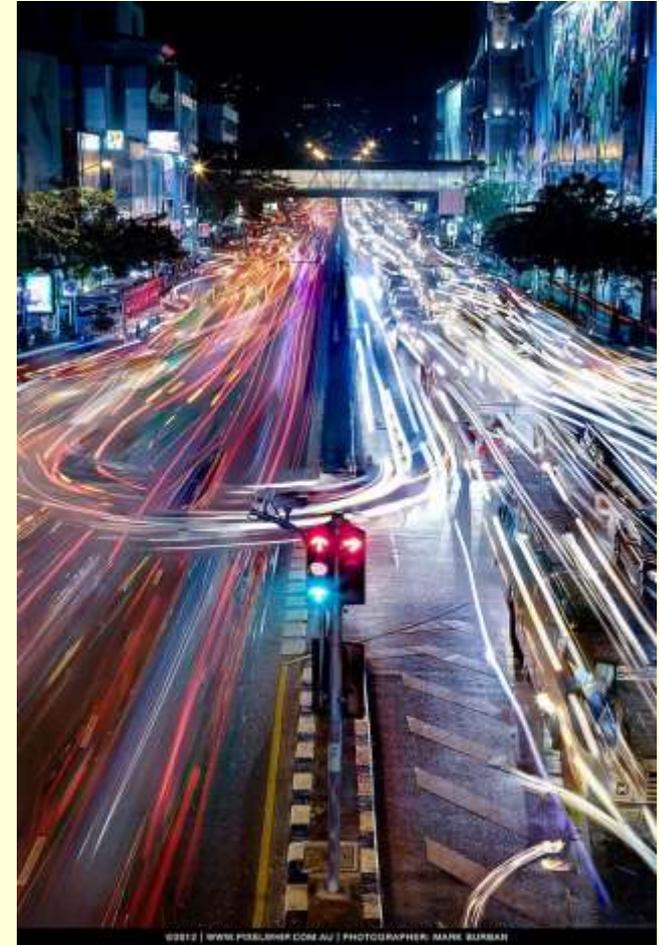
(mauvaise résolution temporelle de l'IRMf)



C'est comme si à date on avait regardé des cartes qui nous indiquent où les routes passent, donc les chemins **possibles**

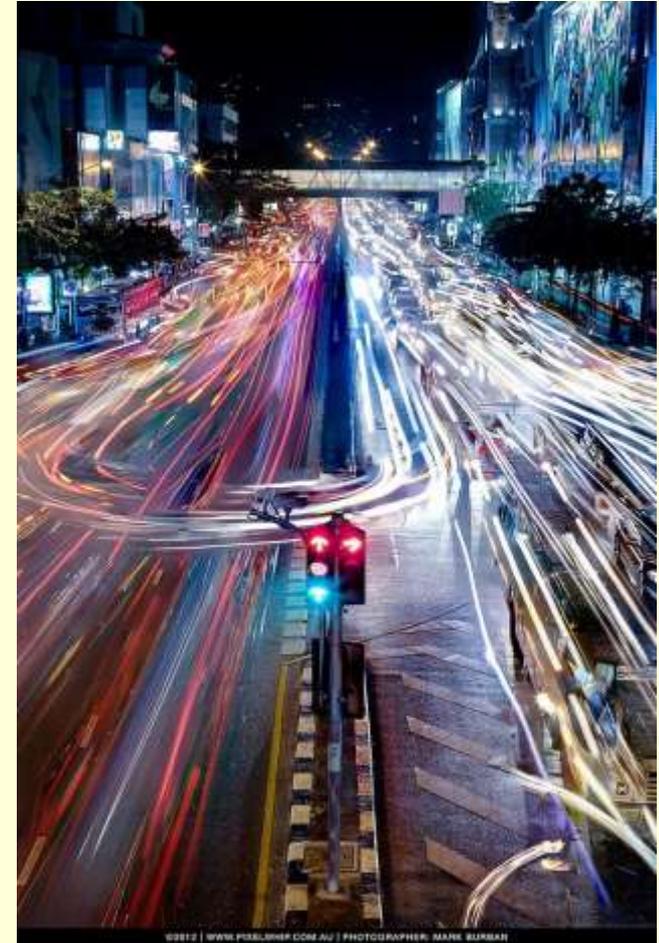
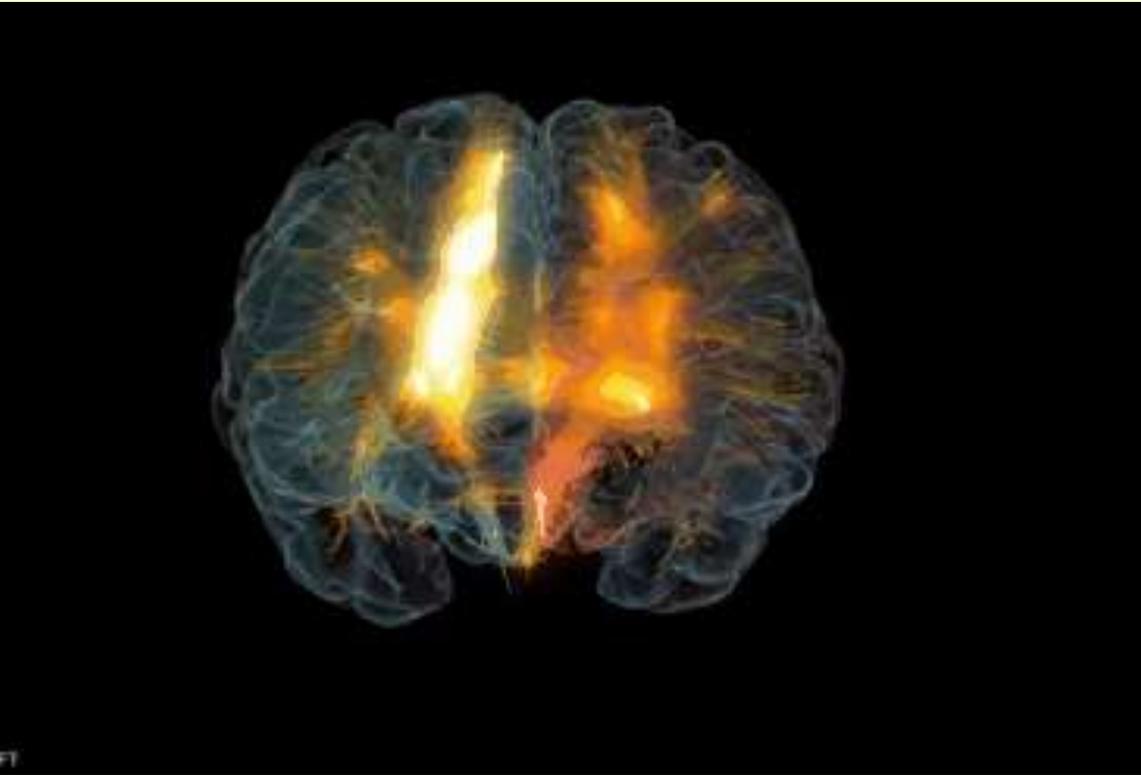


Mais ces cartes ne nous disent rien sur...



...l'**intense** trafic du matin et du soir versus le **calme** du milieu de journée, la **direction** prédominante du trafic à ces différents moments, ses **cycles** plus lents comme la tranquillité des vacances d'été versus la plus grande activité le reste de l'année, etc.

Et ces rythmes ne sont pas les mêmes en banlieue qu'au centre-ville.

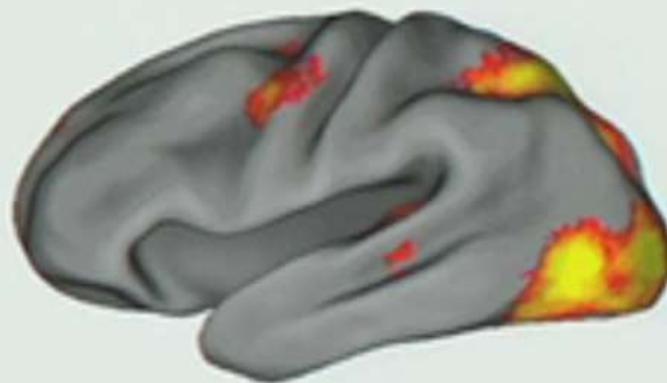


C'est la même chose pour le cerveau qui possède toutes sortes de rythmes à **différentes échelles de temps** et **selon les régions observées**.

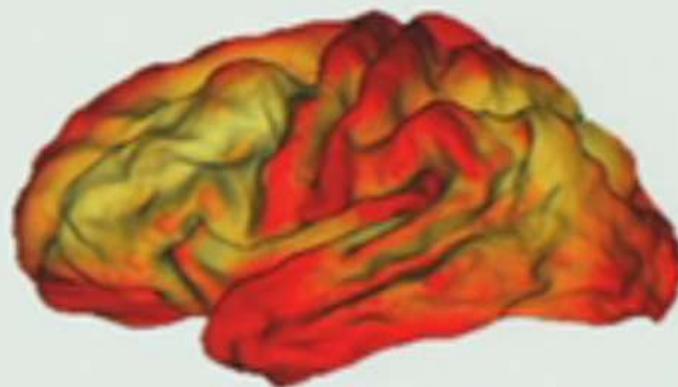
Et c'est ce qu'on va voir aujourd'hui.

# An Historical View

**Reflexive**  
(Sir Charles Sherrington)



**Intrinsic**  
(T. Graham Brown)



# Active inference, communication and hermeneutics

Karl J. Friston and Christopher D. Frith (2015)

Recent advances in theoretical neuroscience have produced a **paradigm shift** in cognitive neuroscience.

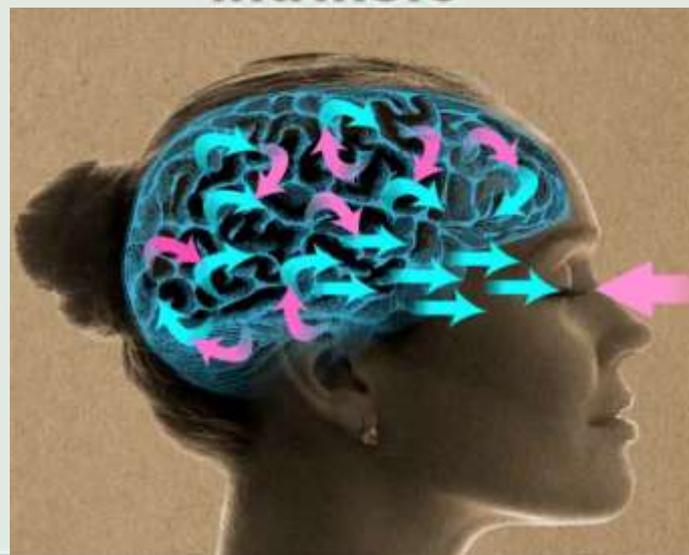
This shift is **away** from the brain as a **passive filter** of sensations or an elaborate **stimulus-response** link

towards a view of the brain as an organ **that generates hypotheses or fantasies** (fantastic: from Greek phantastikos, the ability to create mental images), which are **tested against sensory evidence**.

**Reflexive**  
(Sir Charles Sherrington)

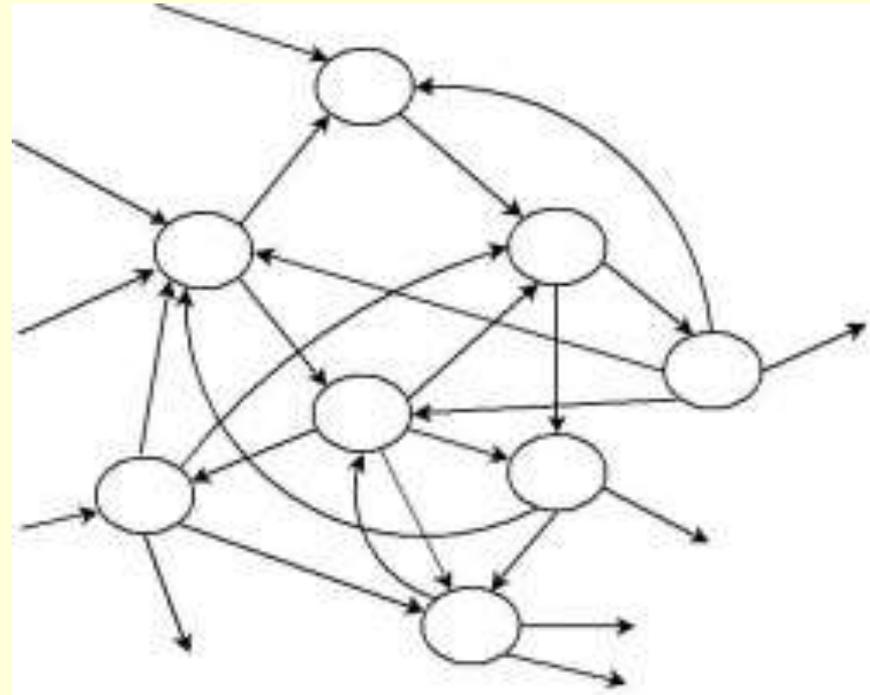


**Intrinsic**



Le « **cerveau prédictif** »

Il n'y a donc jamais de « temps 0 » dans le cerveau,  
car il est toujours en train de « faire quelque chose »...



“Ce que l’on considère généralement comme des fonctions cérébrales – voir, penser, décider, agir – sont en réalité des **perturbations**, (“disturbance”), des altération [de l’**activité intrinsèque** du cerveau].

[traduction libre]

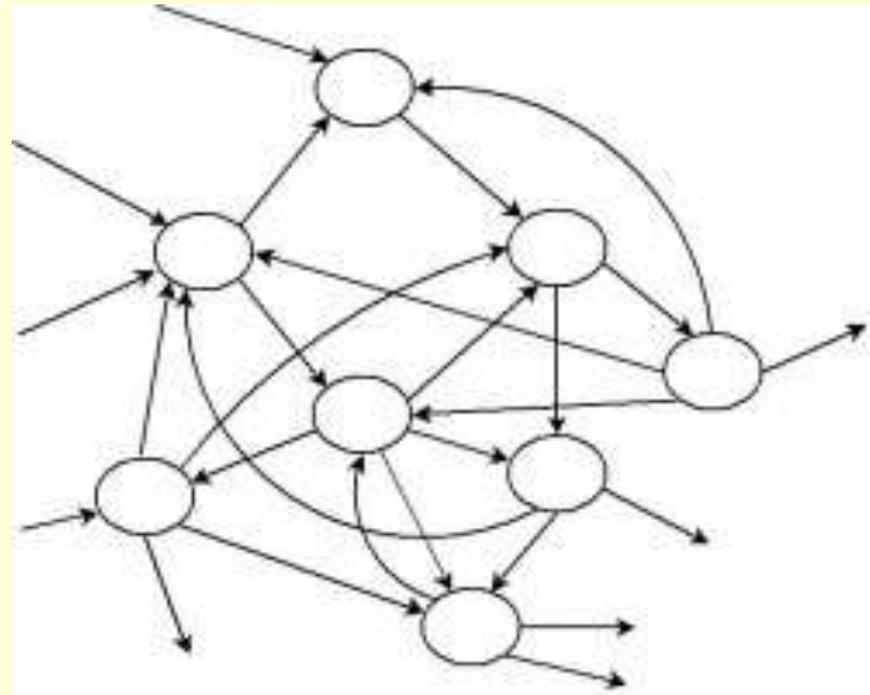


- Michael L. Anderson

**The Dynamic Brain** (2011)

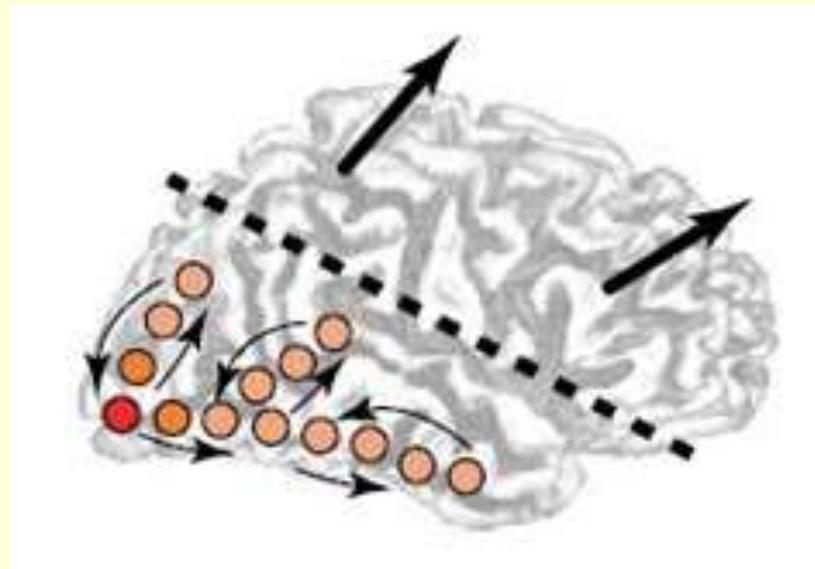
What your brain is doing when you're not doing anything

<https://www.psychologytoday.com/blog/after-phrenology/201102/the-dynamic-brain>



Autrement dit :

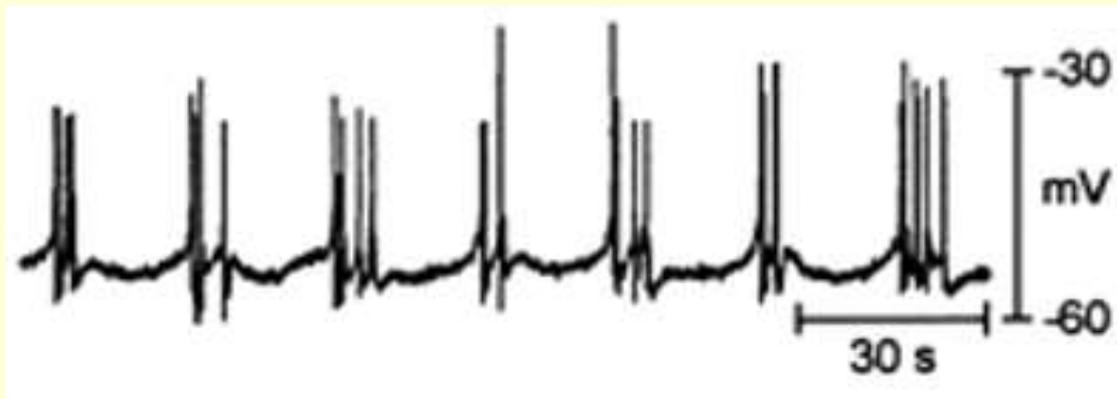
“**If there’s input** to the nervous system, fine. **It will react to it.**”



Activité « **Bottom up** »

But the **nervous system is primarily a device for generating action spontaneously.** It’s an ongoing affair.

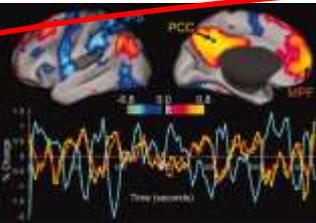
The biggest **mistake** that people make is in thinking of it as an **input-output device.**”



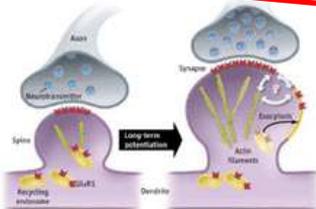
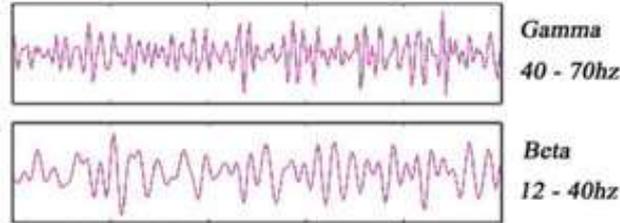
~ Graham Hoyle, quoted in William Calvin’s ***The Cerebral Symphony*** (p. 214)

# Parenthèse : Des processus dynamiques

à différentes échelles **temporelles** :

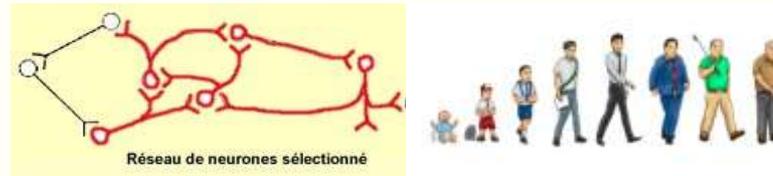


$10^{-3} s$



$10^{11} s$

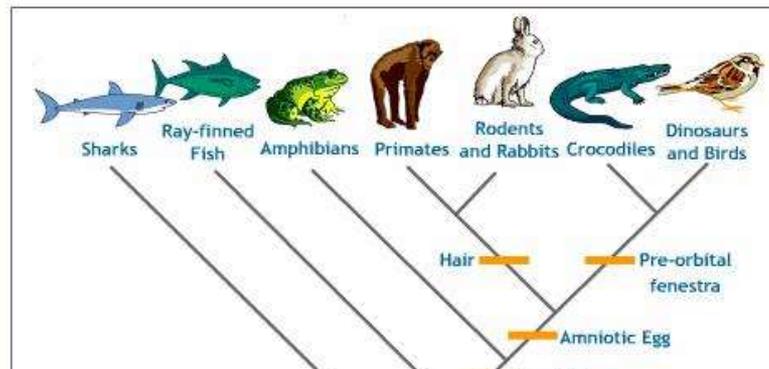
$10^3 s$



$10^6 s$



$10^{15} s$

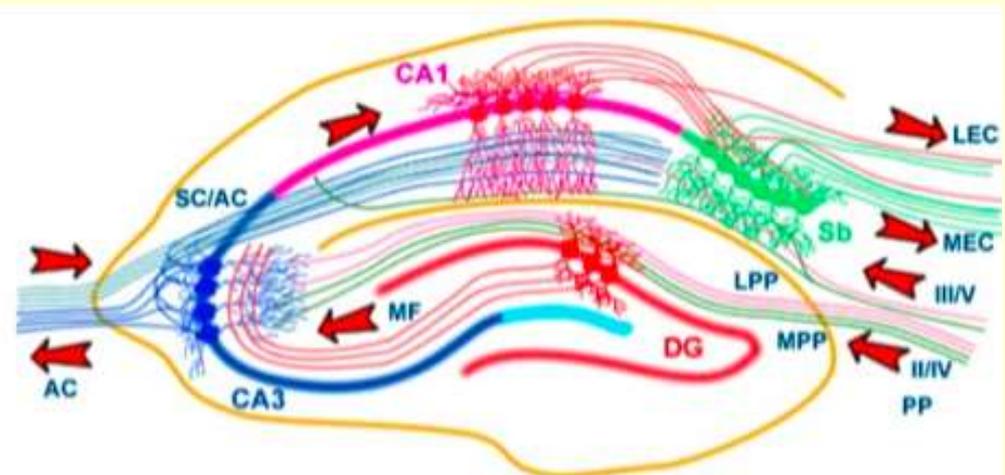
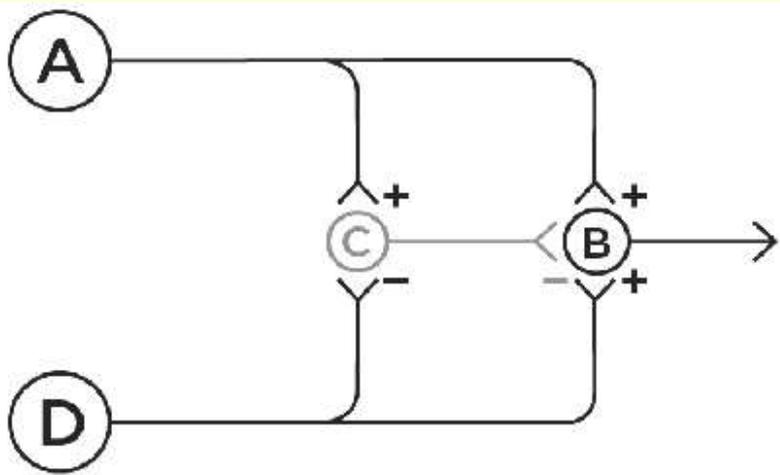


**Perception et action** devant des situations en temps réel grâce à des coalitions neuronales synchronisées temporairement

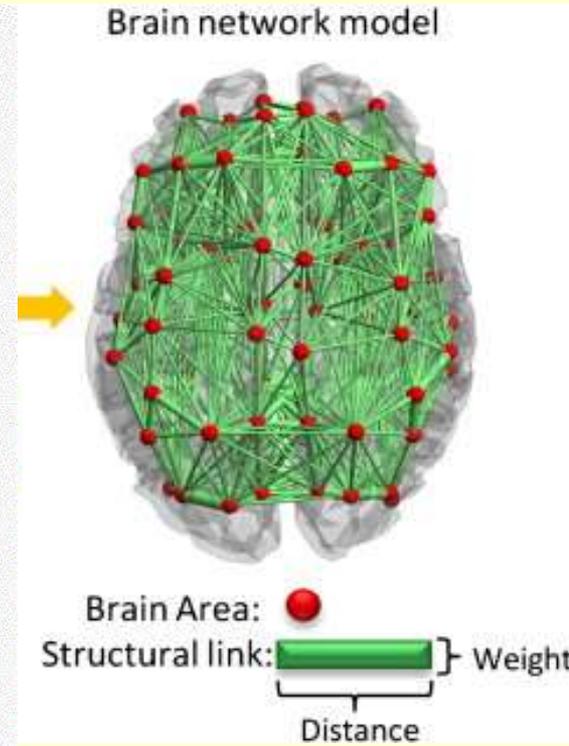
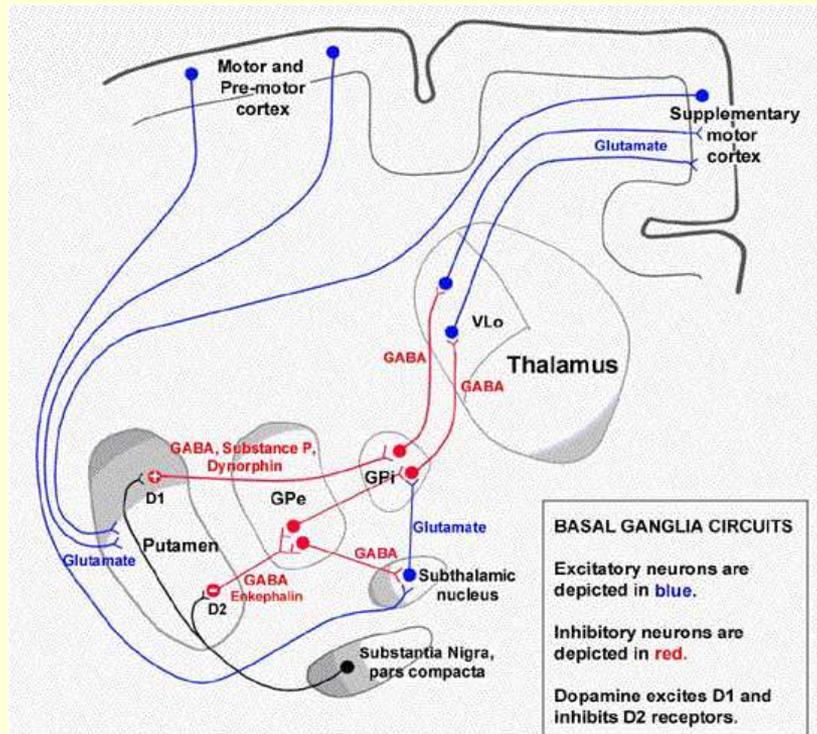
**L'apprentissage** durant toute la vie par la plasticité des réseaux de neurones

**Développement** du système nerveux (incluant des mécanismes épigénétiques)

**Évolution** biologique qui façonne les plans généraux du système nerveux



Nos circuits nerveux forment donc des réseaux anatomiques, mais dans lesquels se propage de l'activité nerveuse qui va former des **systèmes dynamiques non linéaires.**

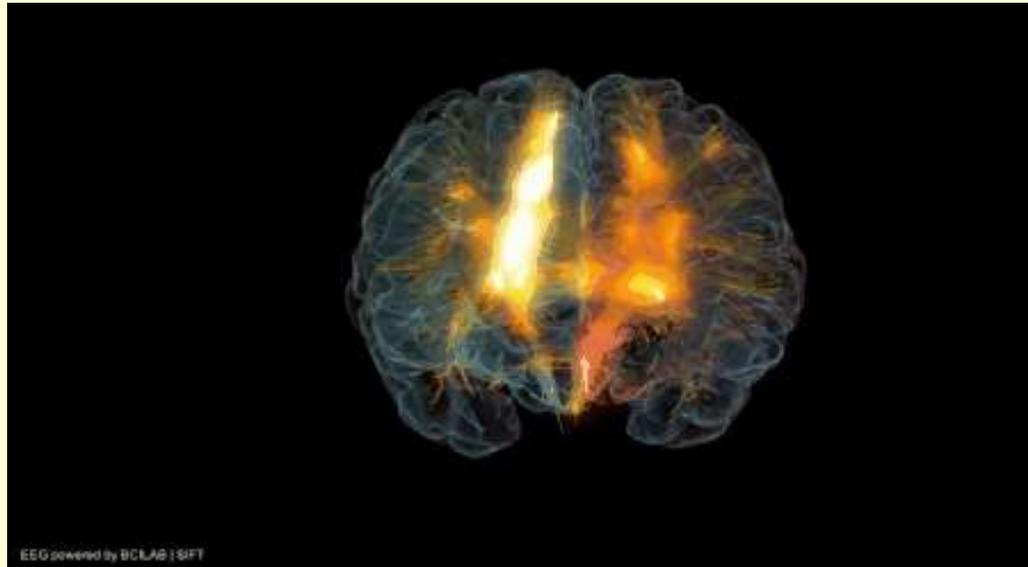


On parle donc d'abord  
d'un système dynamique:  
un système dont les  
variables (ou la forme)  
**varient dans le temps.**



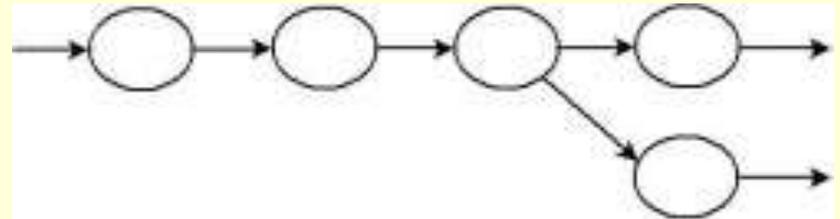
Mais on parle aussi d'un  
système dynamique  
**non linéaire.**

Pourquoi ?





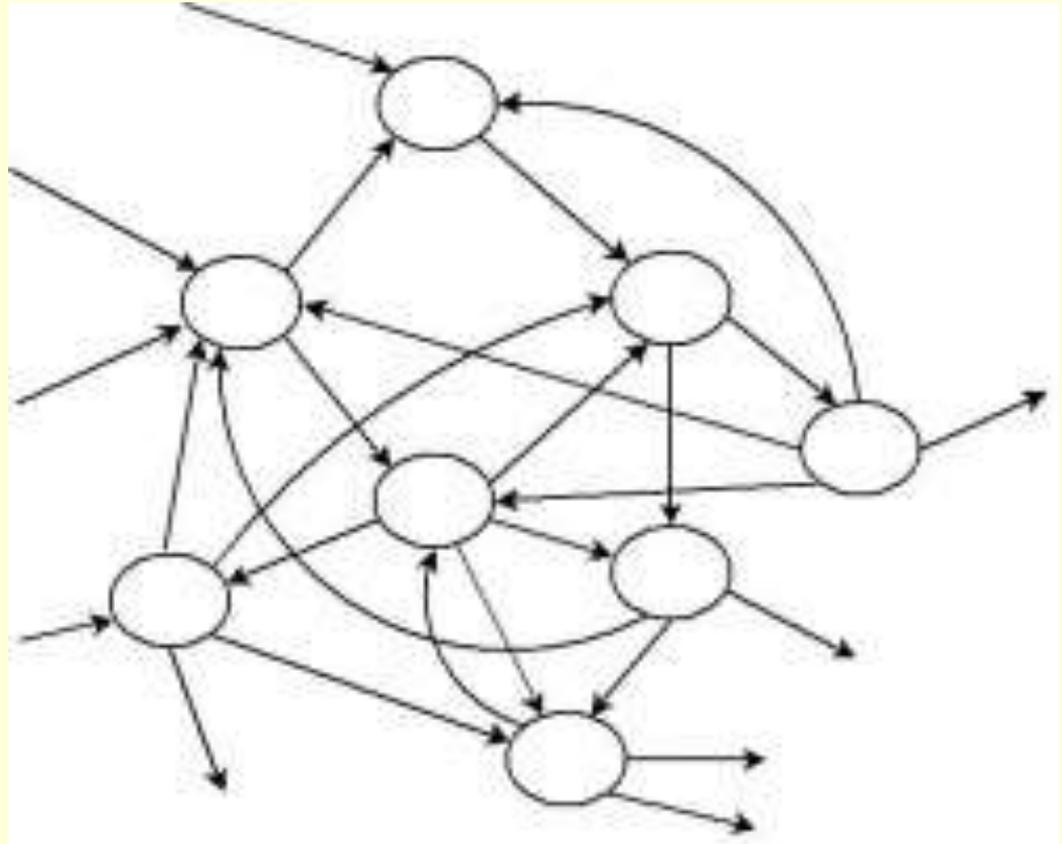
Depuis la physique de Newton et même avant, on peut expliquer beaucoup de phénomènes en terme de causalité **linéaire**.

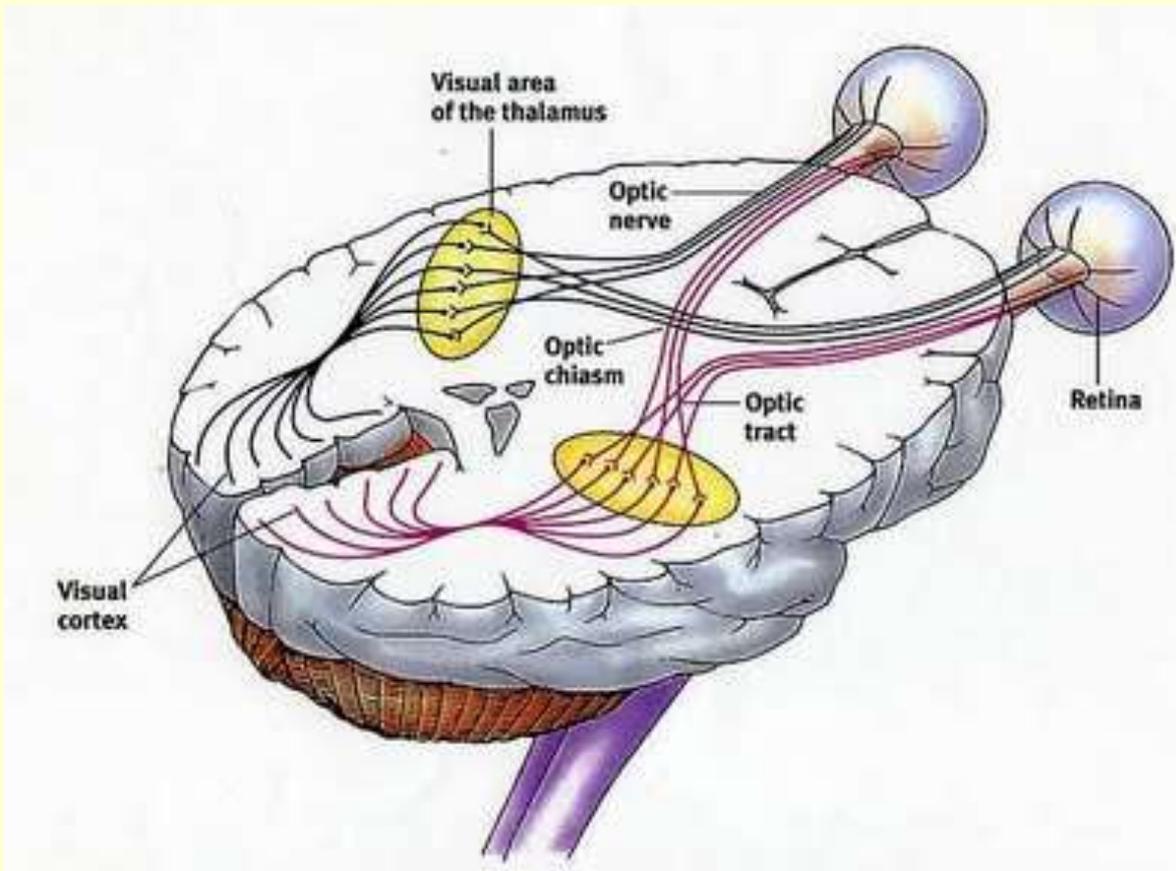


Sauf que dans un système complexe comme le cerveau...

Les interactions et les connexions se font **dans toutes les directions.**

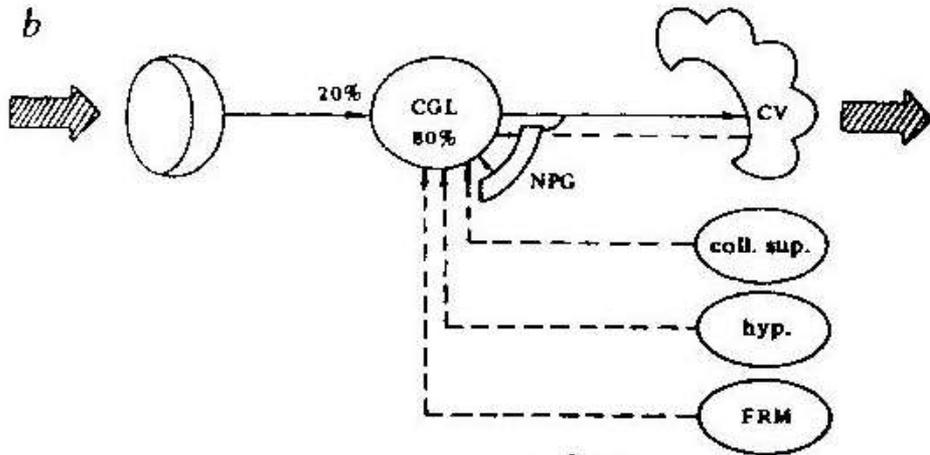
Ces connexions, souvent **récioproques**, donnent lieu à des relations causales **non linéaires**.





Voici un schéma classique des voies visuelles dans le cerveau humain.

Il suggère que ce qui est capté par nos yeux est transmis **de façon linéaire** au cortex visuel en faisant au passage des connexion aux neurones du corps genouillé latéral qui est vu ici comme **un relais** vers le cortex.



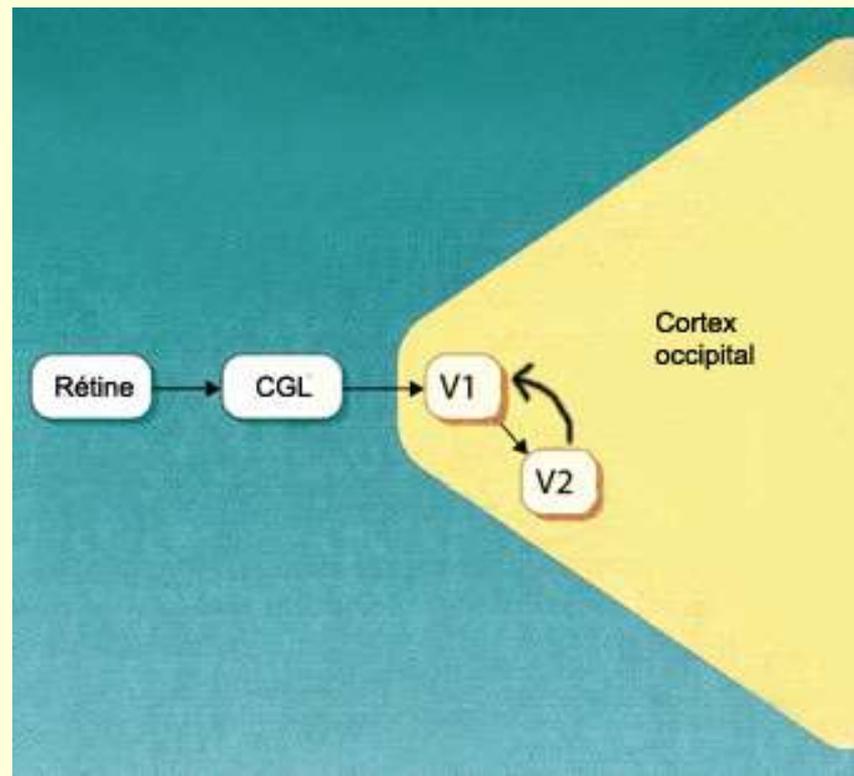
On a la même représentation  
mais plus schématique ici.

Mais certains comme Francisco Varela ont rappelé que **80%** de ce que capte toute cellule du CGL **ne vient pas de la rétine** mais de l'interconnectivité dense **d'autres régions du cerveau.**

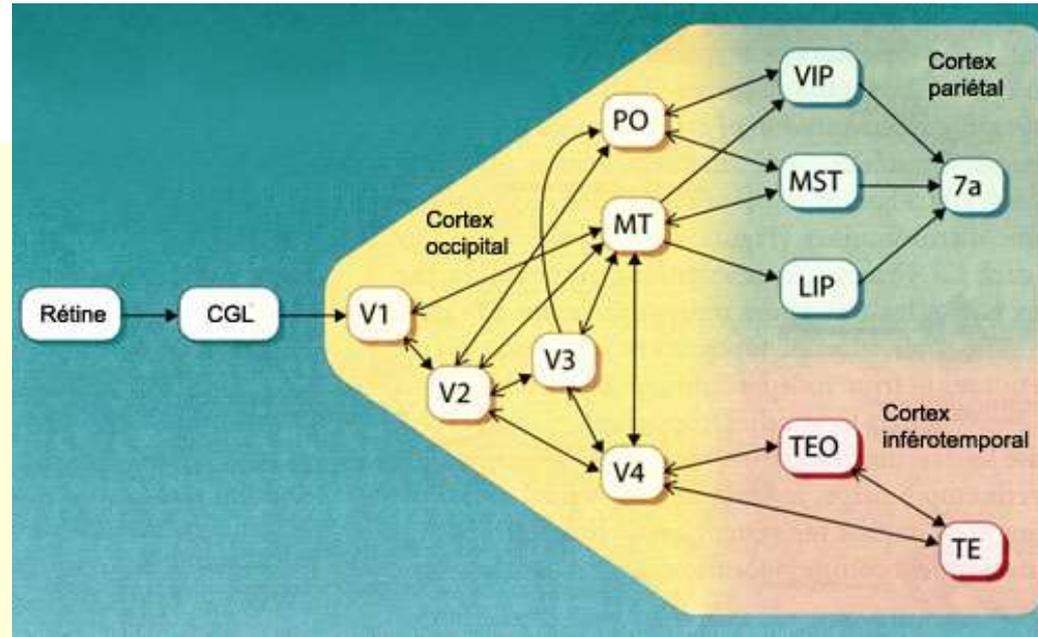
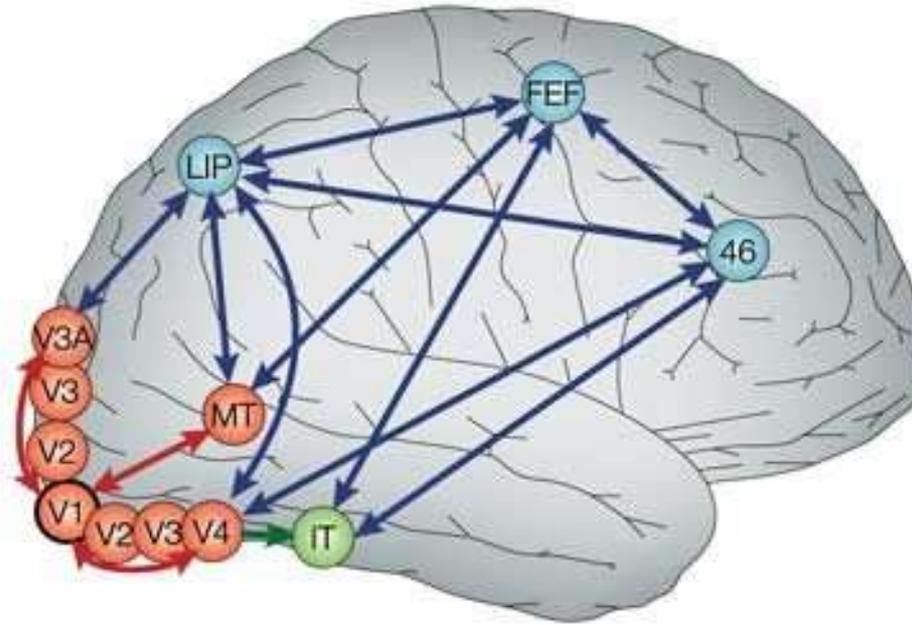
On peut aussi constater qu'il existe plus de fibres reliant le cortex au CGL qu'il n'y en a dans le sens inverse !

Considérer les voies visuelles comme constituant un dispositif de traitement séquentiel des yeux vers le cortex **s'avère complètement arbitraire.**

C'est la même chose !



Et si l'on regarde à un niveau supérieur, en incluant tout le cerveau, on observe également un haut degré de réciprocité dans le traitement visuel.



Et c'est aussi le cas dans le **système auditif**, par exemple...

Dans cet article au titre intrigant publié le 20 mai **2015** :

## **Pourquoi entend-on des sons dans le silence ?**

<http://bigbrowser.blog.lemonde.fr/2015/05/20/pourquoi-entend-on-des-sons-dans-le-silence/>

On parle des chambre **anéchoïques**, ces pièces à l'insonorisation très poussée, isolée des bruits extérieurs et dont les parois couvertes de blocs de mousse aux angles brisés empêchent les sons produits par d'éventuels occupants de rebondir.



Après un certain temps dans de telles chambres, on peut y entendre son propre corps. On peut percevoir le sang qui bat dans ses vaisseaux et monte à la tête, l'air qui passe dans ses poumons, le battement de son cœur et le gargouillement du système digestif, le bruit de ses articulations en mouvement.

Tout le monde ne réagit pas de la même façon dans ces chambres, mais au bout de quelques minutes, plusieurs ont des **hallucinations auditives**.

Par exemple, une personne croyait entendre une nuée d'abeilles. Puis elle avait l'impression de percevoir le sifflement du vent dans des arbres ou la sirène d'une ambulance. Ces sons apparaissaient puis disparaissaient. Au bout de 45 minutes, elle distinguait les paroles d'une chanson, comme si elle était jouée sur la sono d'une maison voisine.

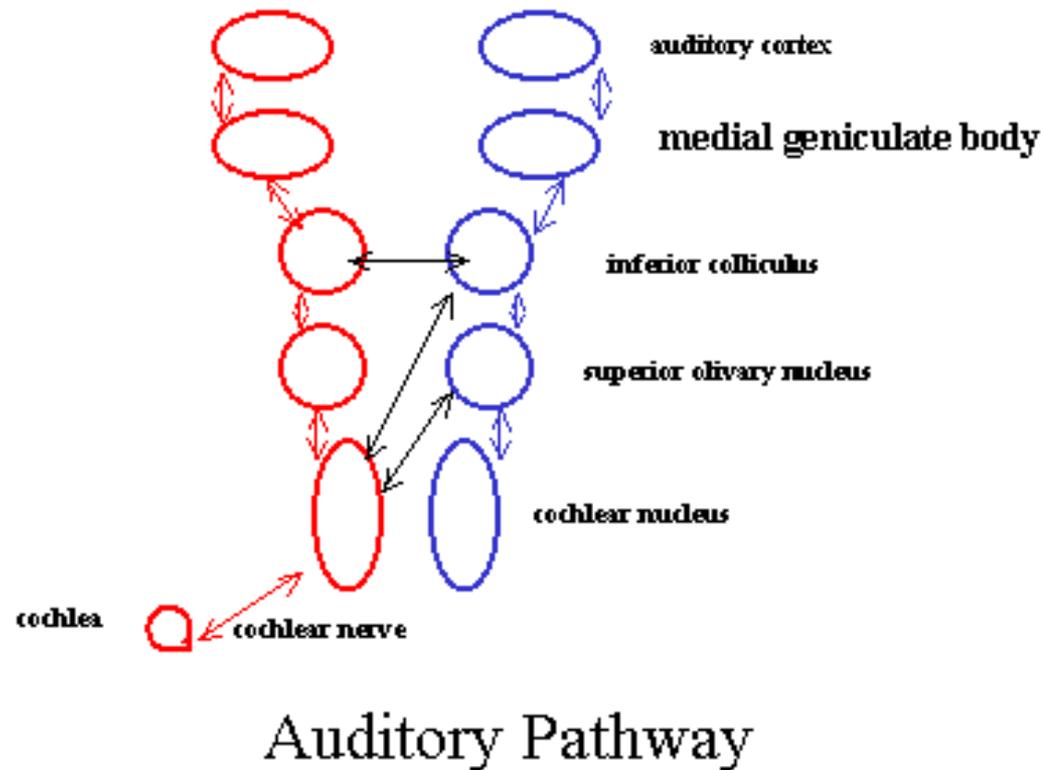


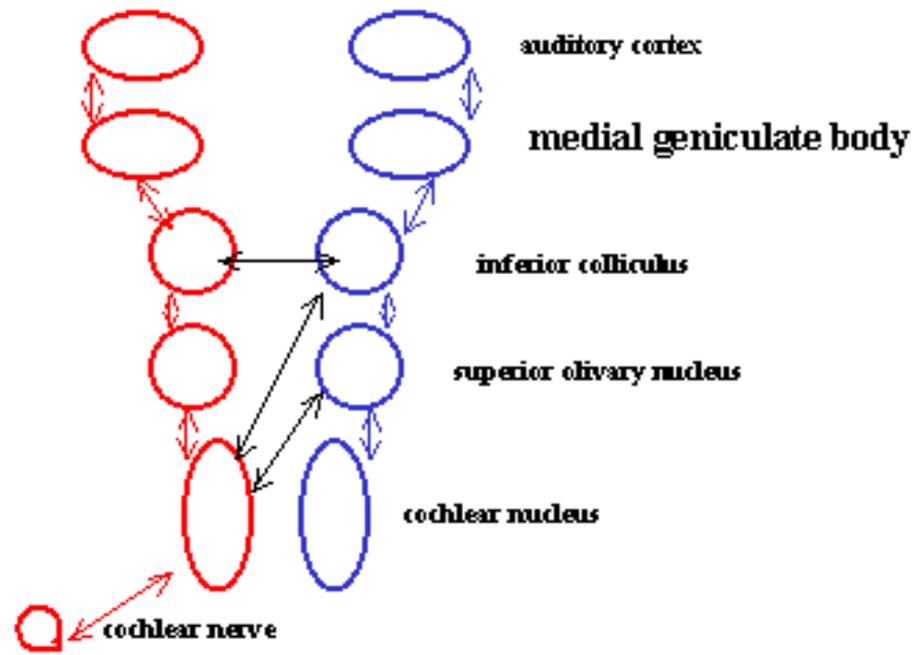
Alors que des micros hypersensibles dans la pièce pouvait attester qu'il n'y avait **aucun de ces sons**.

L'explication donnée à ce phénomène par Trevor Cox, professeur d'ingénierie acoustique à l'université de Salford, est pertinente pour nous ici :

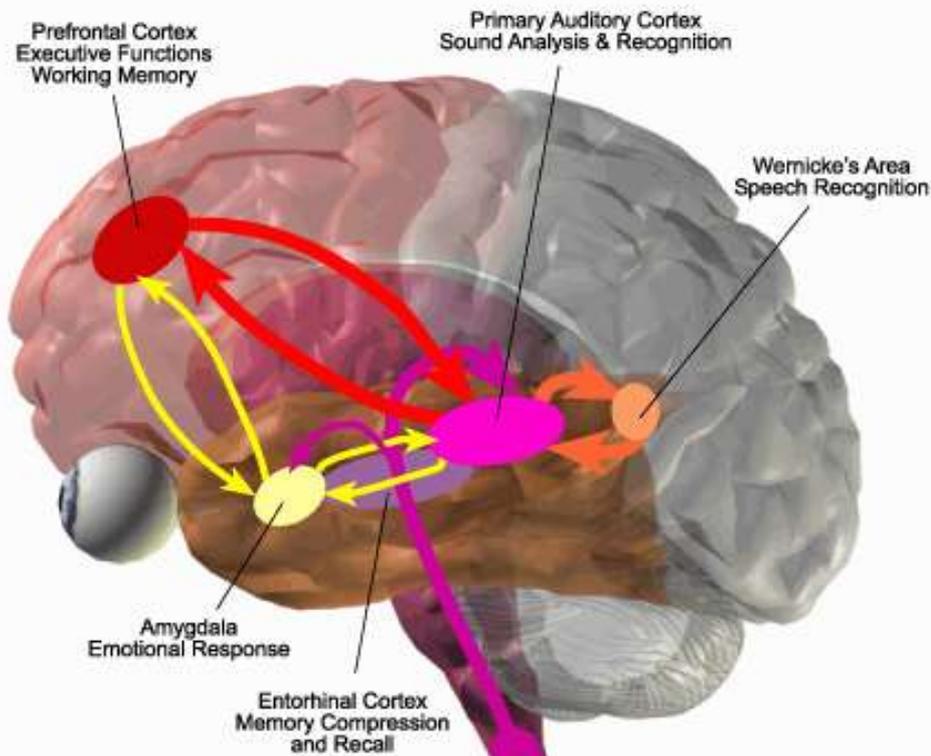
*"Pendant longtemps, on a considéré que le son entrant simplement dans l'oreille pour monter vers le cerveau. Et bien il y a en réalité plus de connexions qui se produisent du cerveau vers l'oreille que l'inverse."*

De telles impulsions permettent au cerveau de moduler l'audition pour s'adapter à son environnement. Mais c'est également cette relation qui provoque les hallucinations auditives.





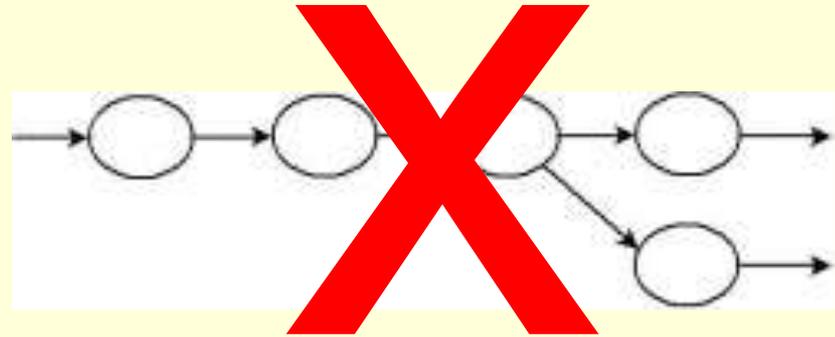
## Auditory Pathway



Et l'en retrouve encore une fois ces voies réciproques partout dans le système **auditif**.

**“The brain is decidedly *not* a primarily feed-forward system.”**

- Michael Anderson,  
Precis of After Phrenology

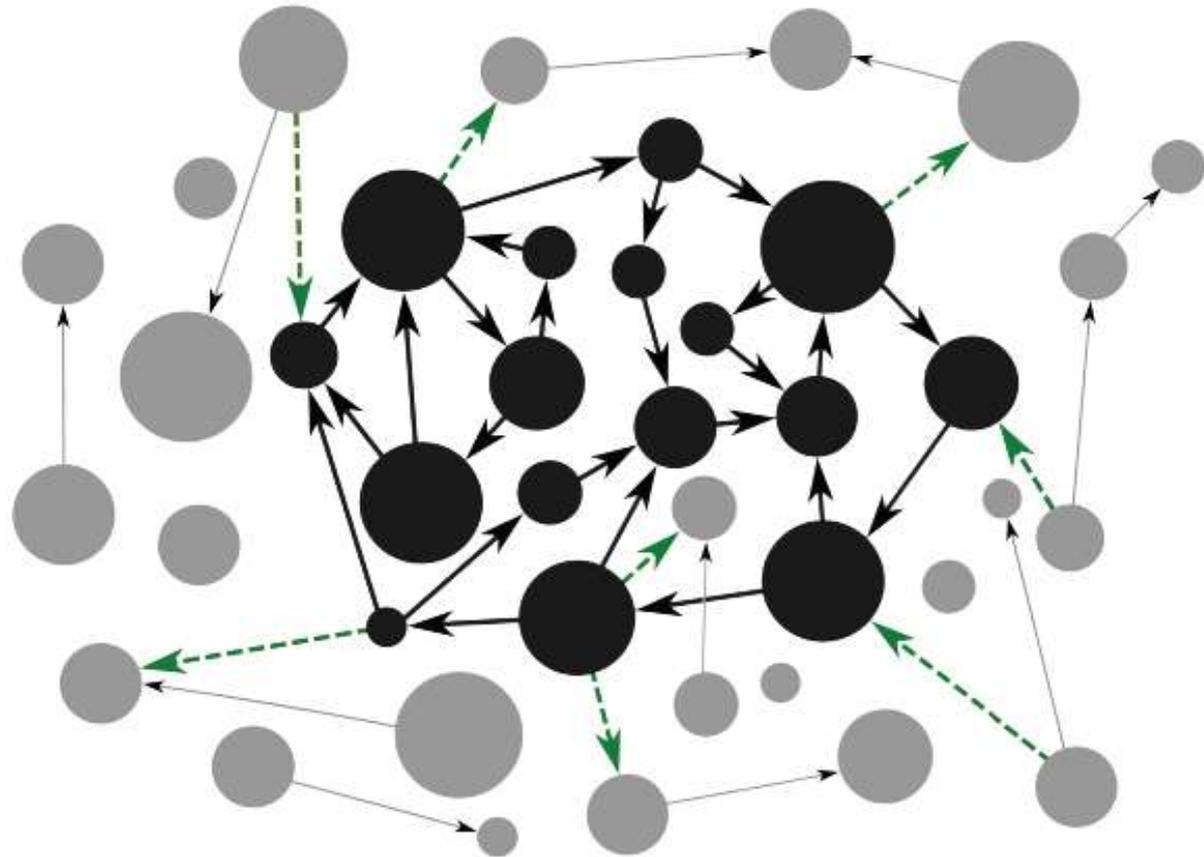


Et les organismes vivants ne sont  
pas des récepteurs passifs  
de stimulations environnementales.

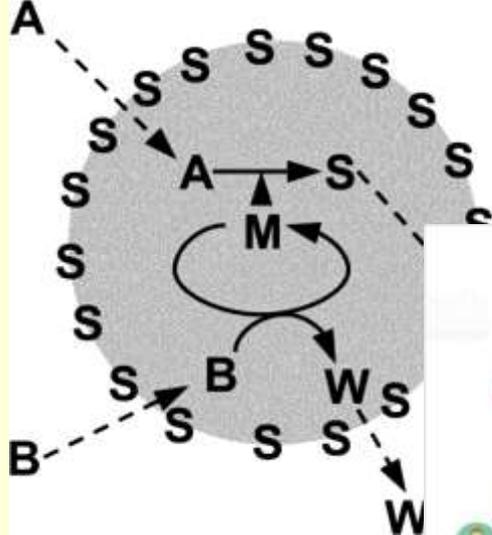
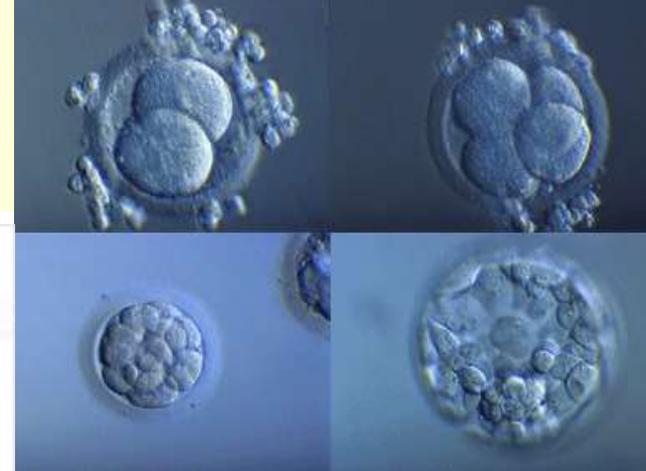
Mais qu'est-ce que la vie déjà ?

La vie est un **processus émergent** qui n'est pas présent dans les parties mais dans

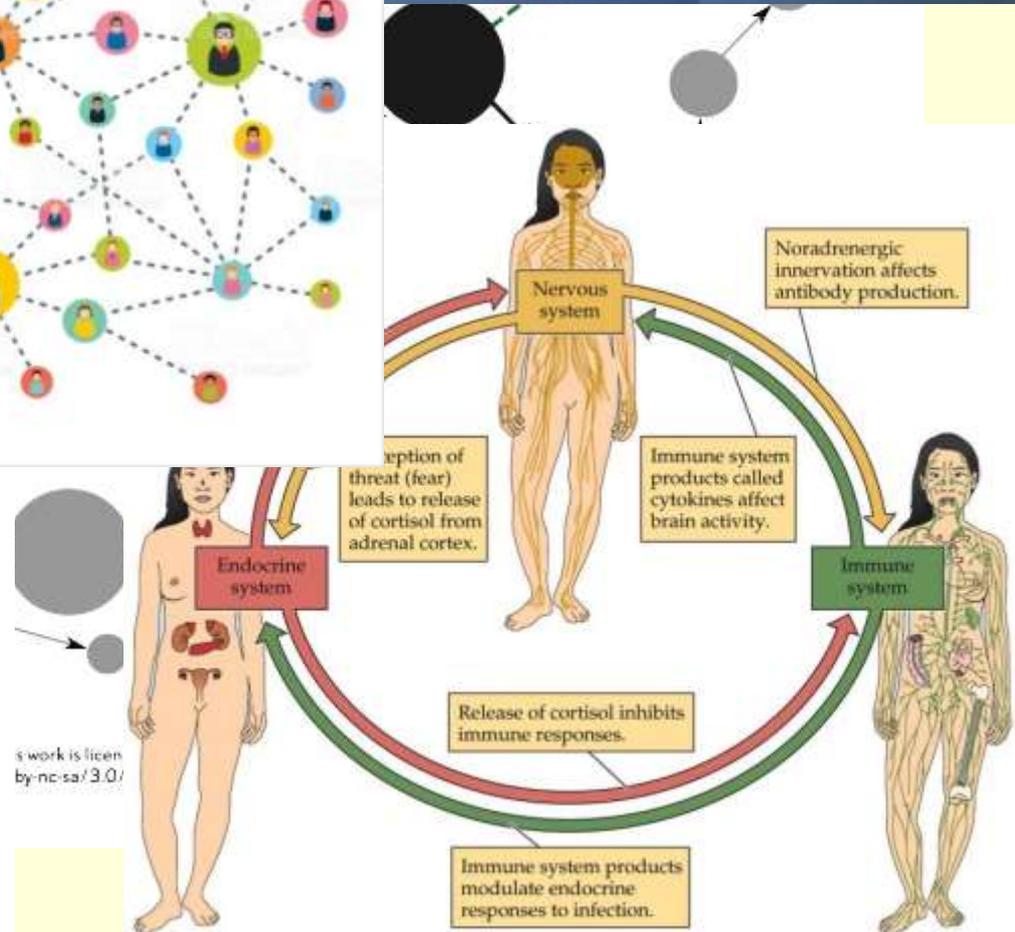
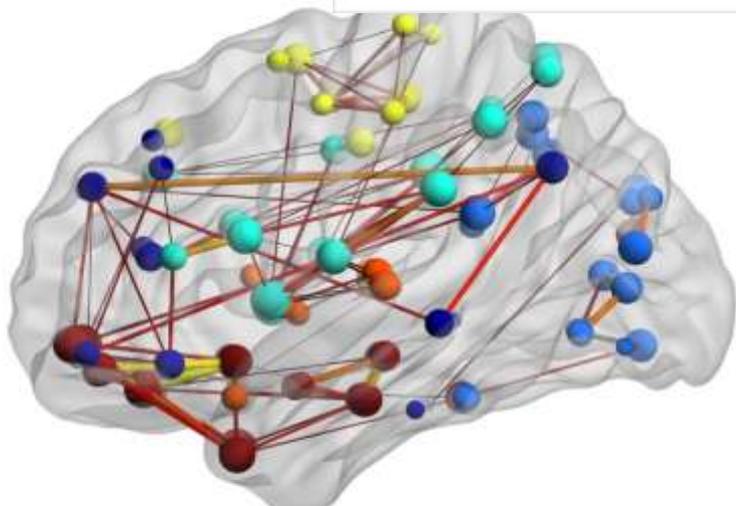
les **interactions dynamiques** au sein du **réseau** que forment ces parties.

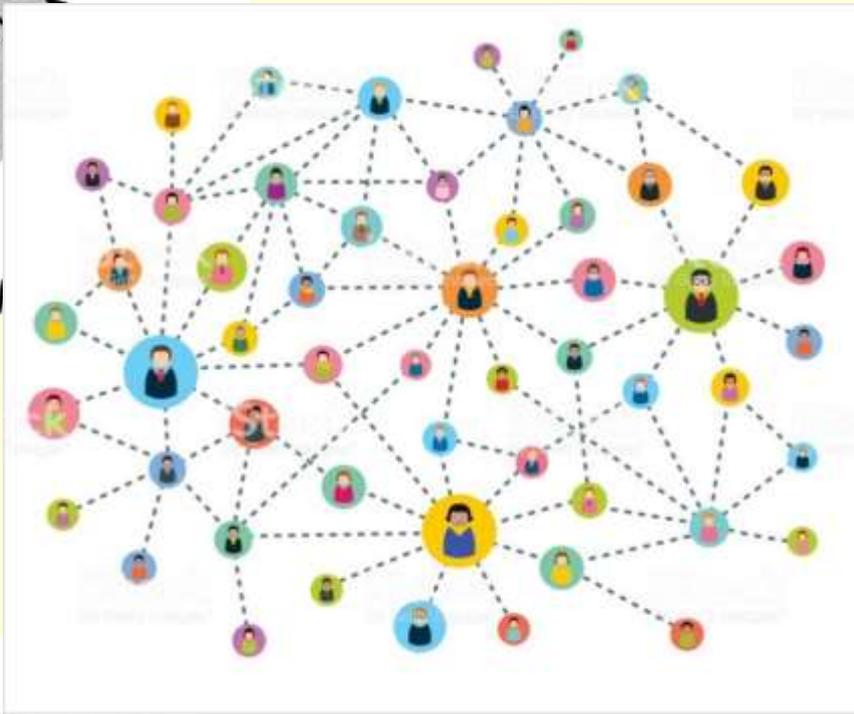
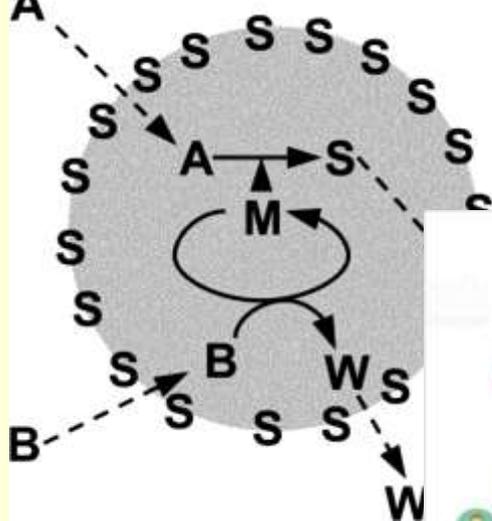


D'autres systèmes dynamiques encore plus complexes...

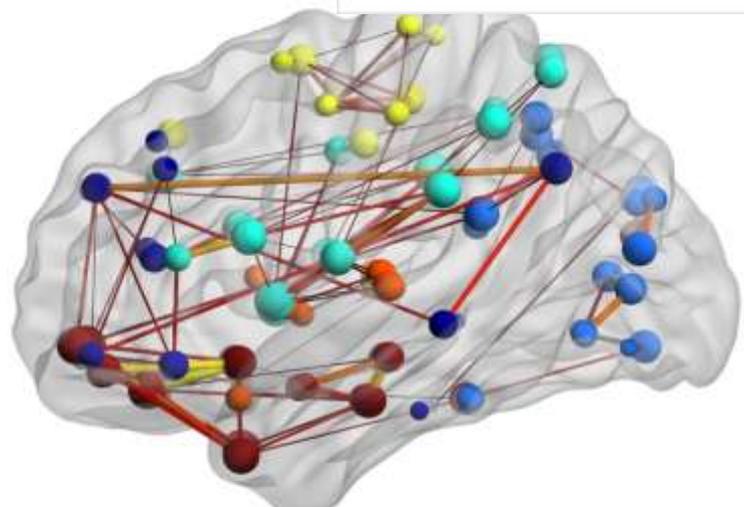


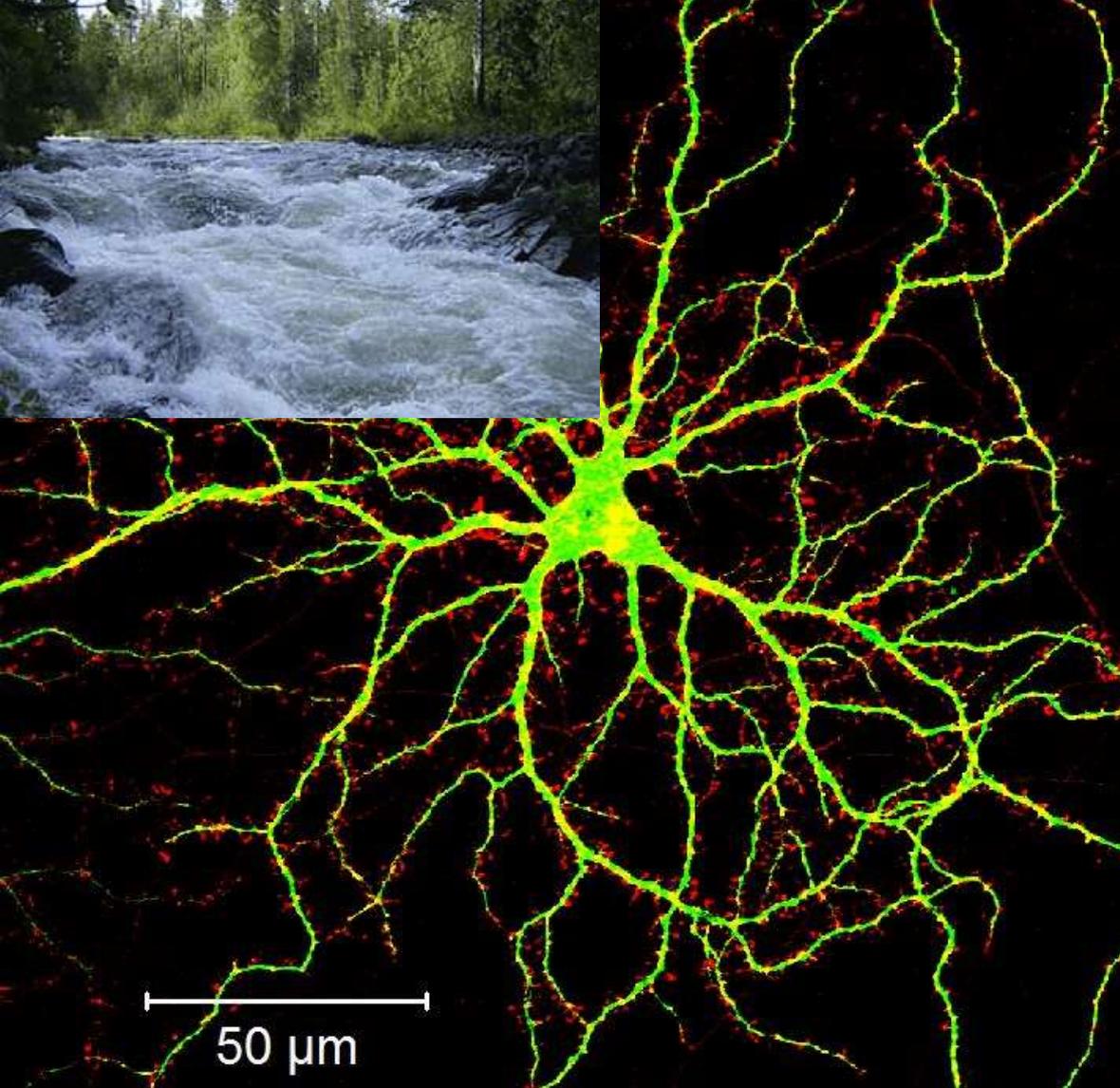
les **interactions dynamiques** au sein du **réseau** que forment ces parties.





Pour comprendre parfaitement de tels systèmes dynamiques non linéaires, il faudrait connaître à tout moment l'état et le taux de variation de chaque variable pertinente.

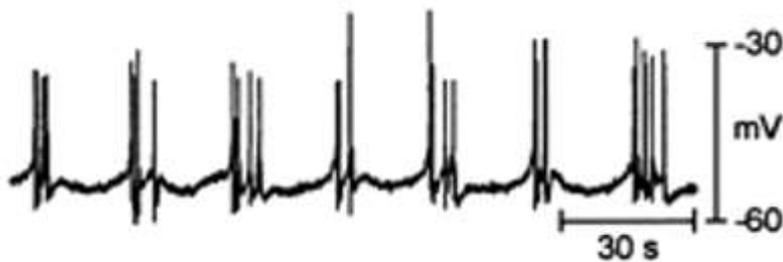




Mais même dans **un seul neurone** (qui est déjà un système dynamique complexe), c'est impossible d'avoir accès à l'état de ses innombrables éléments comme l'ouverture ou non de ses canaux membranaires, le niveau d'activité de tel ou tel enzyme, etc.

Une **description complète** des variations temporelles d'un tel système est **impossible**.

Et donc il faut faire des **simulations** avec des modèles dynamiques non linéaires.



## Plan de ce soir

De l'activité nerveuse forme  
des systèmes dynamiques non linéaires.

Différents modèles de systèmes non linéaires  
éclairent la dynamique cérébrale

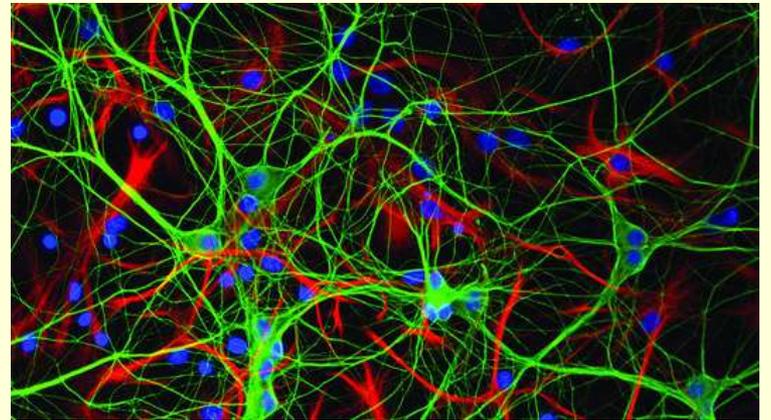
L'origine des rythmes cérébraux

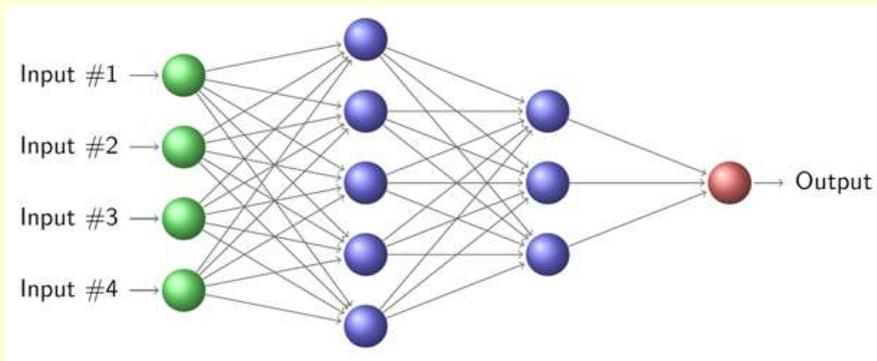
Rôles fonctionnels des oscillations  
et des synchronisations

Après la pause et quelques questions/échanges:  
Éveil, sommeil et rêve

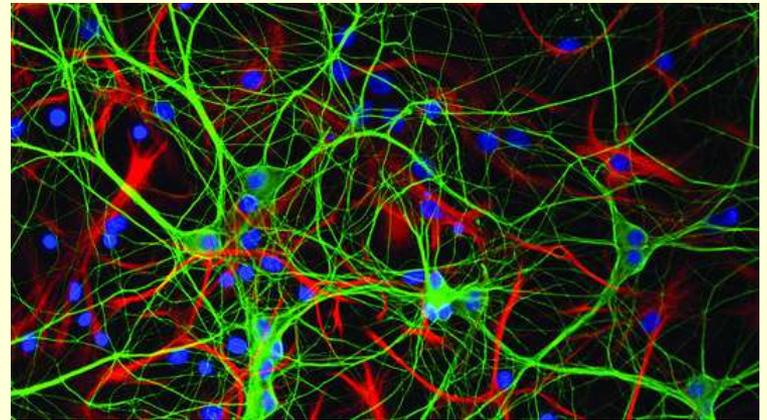
Un **modèle scientifique** est une représentation simplifiée

de ce qu'on ne peut pas voir directement pour différentes raisons :  
trop petit, trop grand, trop complexe (comme dans le cas du cerveau).





objet M



objet O

« Pour un observateur, un objet M est un modèle d'un objet O dans la mesure où l'observateur peut utiliser M pour répondre à des questions qui l'intéressent au sujet de O »

- Marvin Minsky, 1965

Quels modèles dynamiques sont les plus pertinents parmi tous ceux qui existent ?

On va maintenant en présenter quelques-uns de ces modèles :

- **Attracteur ponctuel (« point attractor state »)**
- Paysage de plusieurs attracteurs ponctuels (“attractor landscape”)
- Attracteur étrange dans les systèmes chaotiques
- Attracteur cyclique

Mais il faut garder à l'esprit **qu'un même système** avec des milliers de neurones peut **se comporter selon différents modèles dynamique** dépendamment des assemblées de neurones qui sont les plus activées à un moment donné.

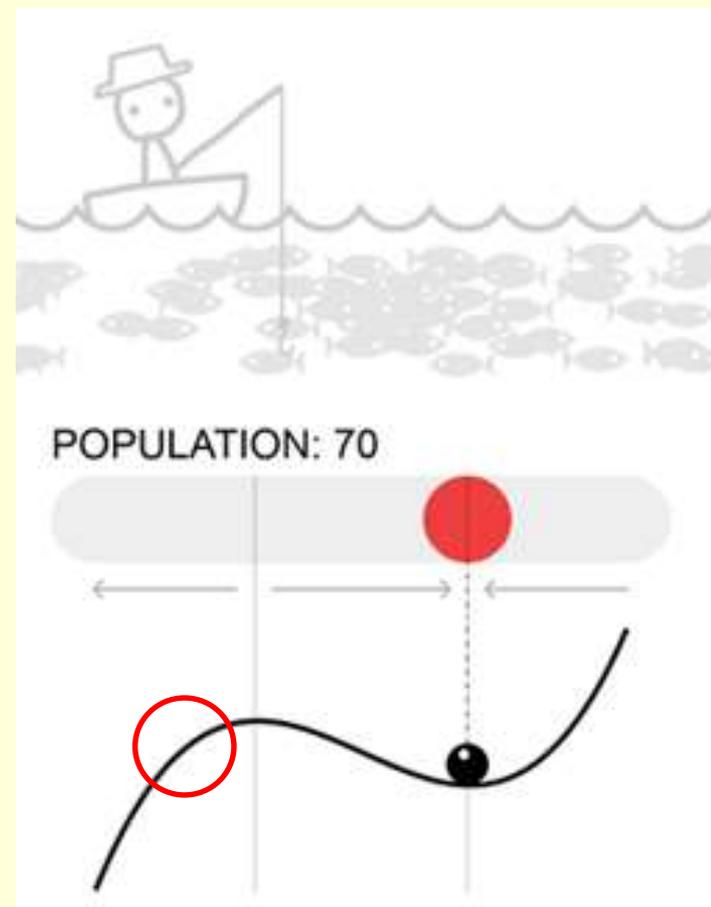
## Attracteur ponctuel (« point attractor state »)

19 juin 2018

Le **BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

### Des « paysages d'attracteurs » pour mieux comprendre les systèmes dynamiques complexes

- l'exemple d'un lac où il pourrait y avoir jusqu'à 100 poissons
- Mais parce que les ressources y sont limitées, c'est plutôt autour de 70 individus que la population se maintient naturellement s'il n'y a pas de pêche.
- Si l'on diminue cette population à 60 ou 50 individus en pêchant, en peu de temps la population reviendra naturellement à son point d'équilibre de 70 individus.
- Mais si l'on en pêche tellement que la population descend à moins de 30 individus, on assiste alors à son effondrement jusqu'à 0 individus.



## Attracteur ponctuel (« point attractor state »)

19 juin 2018

Le **BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

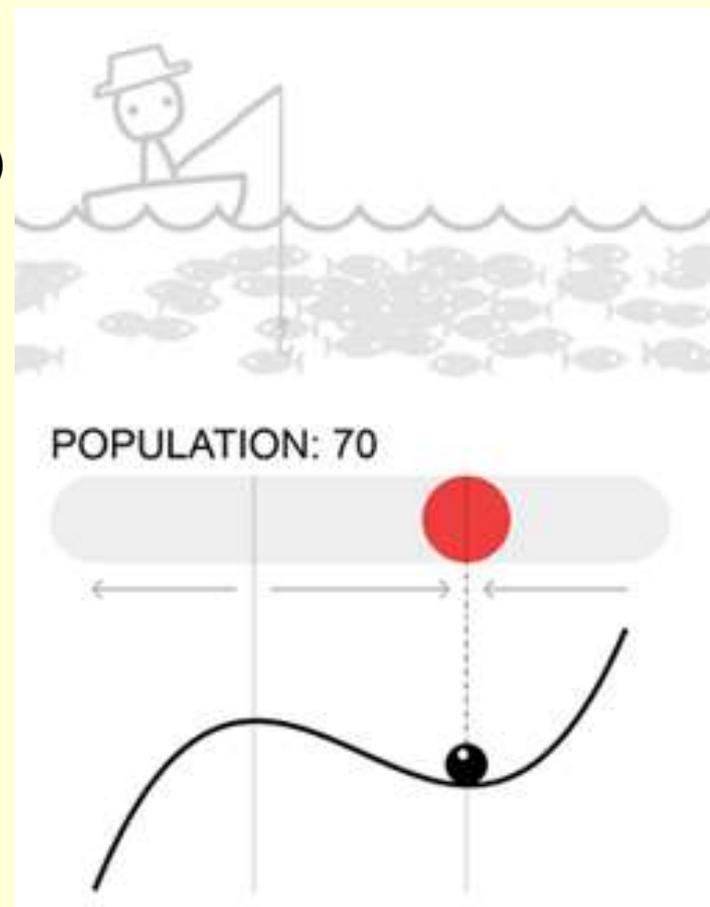
### Des « paysages d'attracteurs » pour mieux comprendre les systèmes dynamiques complexes

On appelle donc dans cet exemple les valeurs 0 et 70 des **attracteurs**, tout comme on peut appeler la valeur 30 un « repeller » (« **repoussoir** »?)

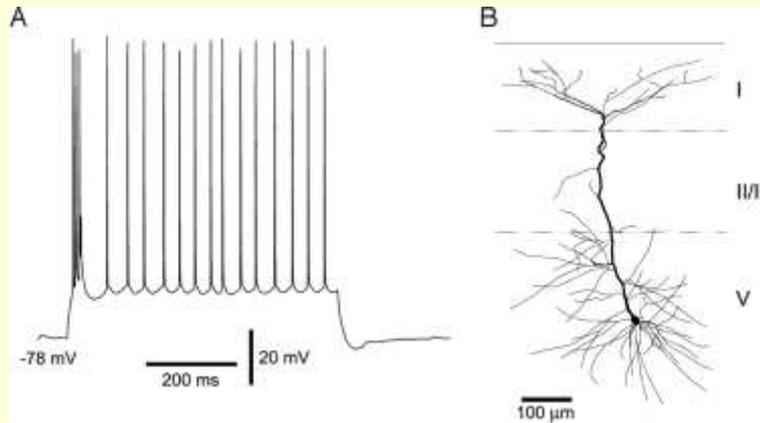
qui créent des « **tipping points** », des points de **basculement** ou de **non-retour**. »

Et ça peut donc se représenter comme des « **paysages** » d'attracteurs et de repoussoirs où une balle serait libre de rouler :

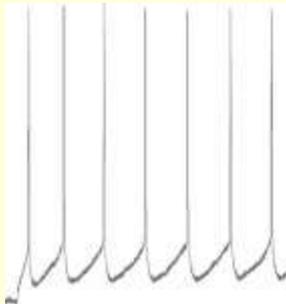
celle-ci va naturellement se retrouver dans les vallées (des attracteurs), endroit beaucoup plus stable que la cime arrondie des monts (des repoussoirs).



Ainsi dans le cerveau, un neurone (ou une population de neurones) peut émettre des influx nerveux à une certaine fréquence



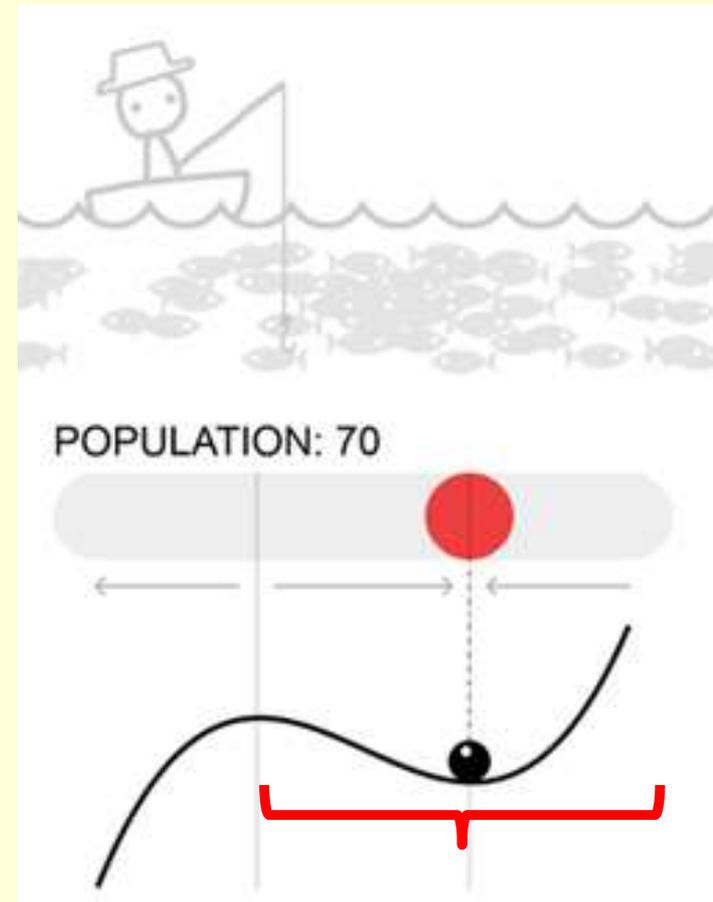
Stimulus →



mais en présence d'un stimulus va adopter un rythme différent, mais également stable.

Cette nouvelle fréquence de décharge peut alors être considérée comme un attracteur ponctuel dans cette nouvelle condition.

Autrement dit, il peut y avoir des **variations** dans les conditions, mais si celle-ci ne sont pas trop grandes, le système aura tendance à revenir à **une certaine valeur** qui est cet attracteur point.



Quels modèles dynamiques sont les plus pertinents parmi tous ceux qui existent ?

On va maintenant en présenter quelques-uns de ces modèles :

- Attracteur ponctuel (« point attractor state »)
- Paysage de plusieurs attracteurs ponctuels (“attractor landscape”)
- Attracteur étrange dans les systèmes chaotiques
- Attracteur cyclique

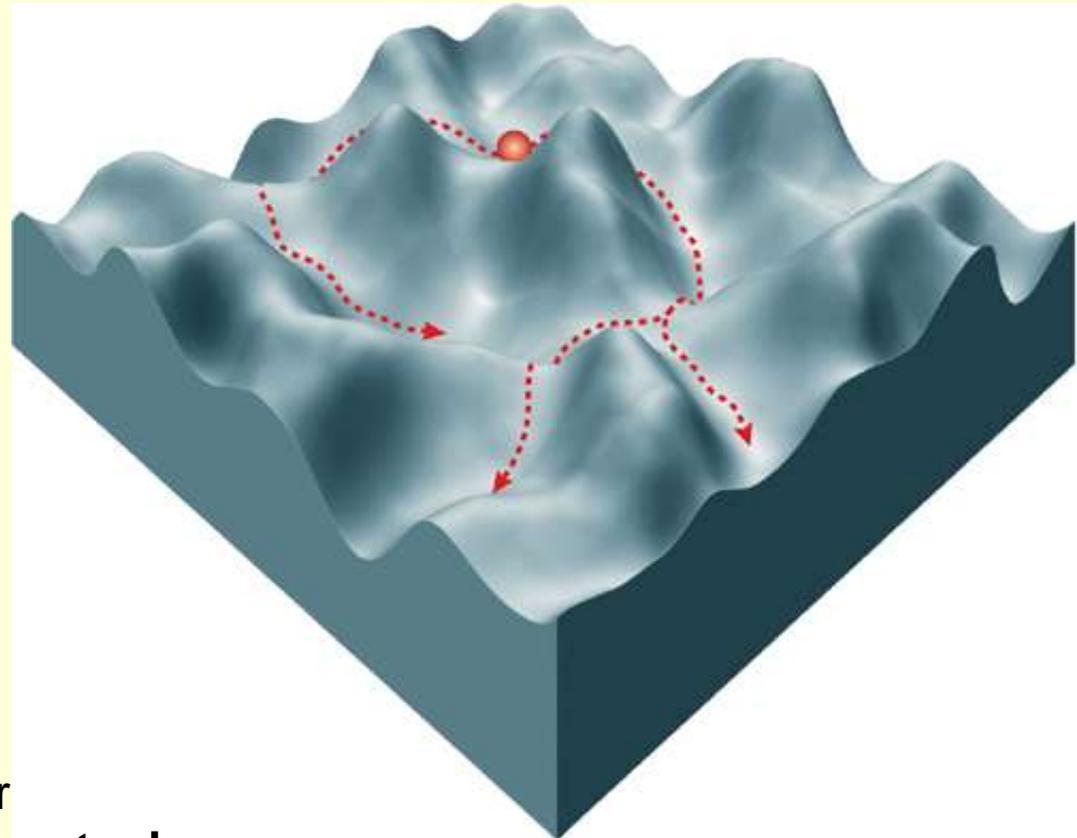
## Paysage de plusieurs attracteurs ponctuels (“attractor landscape”)

→ Si l’on avait maintenant non pas un mais **deux** paramètres, il faudrait une représentation 3D comme ceci :

Notez qu’un système complexe peut avoir **bien plus de paramètres** encore, ce qui n’empêche pas de les modéliser avec toujours une dimension de plus nécessaire pour les représenter

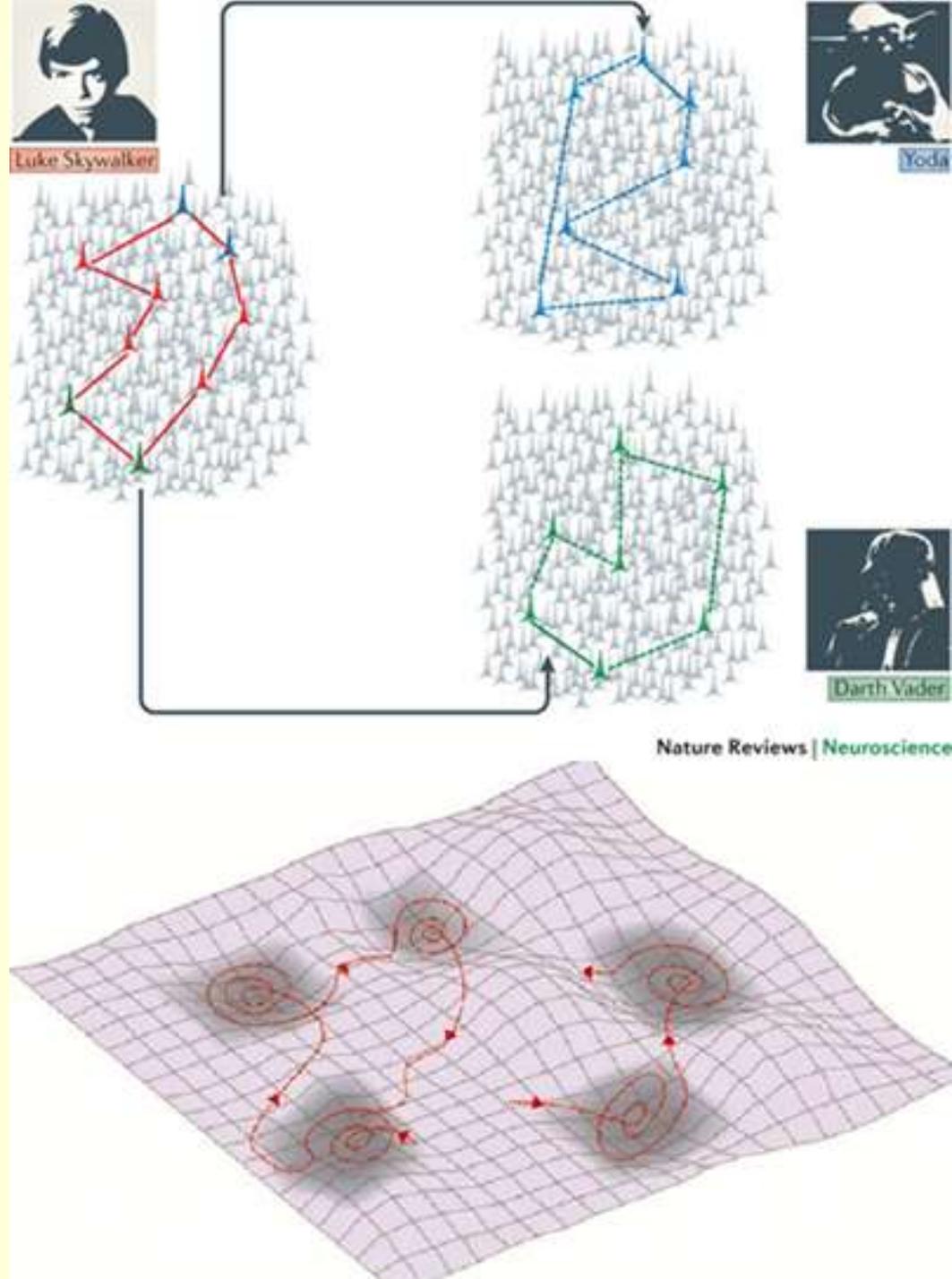
(ce qui se visualise moins facilement au-delà de 3 dimensions!).

Un système peut ainsi posséder **d’innombrables attracteurs ponctuels.**



Des paysages d'attracteurs sont utilisés pour modéliser ce qu'on appelle un **engramme mnésique**, autrement dit la trace neuronale d'un souvenir dans notre cerveau,

des assemblées de neurones **sélectionnées** par l'apprentissage, devenues «habituées de travailler ensemble» et où l'activité nerveuse aurait tendance à se produire plus souvent, à se maintenir plus longtemps, etc.

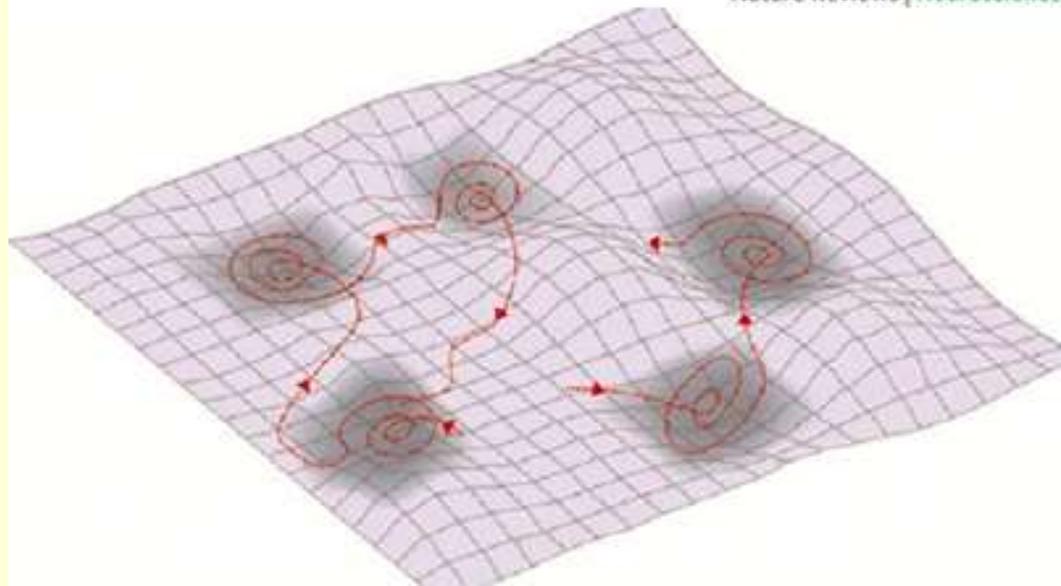
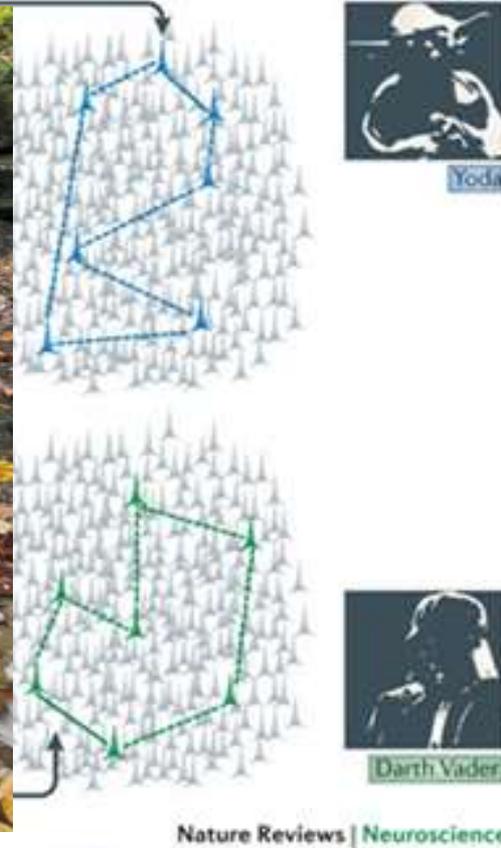


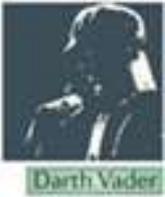
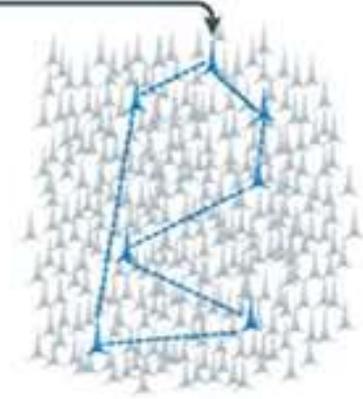
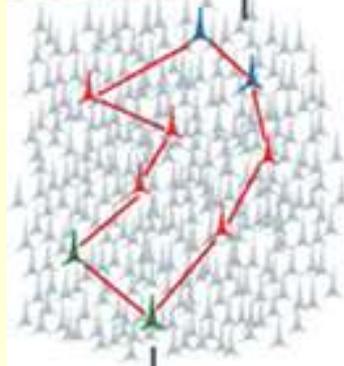
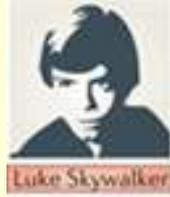
Un peu comme une feuille d'arbre prise dans un tourbillon derrière une roche.

Profitant d'une fluctuation du courant, elle peut s'en échapper pour tomber dans le tourbillon d'à côté.

Quand on apprend quelque chose, on modifie nos connexions synaptiques et donc, à la longue, nos paysages d'attracteurs.

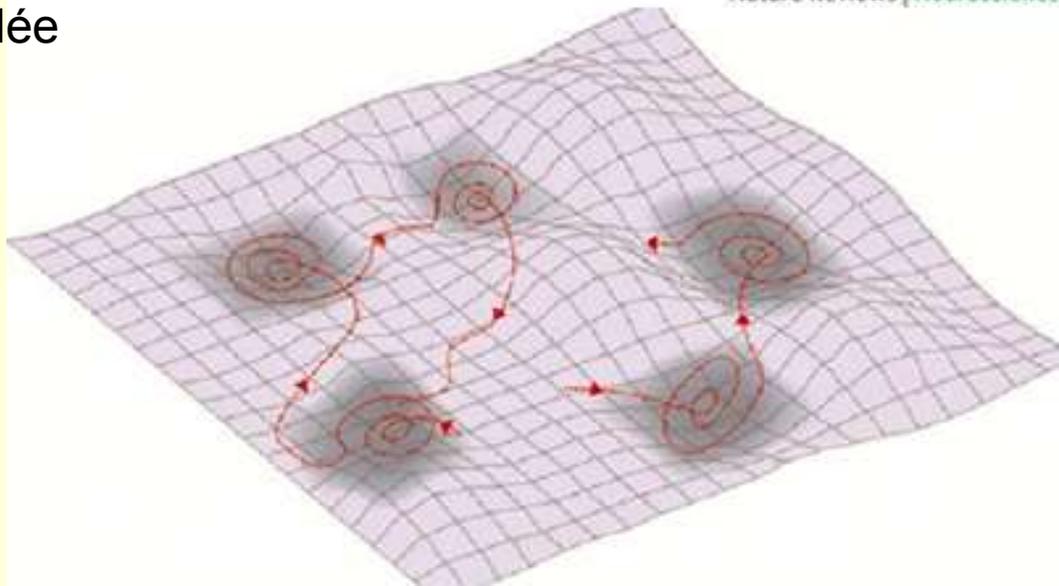
Résultat : nos comportements tendront à être différents après l'apprentissage parce notre activité nerveuse se stabilisera ailleurs, dans de nouveaux attracteurs.





Nature Reviews | Neuroscience

Phénomène de « **pattern completion** » :  
passage ou « glissement » d'une vallée  
à une vallée voisine !



Quels modèles dynamiques sont les plus pertinents parmi tous ceux qui existent ?

On va maintenant en présenter quelques-uns de ces modèles :

- Attracteur ponctuel (« point attractor state »)
- Paysage de plusieurs attracteurs ponctuels (“attractor landscape”)
- **Attracteur étrange dans les systèmes chaotiques**
- Attracteur cyclique

## Attracteur étrange dans les systèmes chaotiques

Dans de tels modèles, l'état du système suit un itinéraire entre certains attracteurs mais de façon irrégulière et **imprévisible**.

D'où leur nom « **d'attracteurs étranges** ».

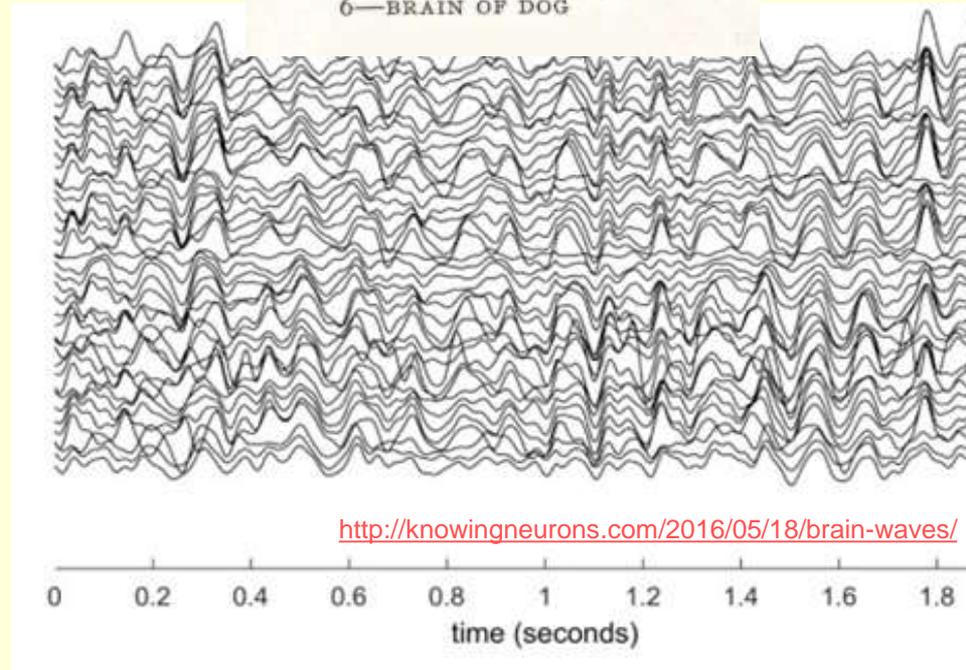
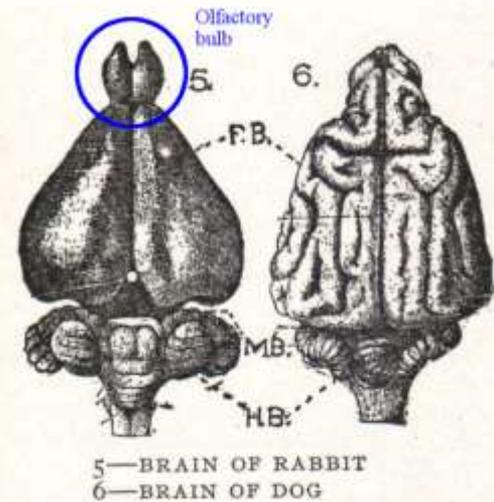
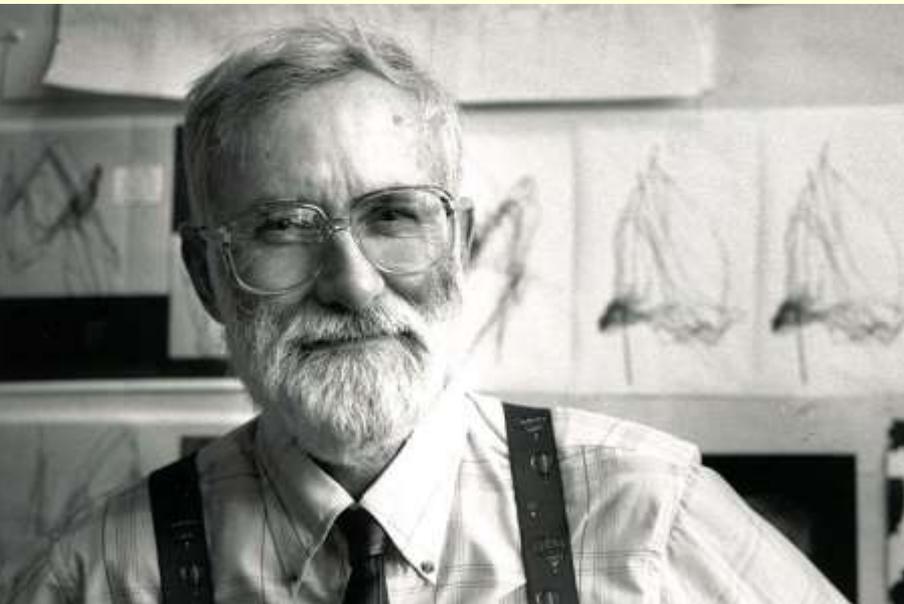
Et surtout, de toutes **petites variations** dans les conditions de tels systèmes peuvent amener de **très grands changements** dans le comportement du système.

# Chaos, Meaning, and Rabbits: Remembering Walter J. Freeman III

15 June 2016

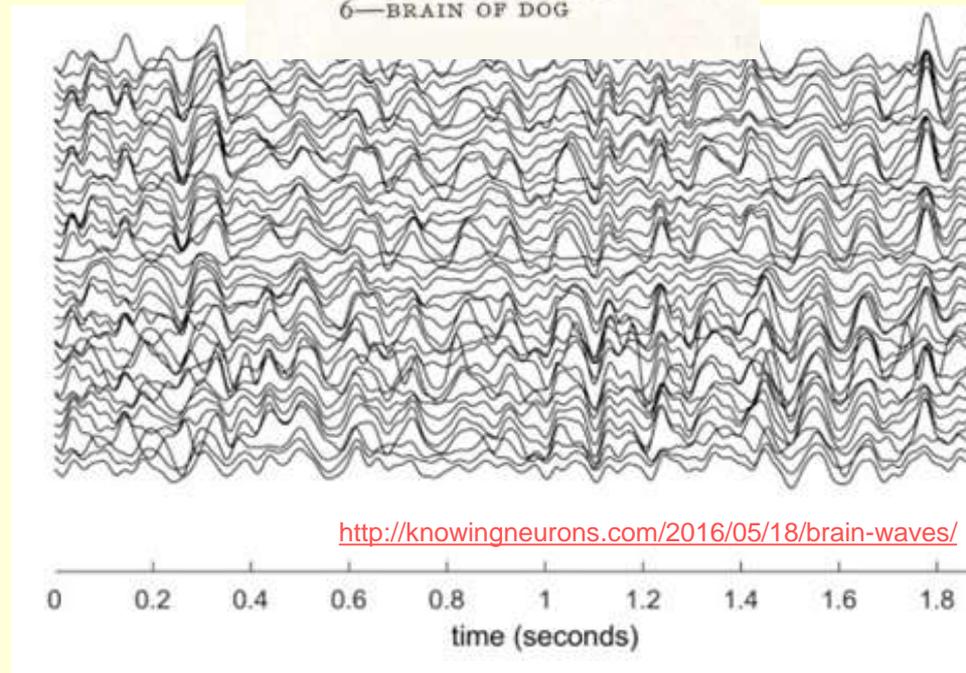
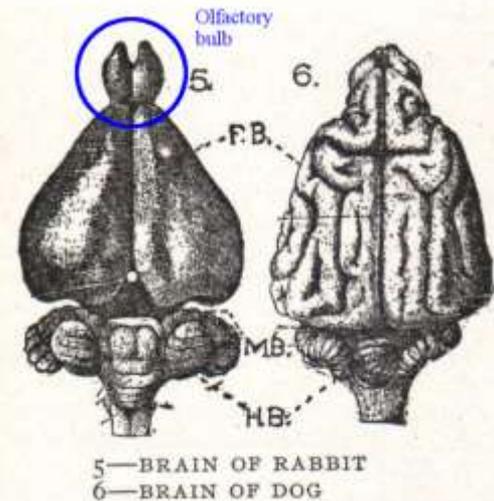
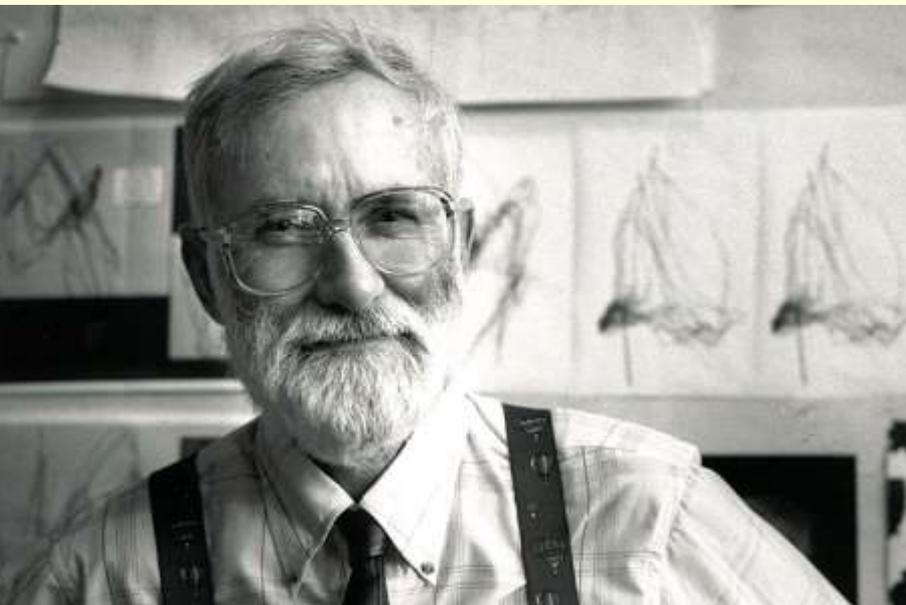
Joel Frohlich

<http://knowingneurons.com/2016/06/15/chaos-meaning-rabbits/>



Pour essayer de comprendre comment le cerveau donne du sens à un stimulus, Freeman a entraîné des **lapins** à répondre à des **odeurs** pendant qu'il enregistrait les patterns d'activité électrique dans le bulbe olfactif.

Parce que la distribution spatiale des patterns d'activité électrique était importante pour la perception des odeurs, Freeman a été l'un des premiers à réaliser que **la perception requiert la "mass action" de milliers ou de millions de neurones.**

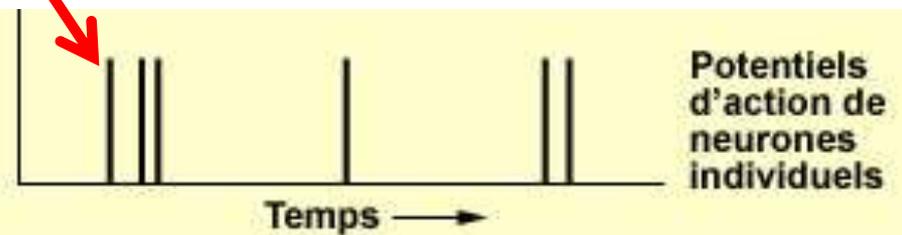
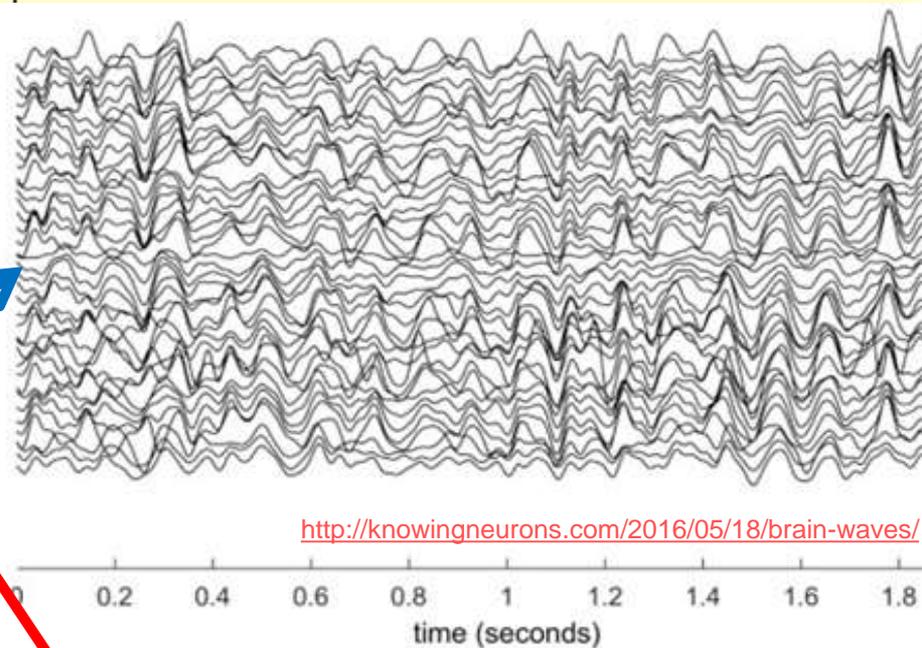
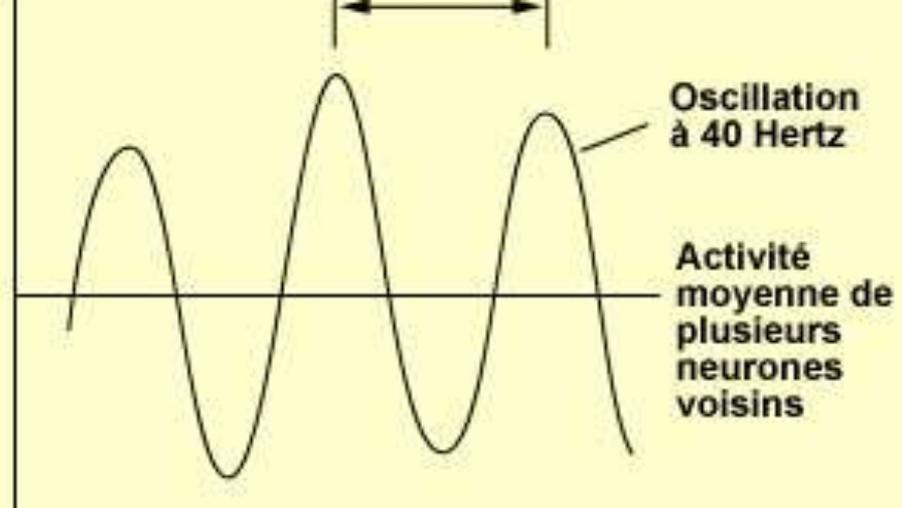


Pour essayer de comprendre comment le cerveau donne du sens à un stimulus, Freeman a entraîné des **lapins** à répondre à des **odeurs** pendant qu'il enregistrait les patterns d'activité électrique dans le bulbe olfactif.

Quand il a commencé sa carrière dans les années 1960, les gens s'intéressaient soit à l'activité globale du cerveau avec l'**EEG**,

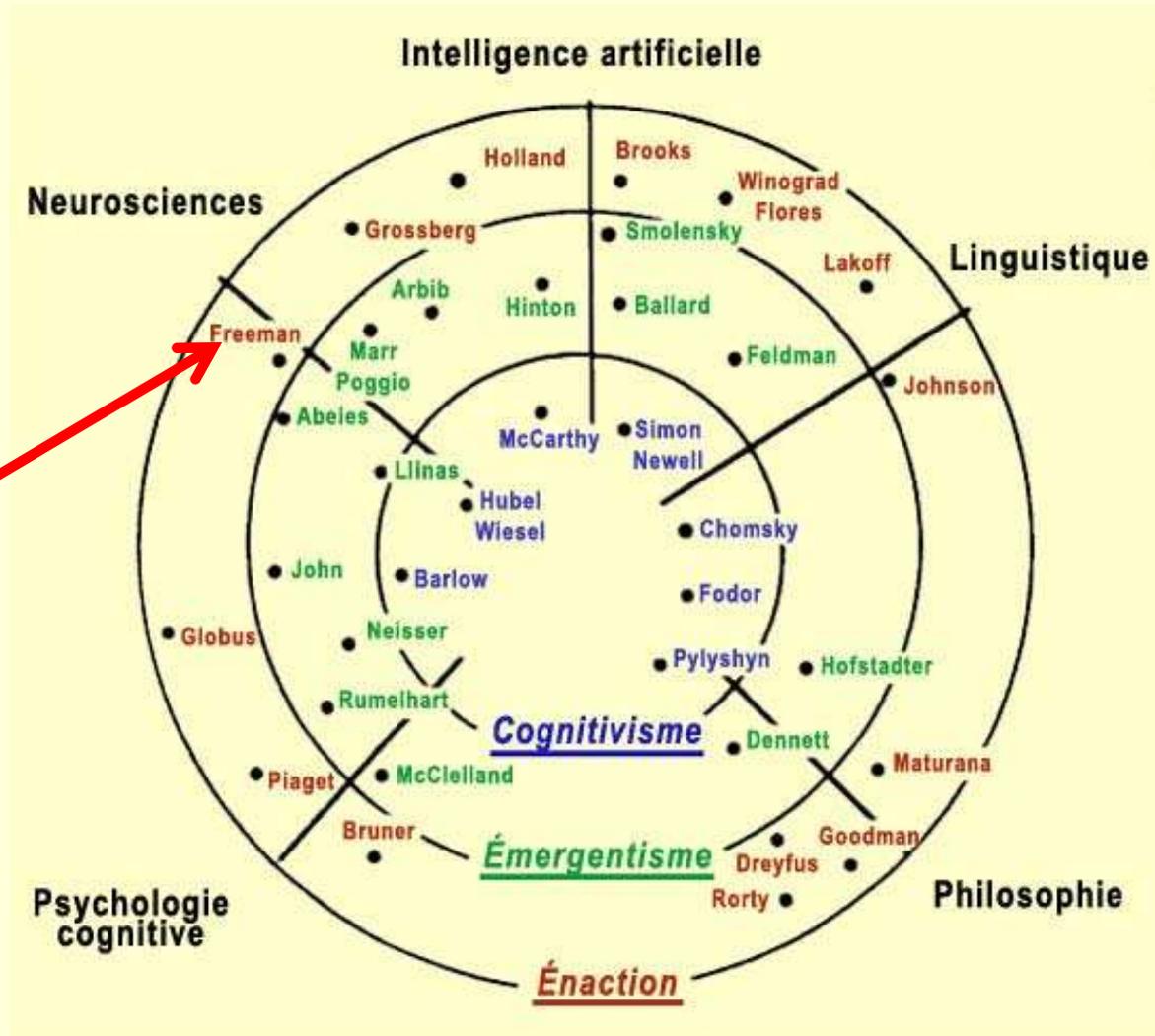
soit aux **potentiels d'action** de neurones isolés.

Freeman va faire le pont entre ces deux extrême en étudiant le cerveau à **l'échelle mésoscopique** avec de multiples petites électrodes.



Pour comprendre la dynamique complexe observée dans le bulbe olfactif, Freeman fonde la “**neurodynamics**”,

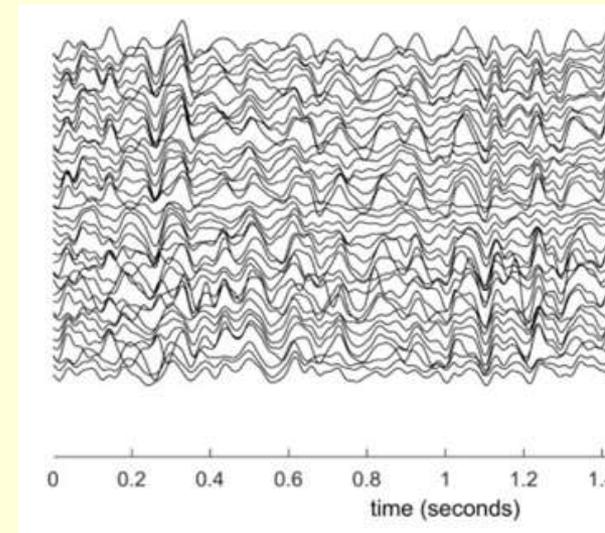
un nouveau champ d'étude des **neurosciences computationnelles** qui va faire appel à la physique du chaos et les mathématiques non linéaires pour étudier le cerveau.



Quelques mots sur la physique du chaos...

**Jusqu'au milieu du XXe siècle**, on distinguait deux types de phénomènes naturels : les phénomènes aléatoires, qui sont par conséquent imprévisibles, et les phénomènes obéissant à une loi déterministe, qui de ce fait sont prévisibles. Autrement dit, connaissant leurs conditions initiales, on pouvait prédire leur comportement futur.

Or on s'est aperçu que certains systèmes déterministes étaient constitués d'un très grand nombre d'entités en interaction locale et simultanée, ce qui **empêchait** l'observateur de prévoir son comportement ou son évolution par le calcul **linéaire**.

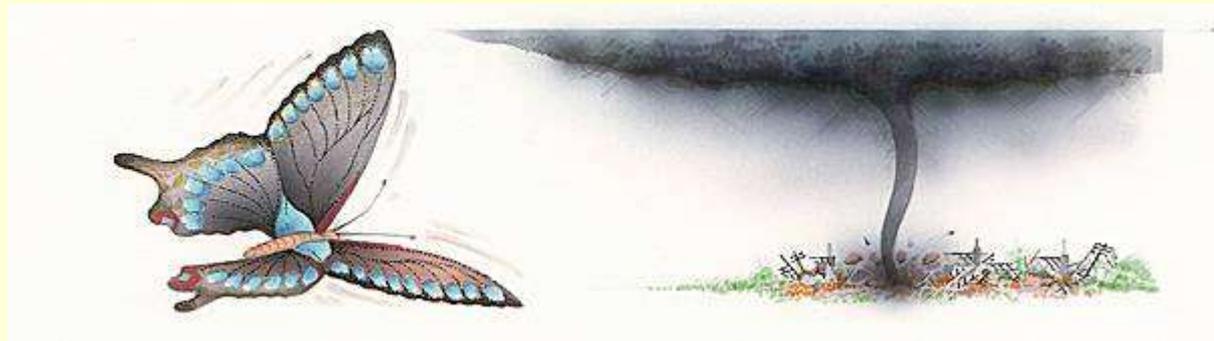


**Jusqu'au milieu du XXe siècle**, on distinguait deux types de phénomènes naturels : les phénomènes aléatoires, qui sont par conséquent imprévisibles, et les phénomènes obéissant à une loi déterministe, qui de ce fait sont prévisibles. Autrement dit, connaissant leurs conditions initiales, on pouvait prédire leur comportement futur.

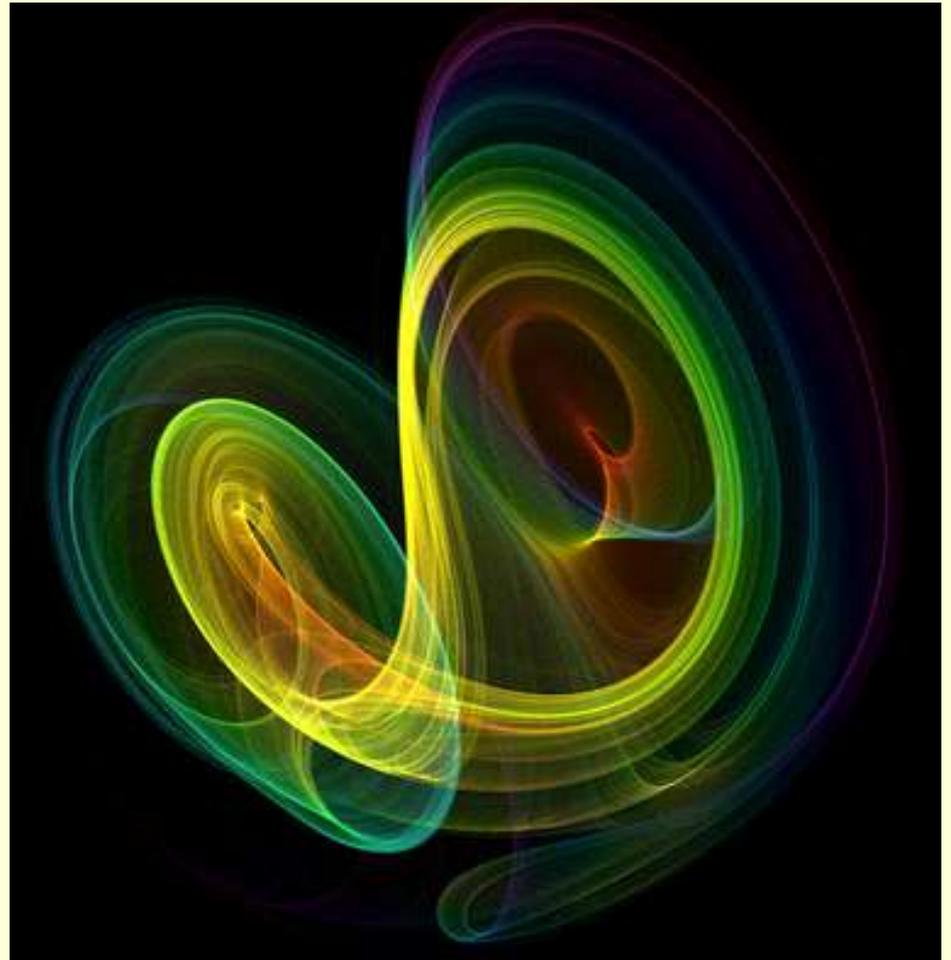
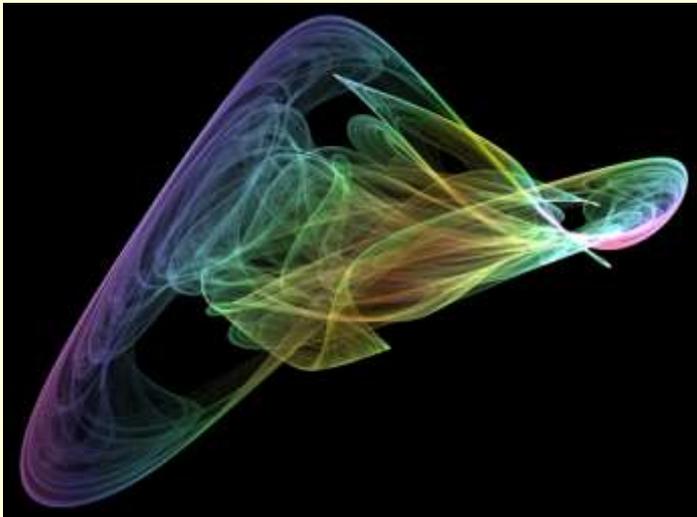
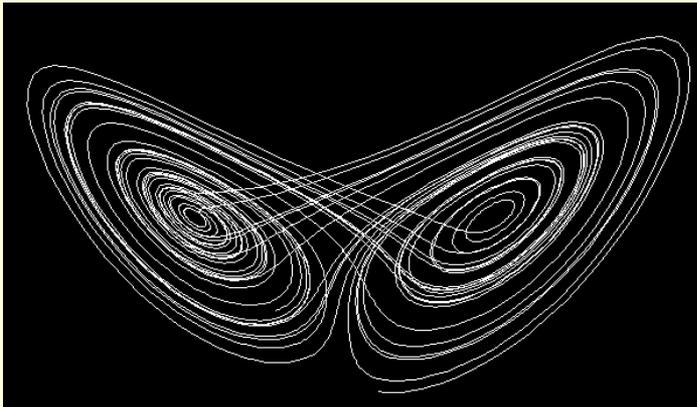
Or on s'est aperçu que certains systèmes déterministes étaient constitués d'un très grand nombre d'entités en interaction locale et simultanée, ce qui **empêchait** l'observateur de prévoir son comportement ou son évolution par le calcul **linéaire**.

Dans ce type de système, une légère modification des conditions initiales de l'état du système décrit pourtant par des lois déterministes peut suffire à rendre imprévisible son comportement. On dit de ces systèmes **sensibles aux conditions initiales** qu'ils sont "**chaotiques**".

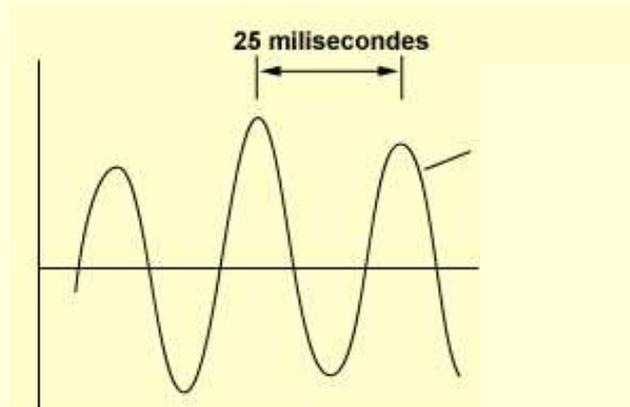
« **L'effet papillon** »



Les grandeurs qui définissent ces systèmes chaotiques, loin de varier dans le temps de manière absolument aléatoire et illimitée, apparaissent confinées, ou si l'on veut «tenues en laisse», par un élément d'ordre appelé **«attracteur étrange»**.



Attention : quand les neurobiologistes parlent d'oscillations cérébrales, on peut être porté à croire qu'il s'agit d'ondes **sinusoïdales parfaites** (ce qui n'est pas le cas évidemment).



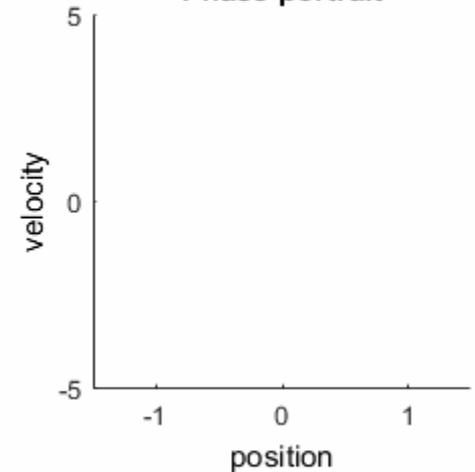
Une telle onde sinusoïdale découle d'un cercle parfait, comme le démontre l'exemple ci-dessous où l'on observe l'évolution cyclique d'un pendule selon sa **position** et sa **vélocité**.

On appelle ce genre de graphe un "**phase portrait**" qui décrit un attracteur, ici toujours l'orbite du cercle.

Simple pendulum



Phase portrait



Si l'on ajoute maintenant simplement un second pendule au premier, sa trajectoire est beaucoup plus complexe. Même si elle répond toujours à de simples équations, son comportement, lui, est difficile à prédire.

**C'est un exemple de chaos déterministe.**

Si l'on regarde le “**phase portrait**” correspondant, on voit que les lignes ne passent jamais au même endroit tout en traçant un pattern reconnaissable.

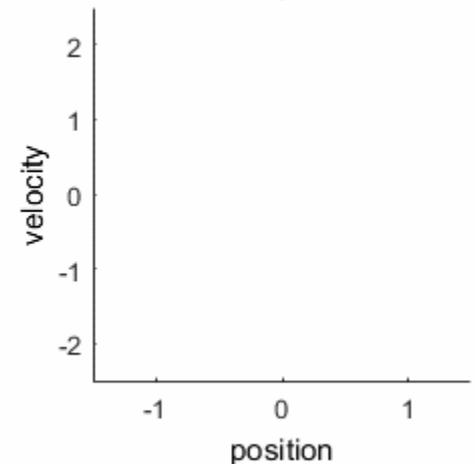
**Il s'agit donc d'un attracteur étrange.**

Et contrairement au pendule simple, le double pendule va démontrer **différents comportements** selon l'endroit où on commence à le faire osciller, une propriété du chaos déterministe.

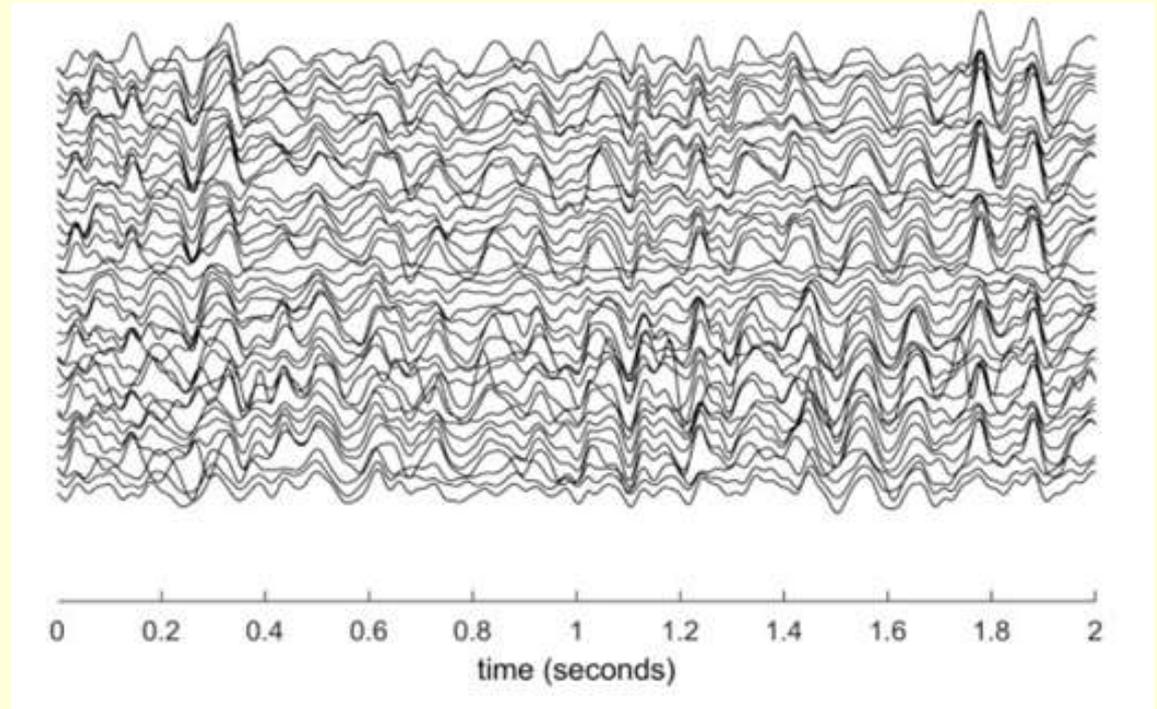
Double pendulum



Phase portrait



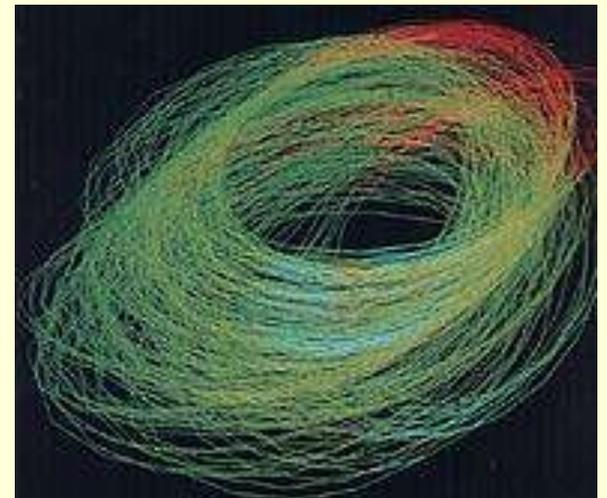
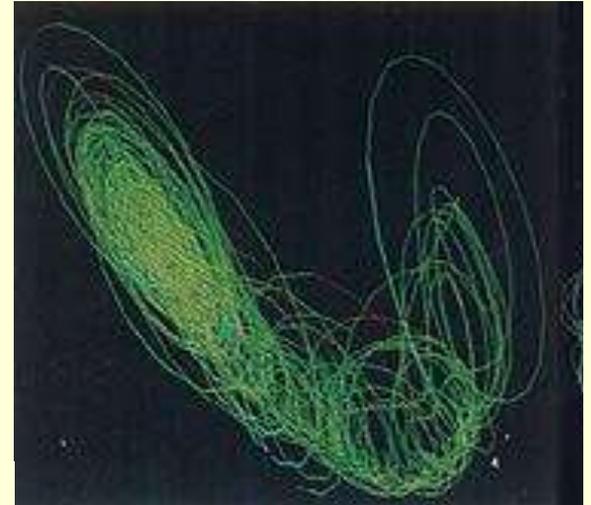
De la même manière, et c'est ce que Freeman a démontré, on peut faire un **“phase portrait”** pour visualiser l'activité simultanée de deux enregistrements électrophysiologiques.



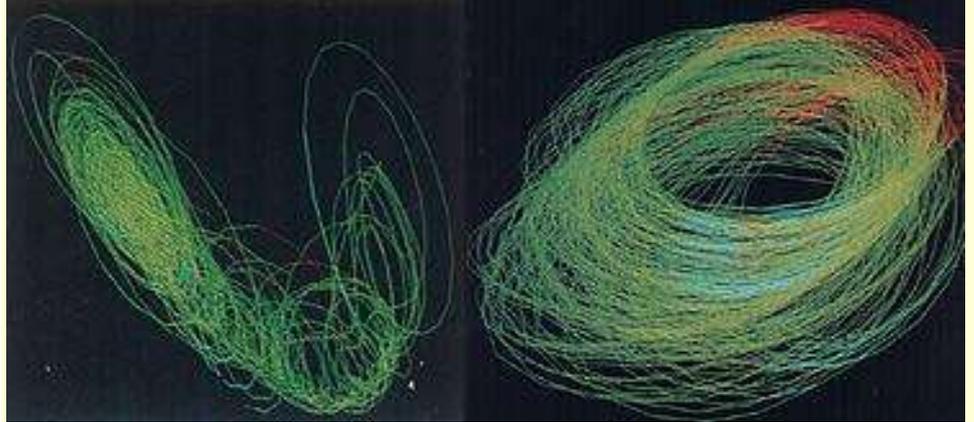
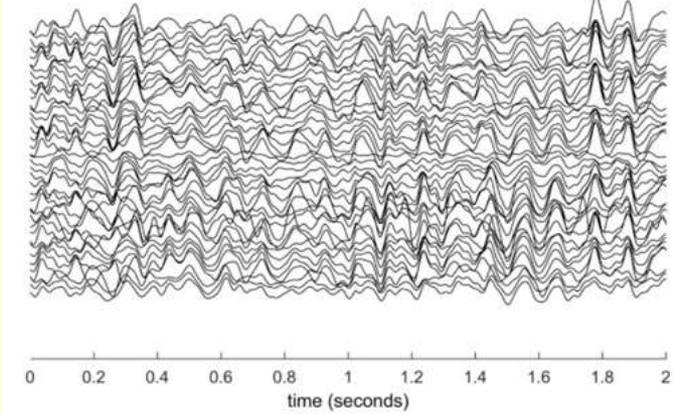
De la même manière, et c'est ce que Freeman a démontré, on peut faire un "**phase portrait**" pour visualiser l'activité simultanée de deux enregistrements électrophysiologiques.

En faisant cela, Freeman a découvert qu'en l'absence d'une odeur familière, **le système olfactif du lapin se comporte selon un attracteur chaotique** (et donc pas du tout comme une oscillations sinusoïdale parfaite).

Si l'on présente une odeur familière à l'animal, le "**phase portrait**" devient plus ordonné, un peu comme l'orbite du pendule simple.

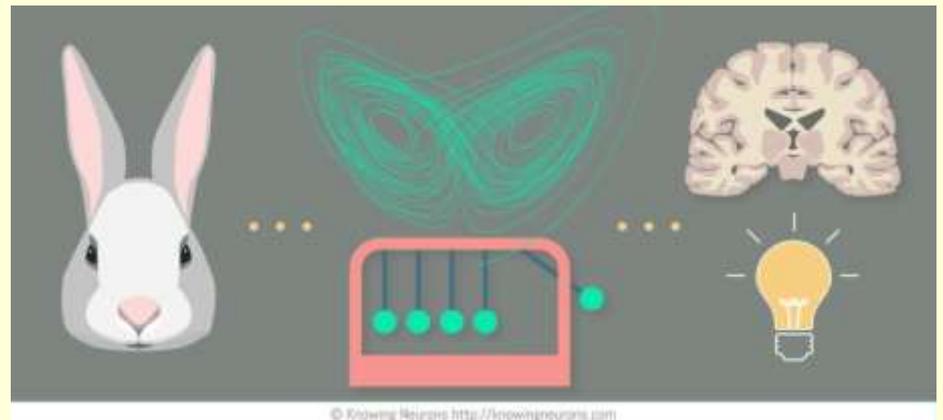


Des odeurs apprises peuvent donc faire **basculer le système d'un attracteur à un autre.**



Derrière ce qui ne semble être que du « bruit », ces **fluctuations** chaotiques révèlent des régularités et des propriétés, comme par exemple une capacité de changements rapides et étendus, qui sont **compatibles avec celles de la pensée humaine**.

Car pour Freeman, ce sont ces patterns (au niveau **meso**) qui constituent la signification construite par le cerveau à partir des stimuli.



Pour lui, notre expérience du monde réside au niveau de ces patterns alors que les propriétés physiques brutes des stimuli sont rapidement écartées par le cerveau.

Quels modèles dynamiques sont les plus pertinents parmi tous ceux qui existent ?

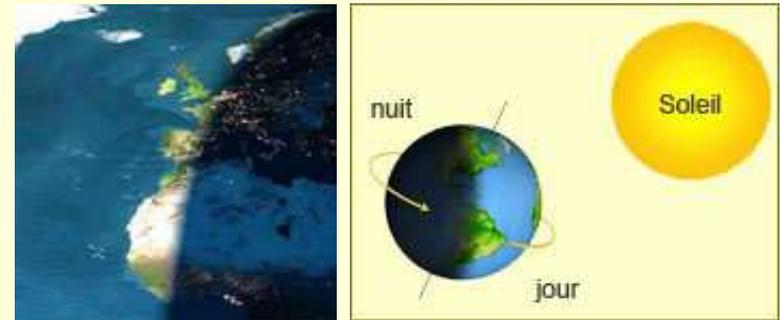
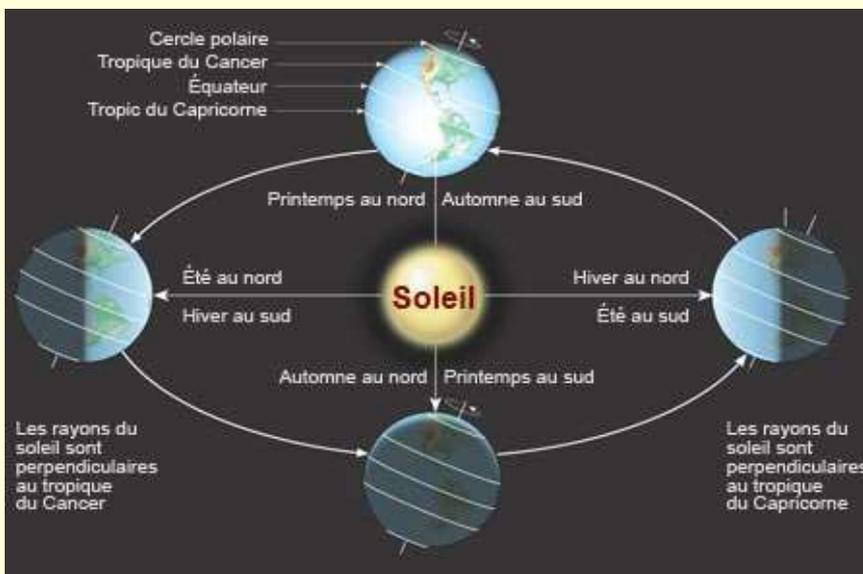
On va maintenant en présenter quelques-uns de ces modèles :

- Attracteur ponctuel (« point attractor state »)
- Paysage de plusieurs attracteurs ponctuels (“attractor landscape”)
- Attracteur étrange dans les systèmes chaotiques
- **Attracteur cyclique**

## Attracteur cyclique

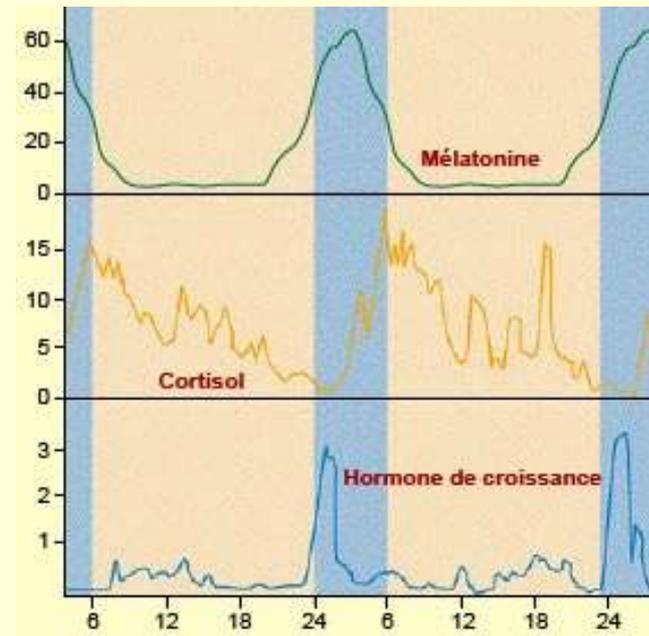
Un autre cas de système dynamique est celui où il génère des oscillations.

Des états initiaux variés dans un tel système vont converger vers des fluctuations cycliques ayant une fréquence donnée.



On connaît beaucoup de phénomènes cycliques dans la nature...

...et dans le corps humain.



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017.  
**Discoveries of Molecular Mechanisms Controlling the Circadian Rhythm**

[https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/2017/advanced-medicineprize2017.pdf](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2017/advanced-medicineprize2017.pdf)

« Qui veut voyager loin ménage sa monture »

7 octobre 2017 Par Jean Claude Ameisen

<https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-07-octobre-2017>

Ce type **d'attracteur cyclique** est extrêmement répandu dans le cerveau et beaucoup de recherches tentent d'élucider le rôle de ces rythmes cérébraux (on y revient dans un instant).

Mais d'abord, attardons-nous sur les **sources** de ces oscillations d'activité nerveuse qui peuvent être :

- 1) intrinsèques aux neurones eux-mêmes, ou
- 2) provenir de la connectivité des circuits.

## Plan de ce soir

De l'activité nerveuse forme  
des systèmes dynamiques non linéaires.

Différents modèles de systèmes non linéaires  
éclairent la dynamique cérébrale

**L'origine des rythmes cérébraux**

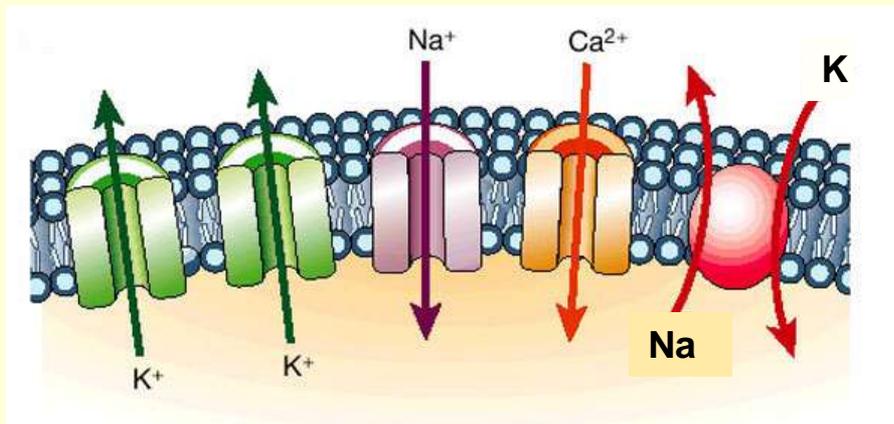
Rôles fonctionnels des oscillations  
et des synchronisations

**Après la pause et quelques questions/échanges:**  
Éveil, sommeil et rêve

György Buzsáki : les phénomènes **fluctuants (ou cycliques)** comme les oscillations neuronales sont omniprésents dans la nature.

Il suffit que **deux forces s'opposent** pour que le calme plat soit rapidement **remplacé par un rythme**.

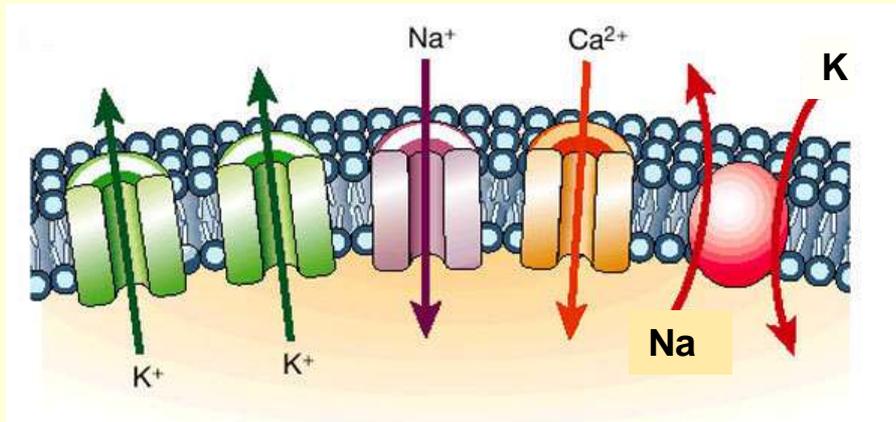
Et notre cerveau regorge de forces qui s'opposent, à commencer par les **canaux ioniques** qui **dépolarisent** ou **hyperpolarisent** les neurones.



György Buzsáki : les phénomènes **fluctuants (ou cycliques)** comme les oscillations neuronales sont omniprésents dans la nature.

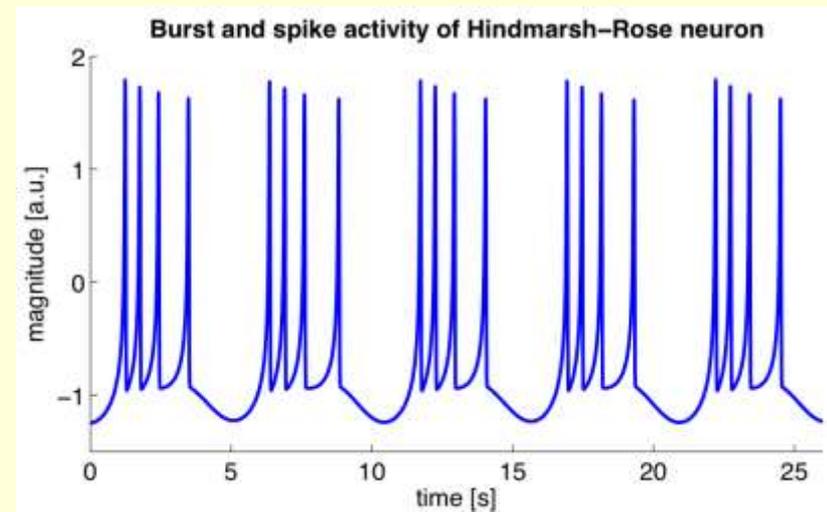
Il suffit que **deux forces s'opposent** pour que le calme plat soit rapidement **remplacé par un rythme**.

Et notre cerveau regorge de forces qui s'opposent, à commencer par les **canaux ioniques** qui **dépolarisent** ou **hyperpolarisent** les neurones.

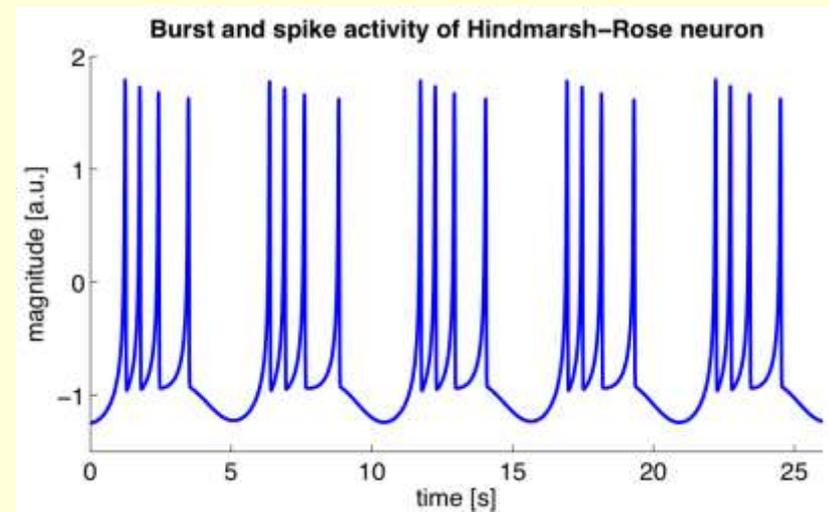
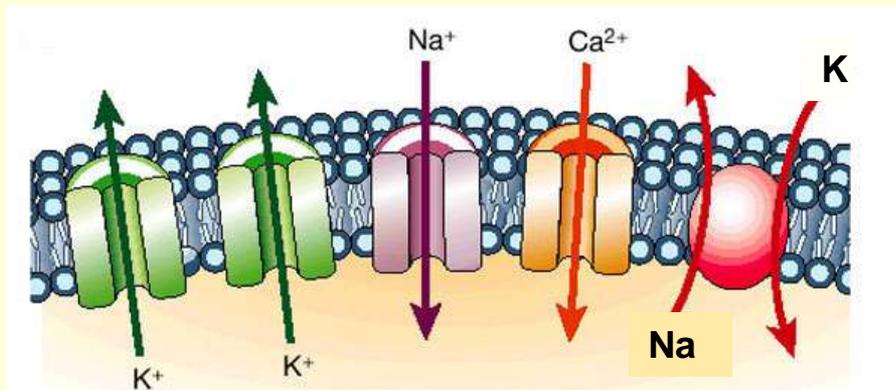
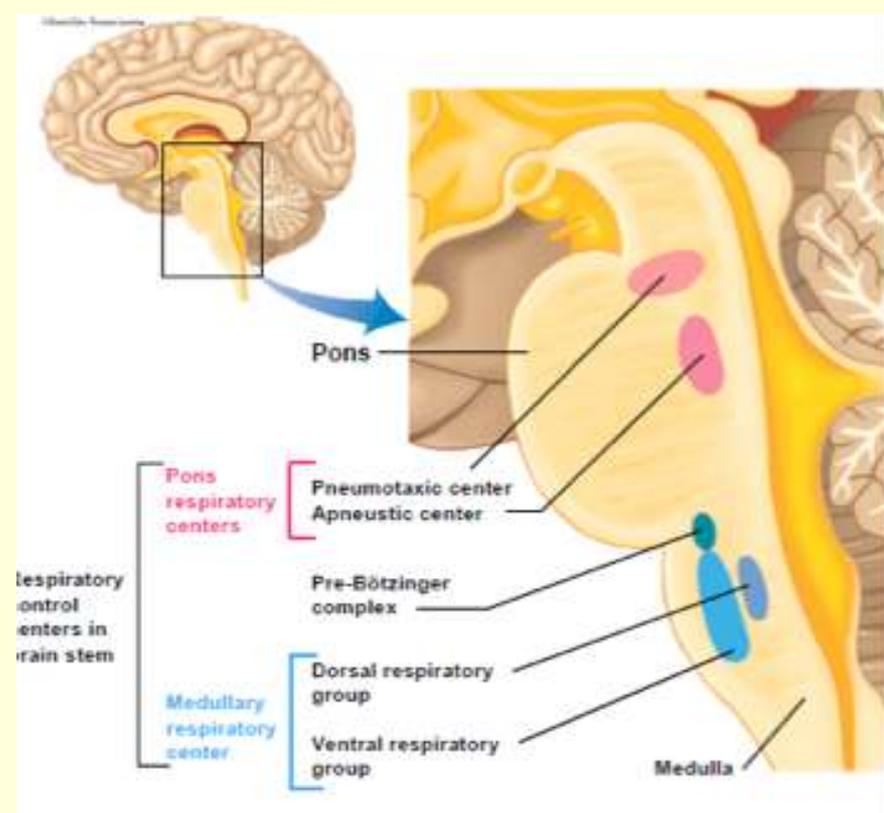


Et c'est ce qui va permettre à de nombreux neurones d'avoir une **activité spontanée**

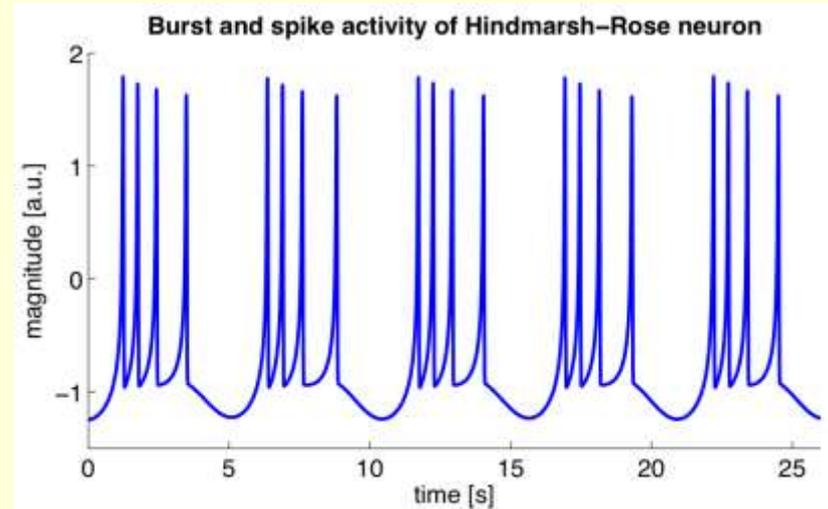
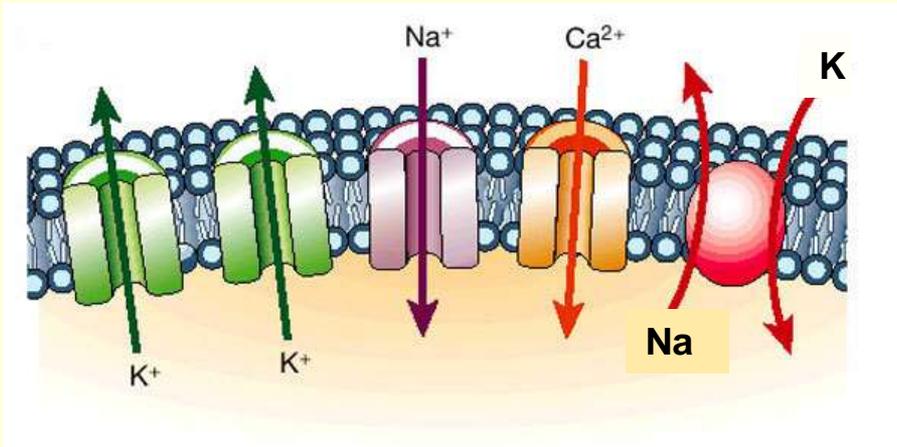
dont le rythme et la signature varie, mais qui peuvent faire des **bouffées rythmiques**, par exemple.



Exemple :  
**les centres respiratoires**  
du tronc cérébral



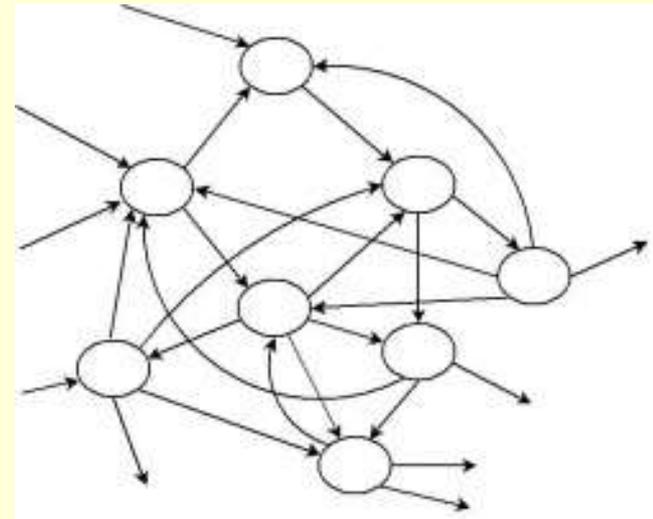
En plus de cette première façon de générer des rythmes par les propriétés **intrinsèque de la membrane** du neurone (« endogenous bursting cells »)



Des rythmes peuvent aussi être générés par les **propriétés du réseau**,

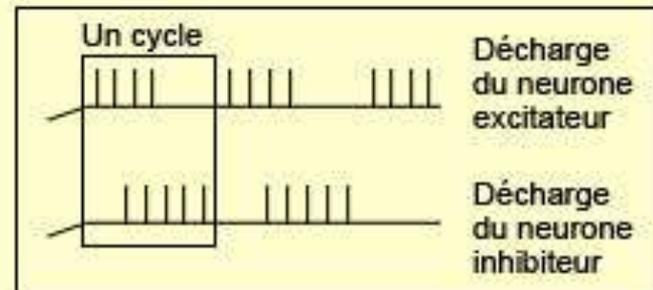
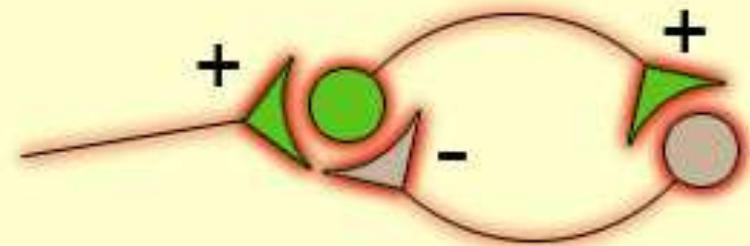
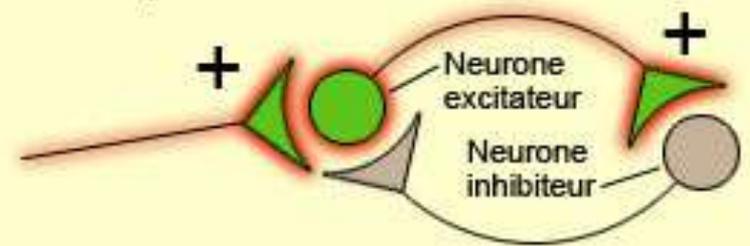
c'est-à-dire par des **boucles**

(excitation-inhibition  
ou inhibition-inhibition)

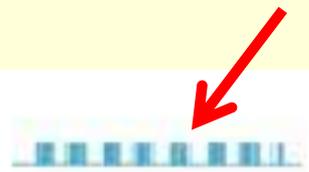


Exemple d'activité rythmique  
générée par une boucle  
« excitation-inhibition » entre  
un **neurone pyramidal**  
et un **interneurone**.

Afférence excitatrice  
active en permanence



**b**



Temporally organized spike trains



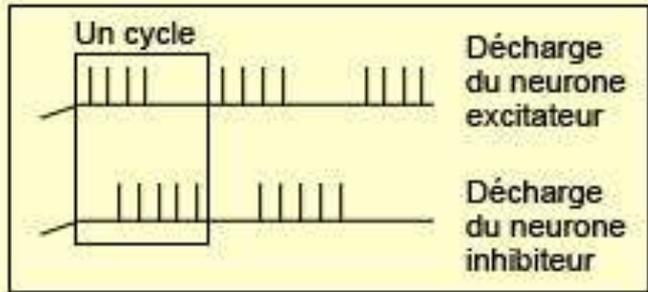
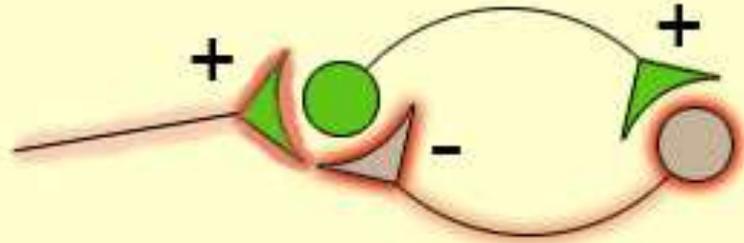
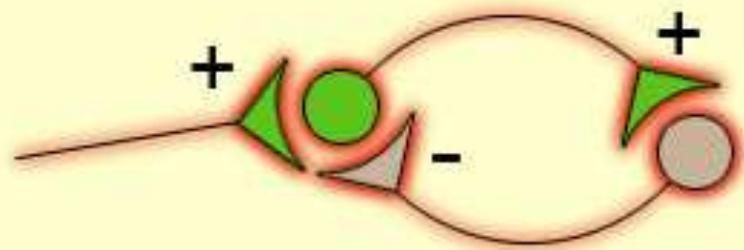
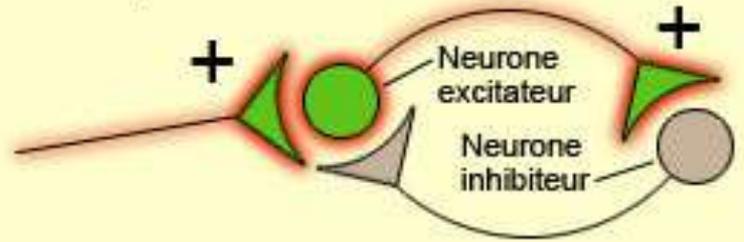
Theta (delta)

Layer IV



Continuous modulated stimulus-driven spike trains

Afférence excitatrice active en permanence



L'équilibre entre l'activité de neurones utilisant des neurotransmetteurs **excitateurs** et **inhibiteurs** est donc primordial pour nos fonctions cognitives car il permet de générer des **patterns d'activité complexes**.

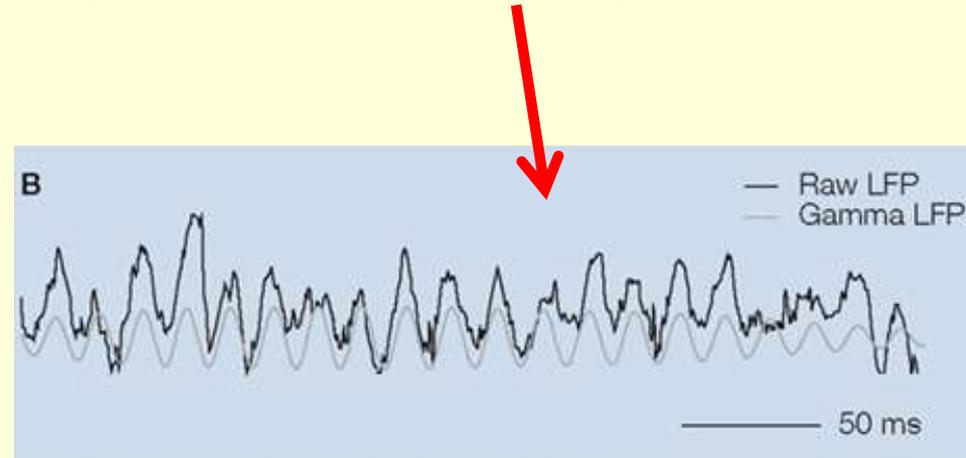
Les deux neurotransmetteurs qui font en quelque sorte le "travail de base" dans le cerveau sont le **glutamate** (excitateur) et le **GABA** (inhibiteur).

Plus spécifiquement :

« any system with fast positive feedback and slower negative feedback is liable to **oscillate.**”

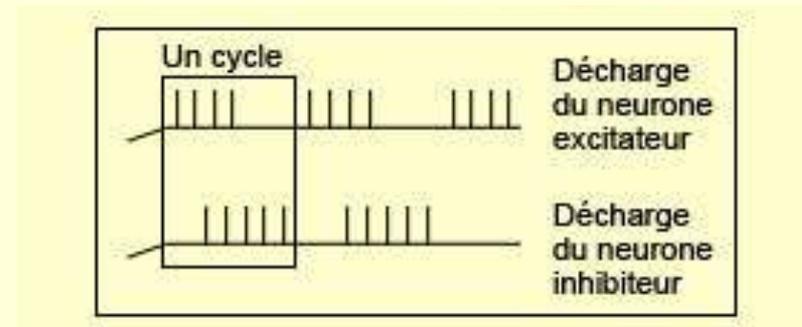
- Paul Miller

Dynamical systems, attractors, and neural circuits  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4930057/>



Excitation and Inhibition: The Yin and Yang of the Brain

[http://knowingneurons.com/2017/01/25/excitation-inhibition/?ct=t\(RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN\)](http://knowingneurons.com/2017/01/25/excitation-inhibition/?ct=t(RSS_EMAIL_CAMPAIGN))



## Imagine this:

The pile is built from **glass beads**. The smooth beads do not stick well, and the fragile pile collapses once it reaches a critical mass.

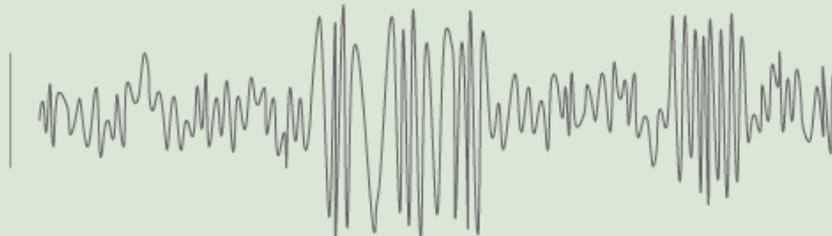


This is analogous to a state of excessive neural **excitation**:

storms of excitatory bursting interrupt complex signaling and form **seizures**.

### excessive neural excitation

electrode



Un cerveau qui serait entièrement dominé par le **glutamate** serait seulement capable de **s'exciter** et de produire des **rafales répétées** d'activité comme lors d'une **crise d'épilepsie**.

## Imagine this:

Now the pile is built from **wet sand**: the wet sand is sticky, resulting in few avalanches as the cohesiveness of the sand is too high.



This is analogous to a state of excessive neural **inhibition**:

excitatory drive cannot overcome the suffocating grip of synaptic inhibition, hampering neural computations that depend on complex signaling.

### excessive neural inhibition

electrode



À l'opposé, un cerveau qui serait entièrement dominé par le **GABA** serait extrêmement silencieux, donc avec **très peu de synchronisation** d'activité possible

(nécessaire pour une communication cérébrale adéquate)

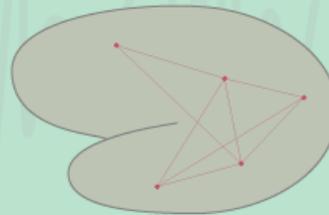
Like a sandpile, the **brain** is balanced at the edge of stability.



Both **excitation** and **inhibition** attract the brain toward distinct patterns of relatively simple activity.

The balance of excitation and inhibition creates a **critical state**.

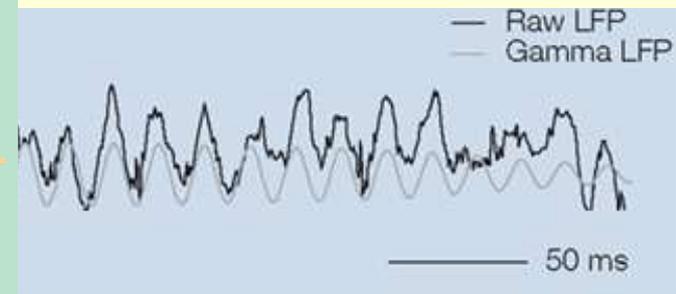
In the critical state, the brain can generate complex **activity** spanning many time scales.

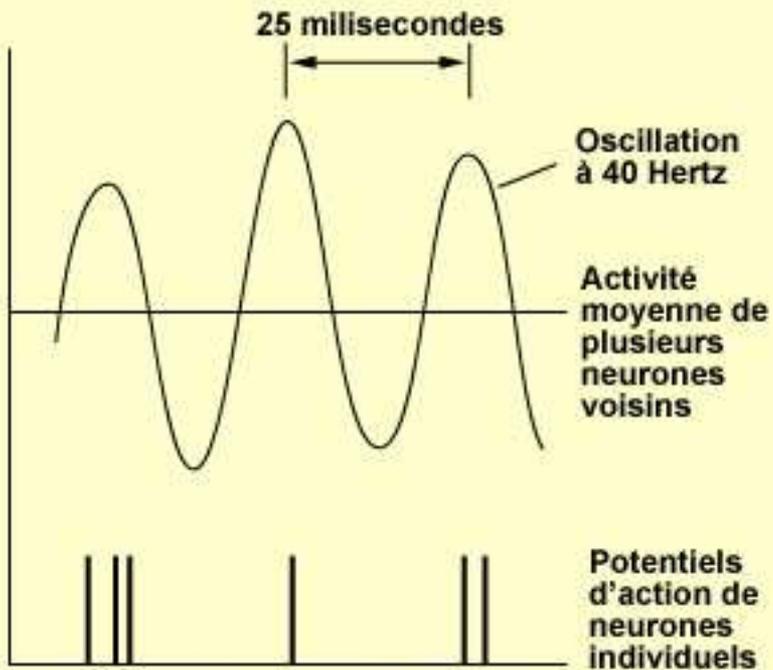


As you build a sandpile, it grows **bigger** until its slope reaches a certain steepness that results in a critical state.



Adding more sand then triggers **avalanches** of many spatial scales, ranging from a few grains to sizable portions of the sandpile itself.





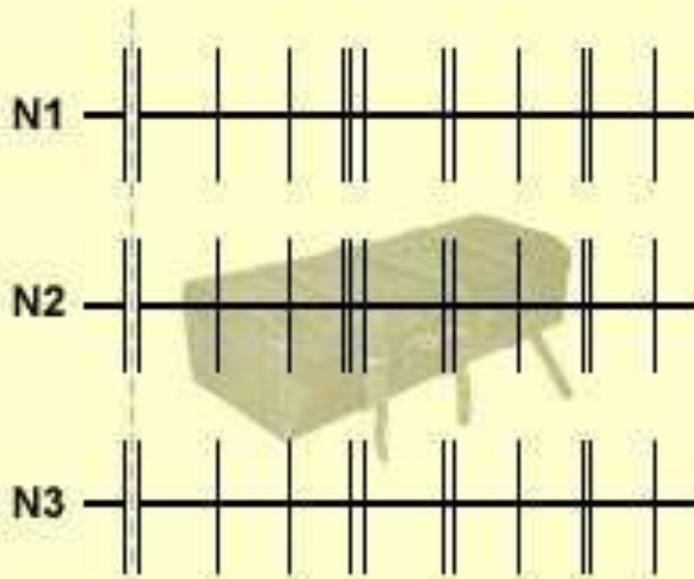
## Oscillations

(selon un certain rythme  
(en Hertz))

et

**Synchronisation**  
(activité simultanée)

sont des phénomènes  
différents mais souvent  
liées !



# Lien oscillation - synchronisation

Les **oscillations** sont une façon très **économique** pour le cerveau de favoriser une synchronisation d'activité neuronale **soutenue**, rappelle György Buzsáki.

**Car lorsque deux populations de neurones oscillent au même rythme**, il devient beaucoup **plus facile** pour elles de synchroniser un grand nombre d'influx nerveux en **adoptant simplement la même phase** dans leur oscillation.

Du coup, ce sont des assemblées de neurones entières qui **se « reconnaissent et se parlent »**.

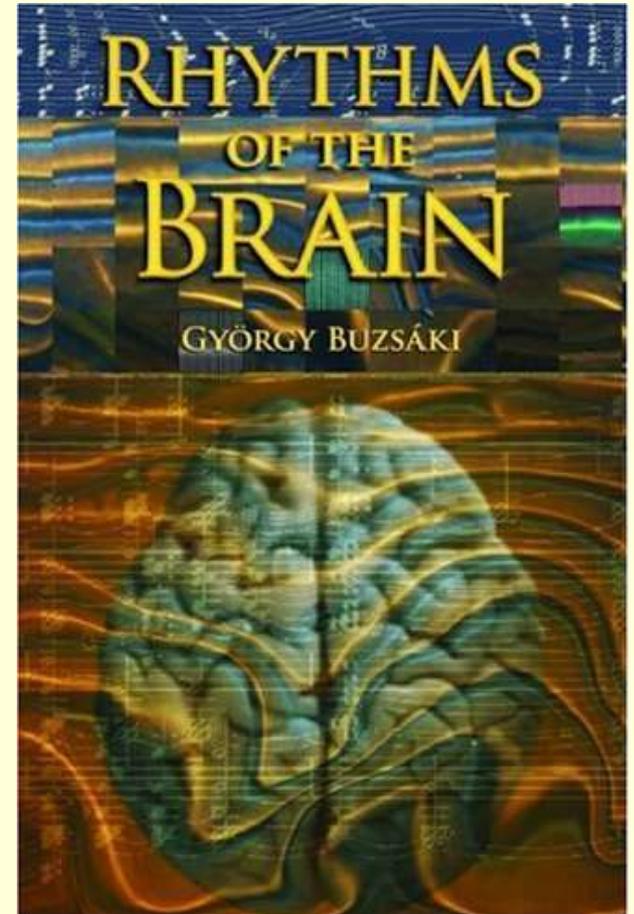
Brain Science Podcast #31: Brain Rhythms with György Buzsáki

<http://brainsciencepodcast.com/bsp/brain-science-podcast-31-brain-rhythms-with-gyorgy-buzsaki.html>

Il fut un temps, pas si lointain dans l'histoire des neurosciences, où le caractère chaotique de l'ensemble de ces oscillations, **associé à du bruit de fond**, était peu considéré, voire ramené à un épiphénomène sans importance.

**Cette époque est toutefois bien révolue.**

En effet, la dimension temporelle de l'activité cérébrale qui se traduit par ces rythmes cérébraux est maintenant au cœur des travaux dans des champs de recherche complexes comme le sommeil ou la conscience.



**György Buzsáki - My work**

<https://www.youtube.com/watch?v=UOwCbtqVzNU>

(2:00 à 4:30)

On sait qu'il y a dans le cerveau des signature de **fréquence distinctes** selon les régions cérébrales.

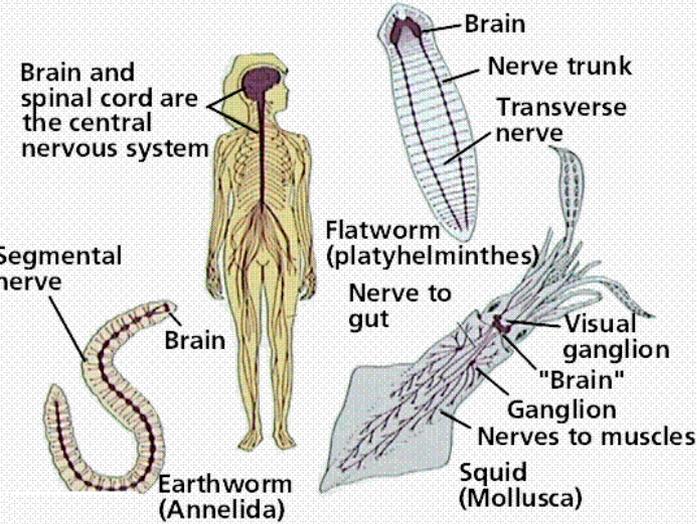
Exemples :

Dans l'**hippocampe** : forts rythme thêta (entre 4 et 10 Hz) considérés comme essentiels au codage temporel de l'information et à la plasticité dans ces circuits, ainsi que pour les interactions hippocampe - cortex.

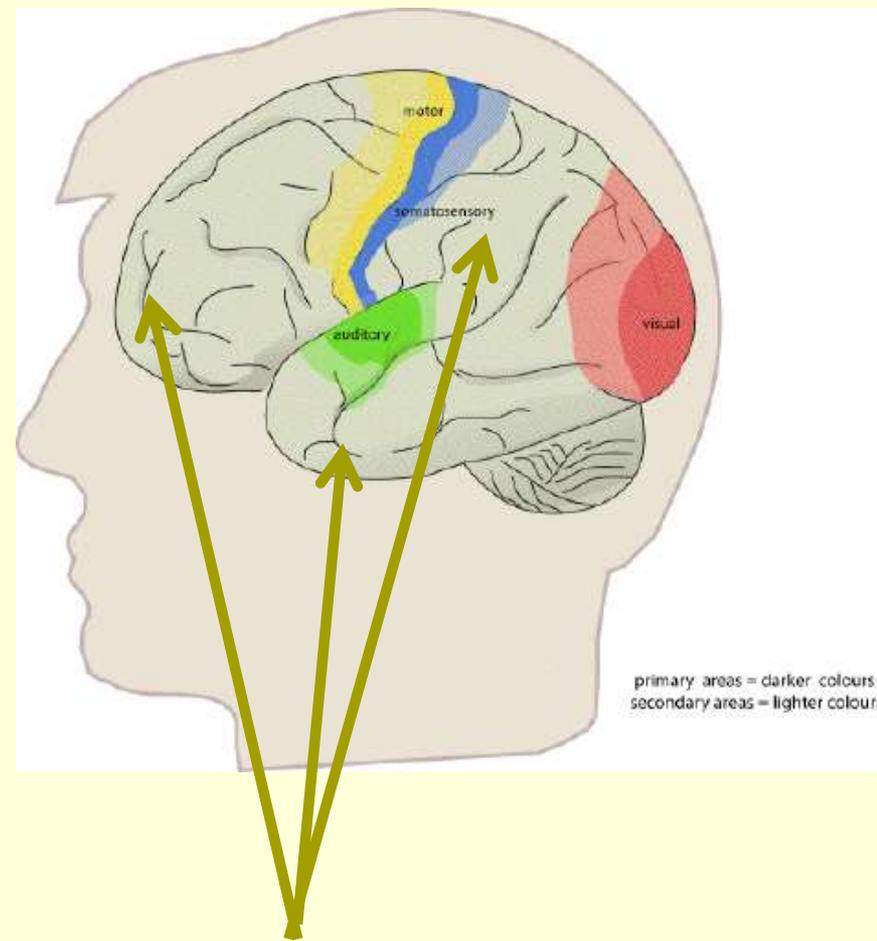
Dans les **régions sensori-motrice du cortex** : oscillations prononcées entre 15 et 30 Hz reliées à la planification et à la préparation motrice.

Dans le **cortex visuel primaire** : des oscillations rapides dans la bande gamma entre 30 et 90 Hz dominant durant une stimulation visuelle.

→ Et l'on commence à se rendre compte que ces différentes fréquences basses ou élevées **s'organisent spatialement** dans le cortex selon une logique particulière...



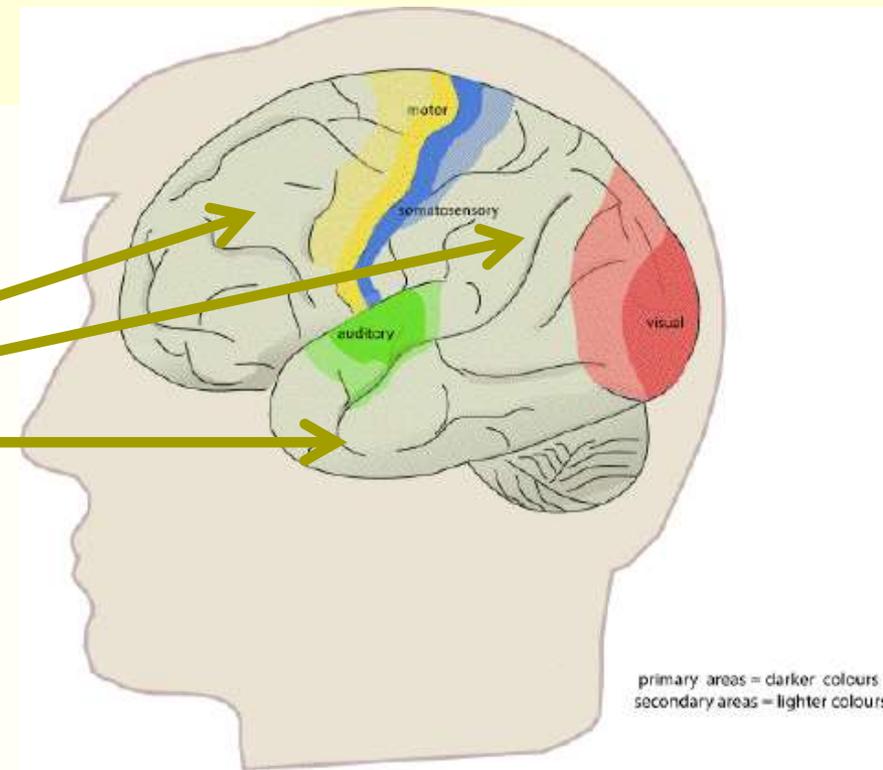
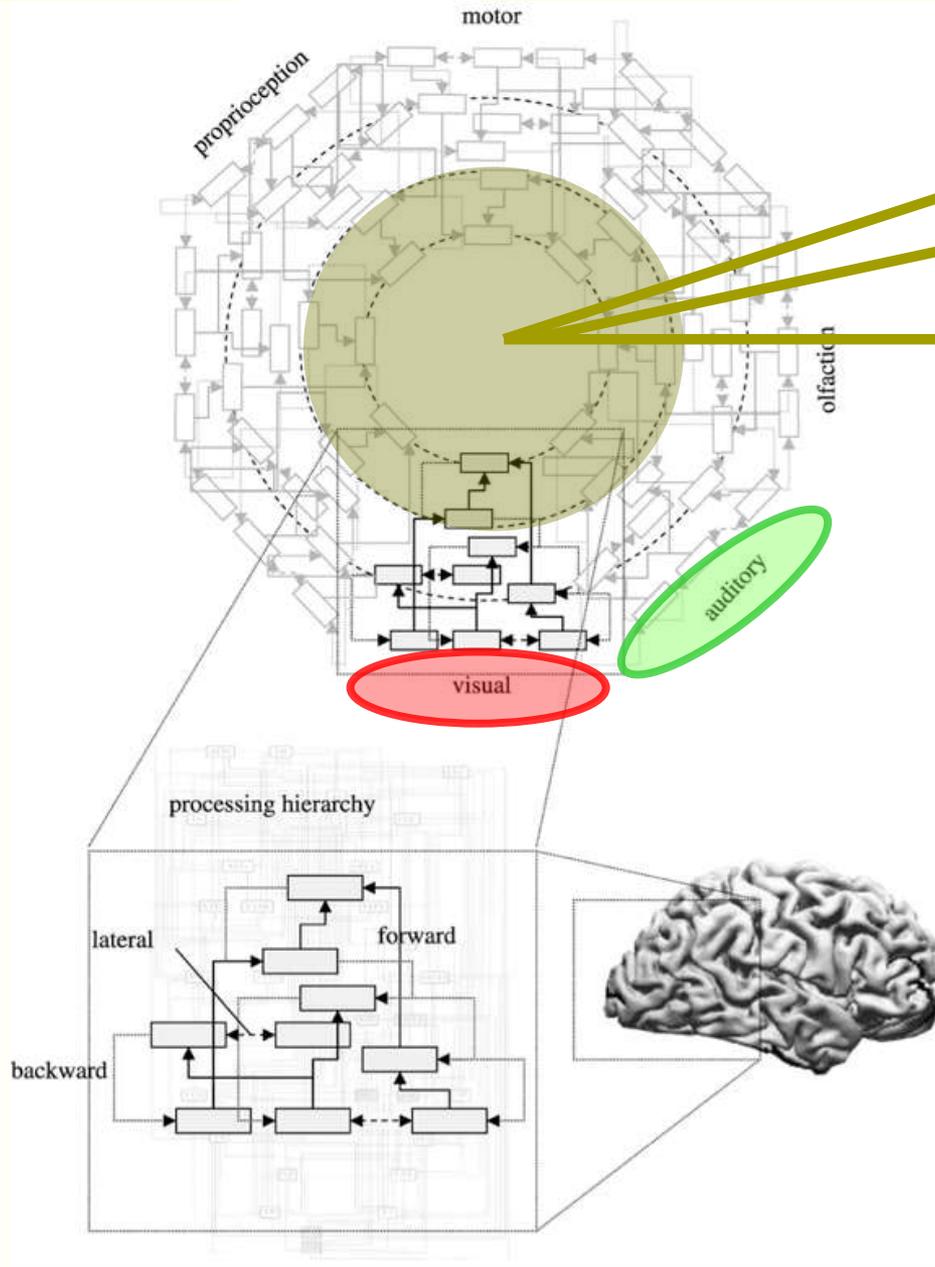
Comme le système nerveux de tous les animaux, on a vu que le cerveau humain est construit sur à partir de la boucle **perception – action**.

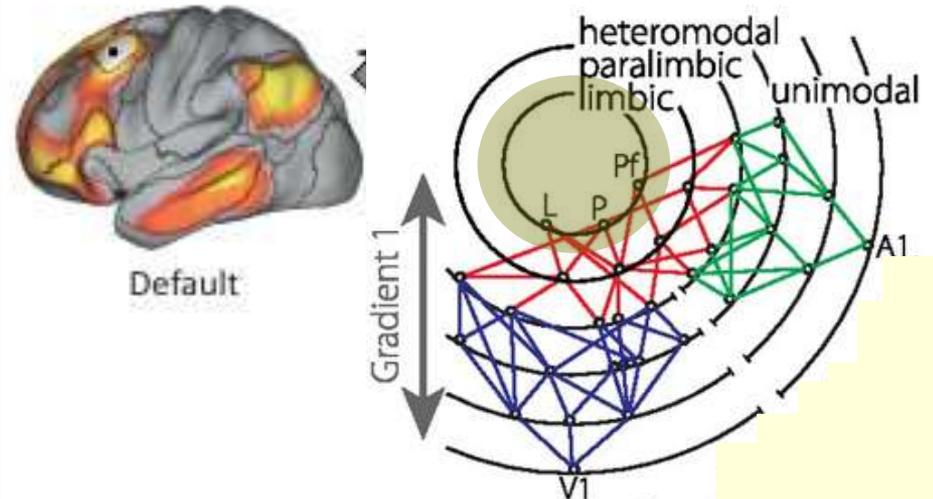
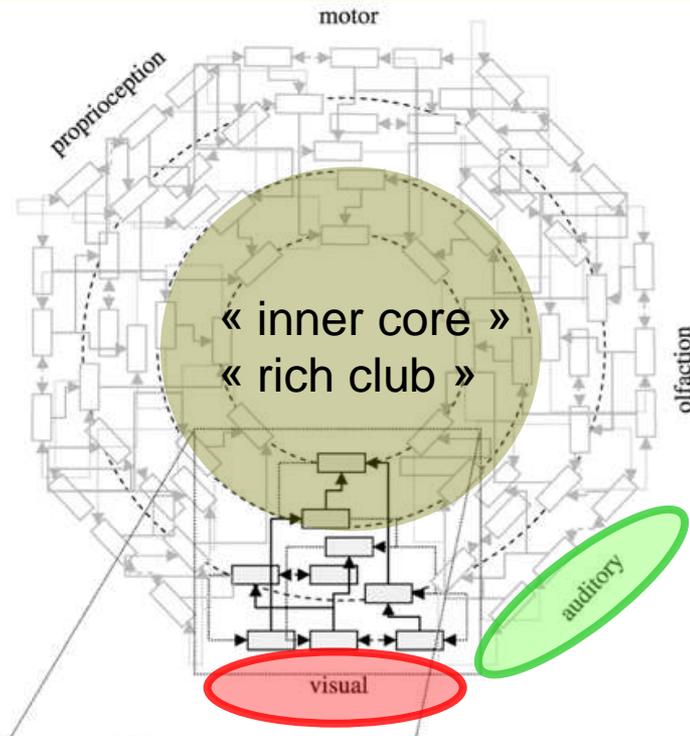


Mais la plus grande partie du cortex humain va essentiellement **moduler cette boucle**.



# Autre façon de représenter le cortex :

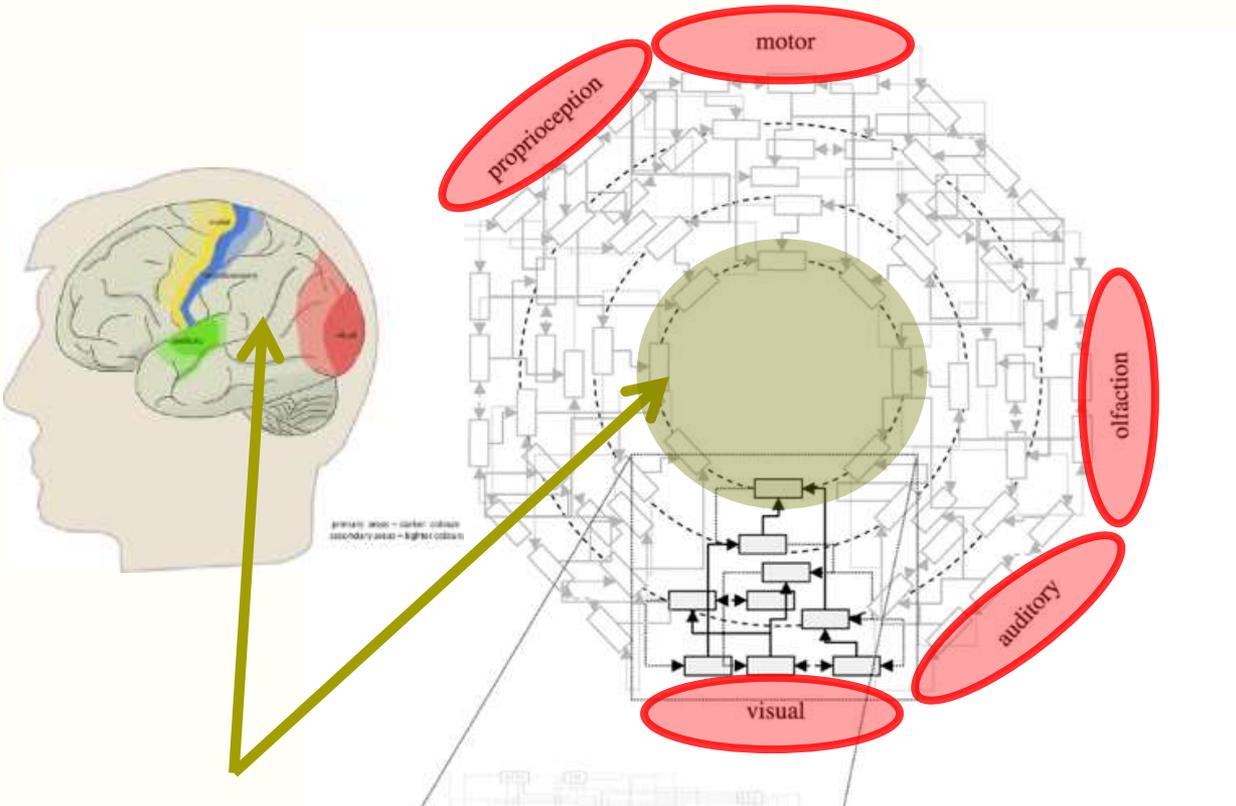




Mardi, 6 février 2018

**Nos réseaux cérébraux s'inscrivent dans un gradient « unimodal – multimodal »**

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/02/06/7097/>



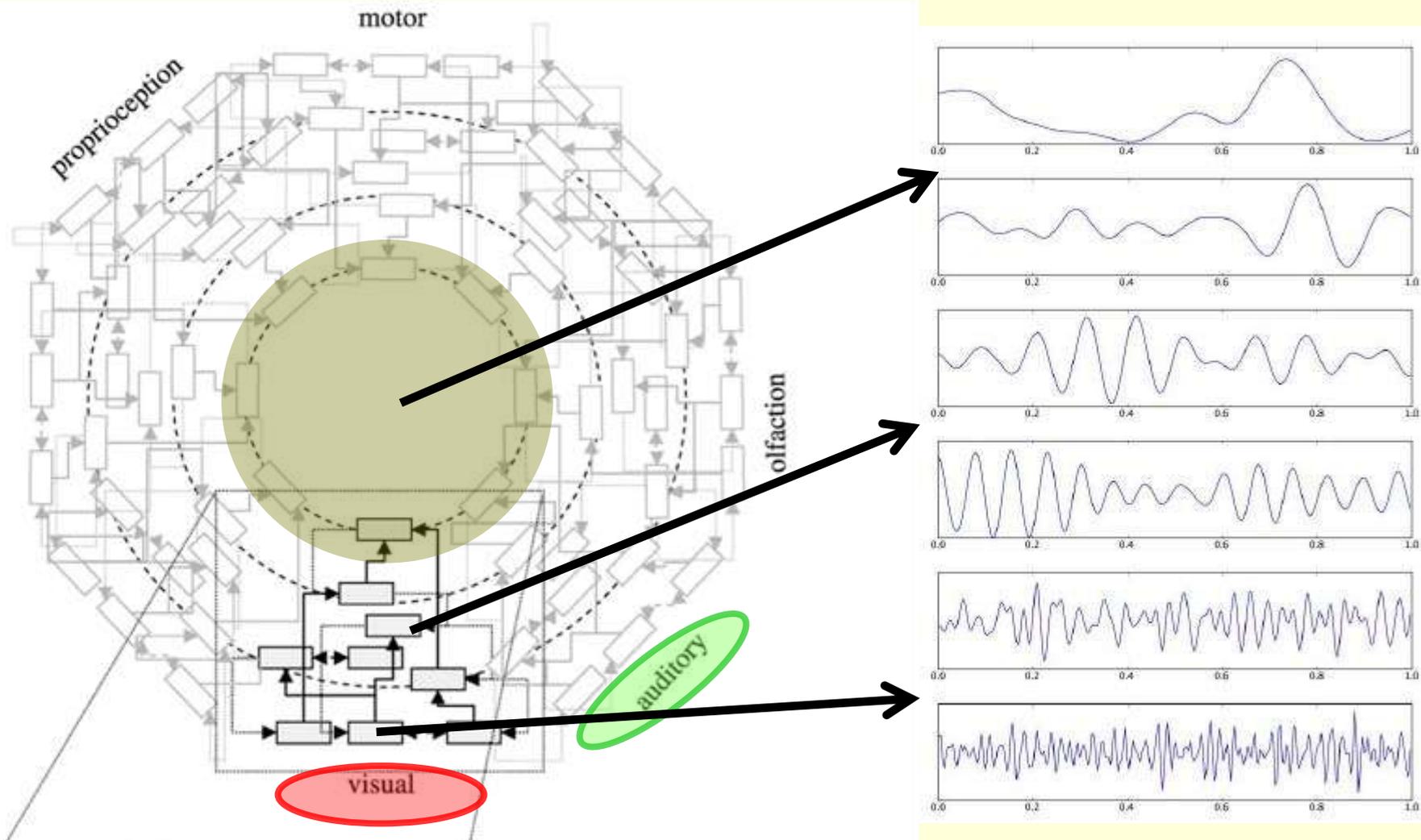
**Perception et action** devant des situations en temps réel

→ Rythmes **rapides**

Raisonnement, cognition sociale, affects, émotions, etc.

→ Rythmes plus **lents**

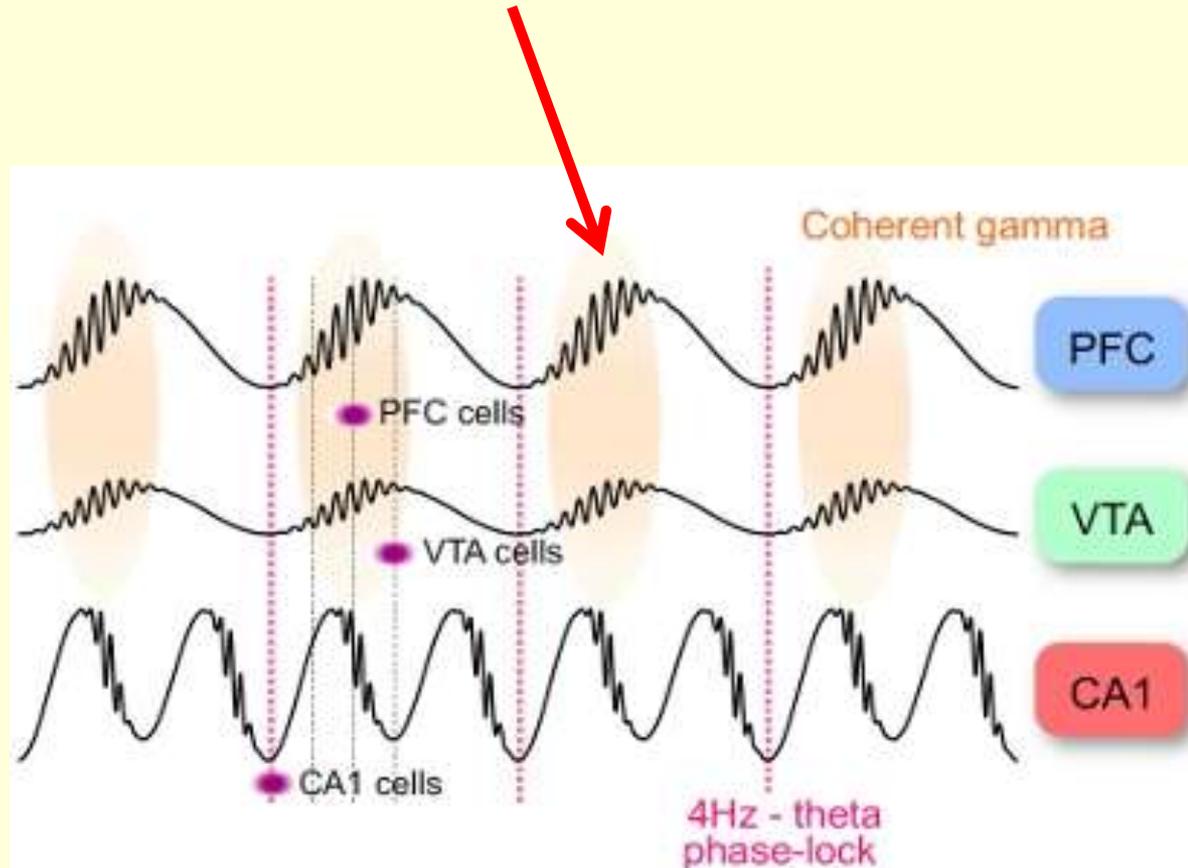
→ Épines dendritiques plus nombreuses qui ralentissent la propagation des signaux reçus vers le corps cellulaire ?



**Différents mécanismes responsables de ces différents rythmes:**

→ Type de canaux (fast AMPA, slower NMDA, slow kainate, etc.)

Les **oscillations** dans les réseaux de neurones sont aussi capables de couvrir plusieurs bandes de fréquences en même temps, qui peuvent ainsi **se superposer**.



# Communication between Brain Areas Based on Nested Oscillations

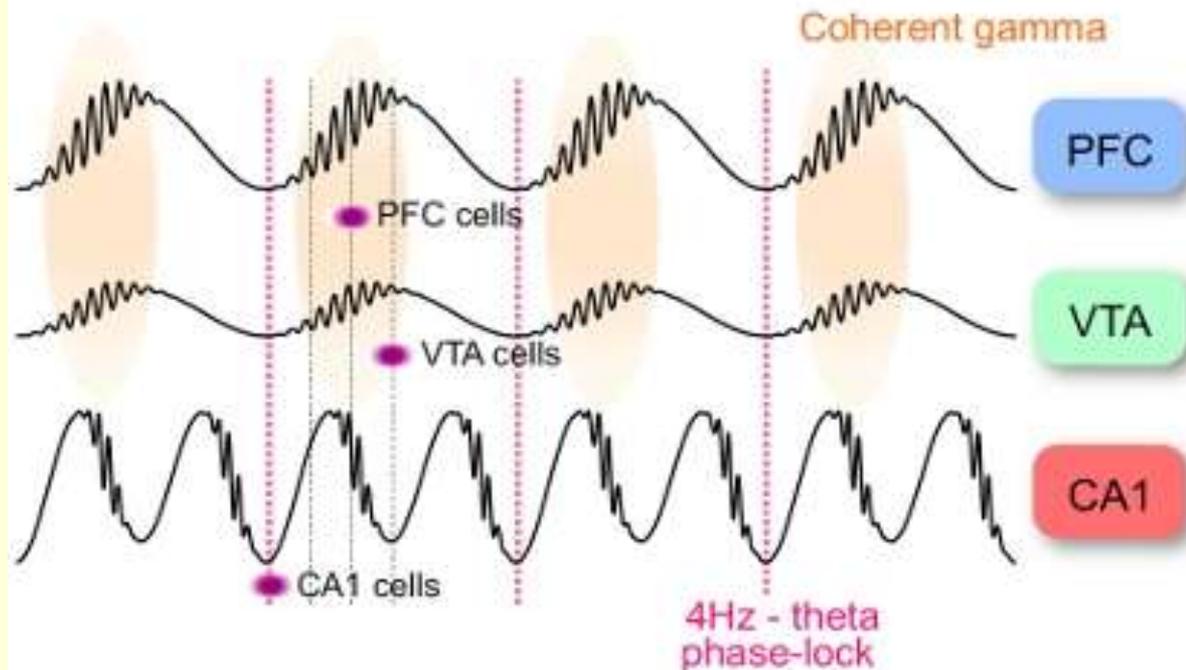
Mathilde Bonnefond, Sabine Kastner and Ole Jensen

eNeuro 10 March 2017, 4 (2)

<http://www.eneuro.org/content/4/2/ENEURO.0153-16.2017>

[...] Nous discutons d'une théorie dans laquelle la communication entre deux régions est établie par la synchronisation de phase d'oscillations à **basses fréquences** (<25 Hz), qui servent de cadre de référence temporel pour l'information transporté par l'activité **haute fréquence** (> 40 Hz).

Notre approche, en accord avec de nombreuses découvertes empiriques récentes, postule que les interactions entre fréquences sont essentielles pour comprendre le fonctionnement des réseaux cognitifs et perceptuels à grande échelle.



## Plan de ce soir

De l'activité nerveuse forme  
des systèmes dynamiques non linéaires.

Différents modèles de systèmes non linéaires  
éclairent la dynamique cérébrale

L'origine des rythmes cérébraux

**Rôles fonctionnels des oscillations  
et des synchronisations**

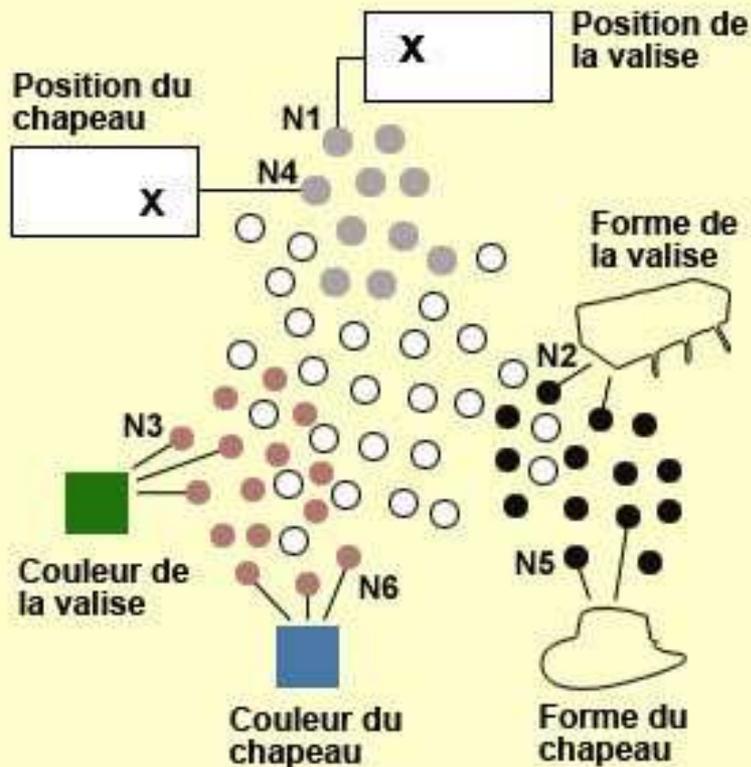
**Après la pause et quelques questions/échanges:**  
Éveil, sommeil et rêve

## Rôles fonctionnels possibles des oscillations:

- **lier** différentes propriétés d'un même objet  
("binding problem")

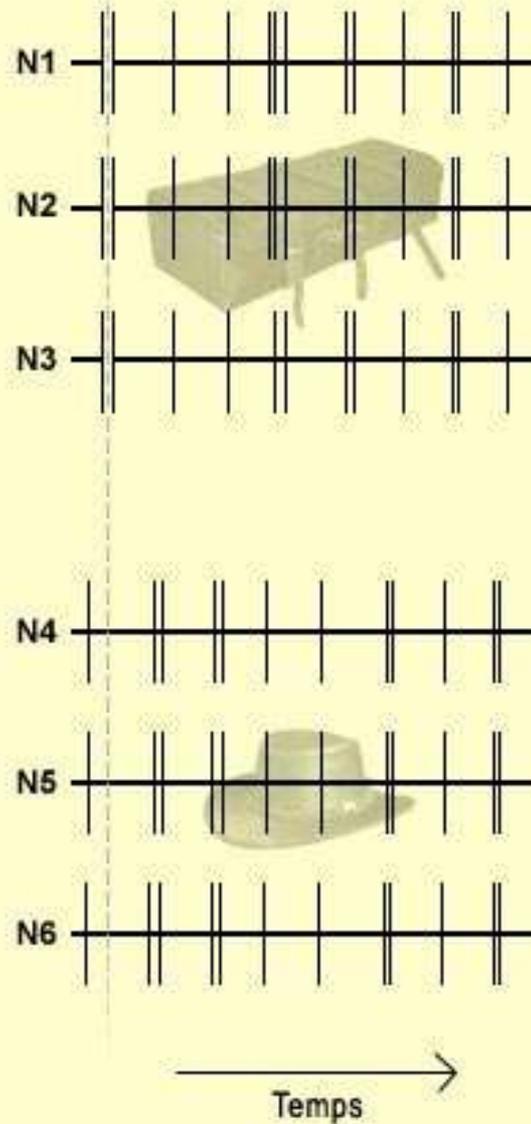
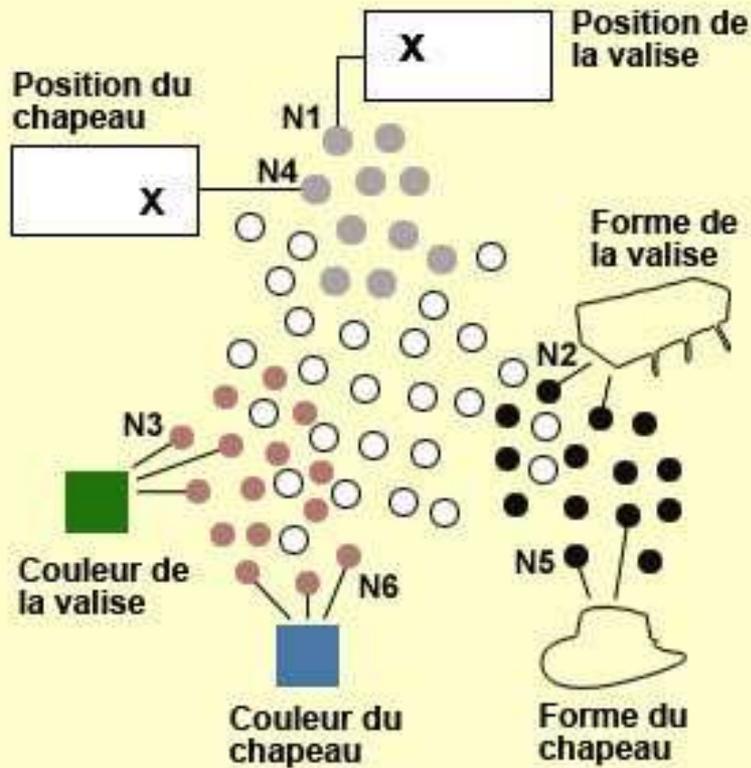


Car si des **régions distinctes** des aires visuelles réagissent à la forme, à la couleur, à l'emplacement, etc...



Alors on peut se demander **comment les caractéristiques d'un même objet sont-elles mises ensemble** pour former la perception consciente et distincte que l'on a de chacun des deux objets, sans en mélanger les caractéristiques ?

Voilà qui pose **problème de liaison** ou, selon l'expression anglaise consacrée, un «**binding problem**».

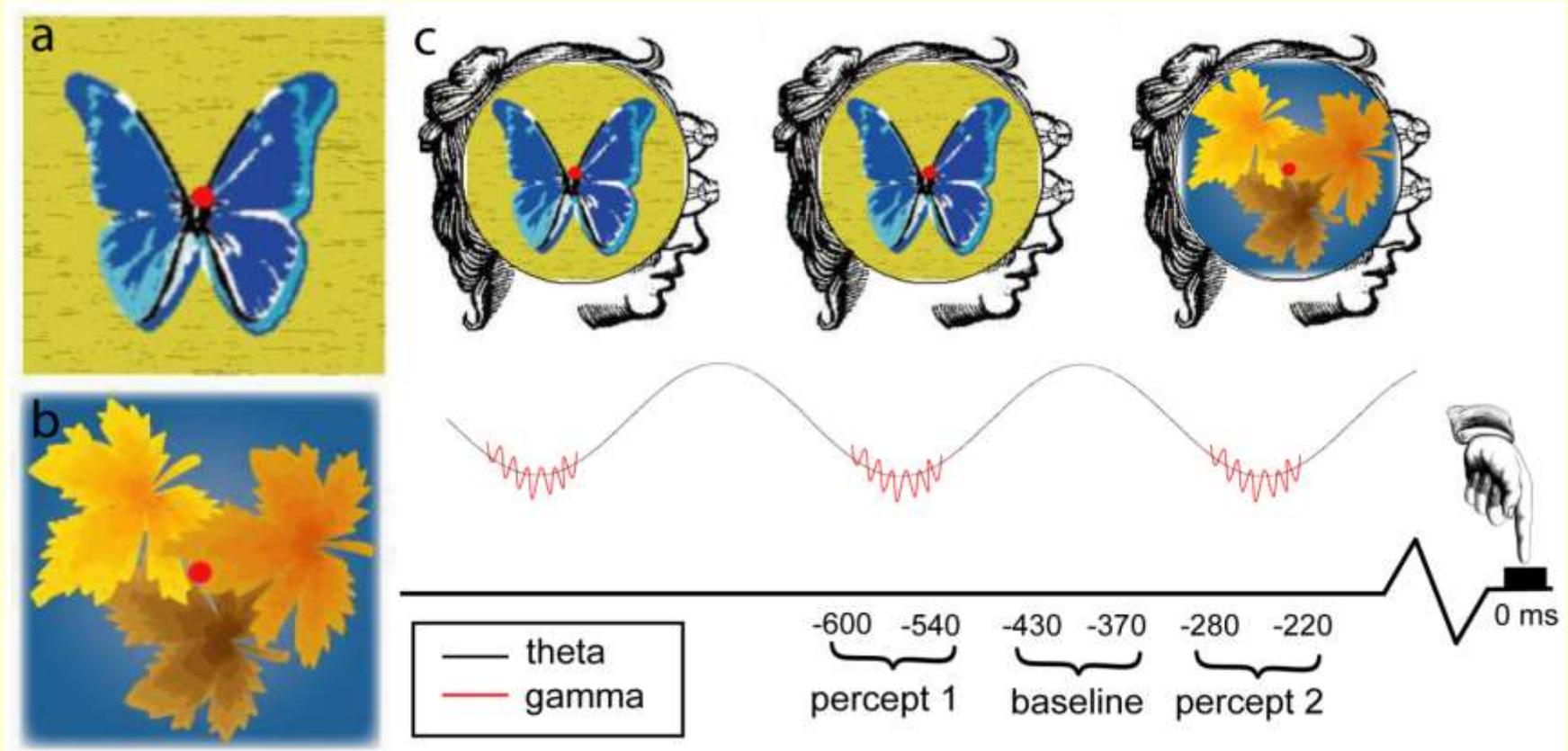


## Rôles fonctionnels possibles des oscillations:

- **lier** différentes propriétés d'un même objet ("binding problem")
- **contrôler** le flux d'information dans certaines régions



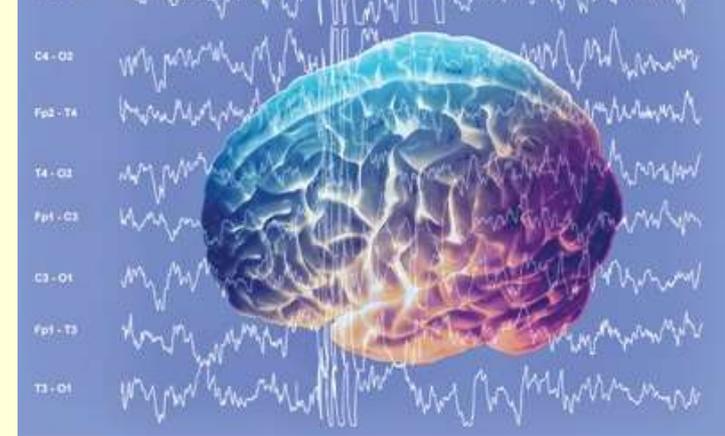
On peut créer une rivalité binoculaire en regardant dans des oculaires qui donnent à voir une **image différente pour chaque oeil**. Dans ces conditions, la perception subjective du sujet **va osciller entre deux états** : il verra tantôt le stimulus présenté à l'œil gauche, tantôt celui présenté à l'œil droit.



Si l'on fait cette expérience en enregistrant l'activité du cerveau des sujets auxquels on demande d'indiquer lequel des deux stimuli ils **perçoivent** à un moment donné, on observe une variation de l'activité de certaines régions du cerveau en fonction de l'expérience subjective.

## Rôles fonctionnels possibles des oscillations:

- **lier** différentes propriétés d'un même objet ("binding problem")
- **contrôler** le flux d'information dans certaines régions
- **créer des fenêtres temporelles** où certains phénomènes sensible à la synchronisation d'activité (comme la PLT, avec son récepteur NMDA aux propriétés si particulières) peuvent se produire (par sommation temporelle, etc.),
- et d'autre où ils ne peuvent pas.

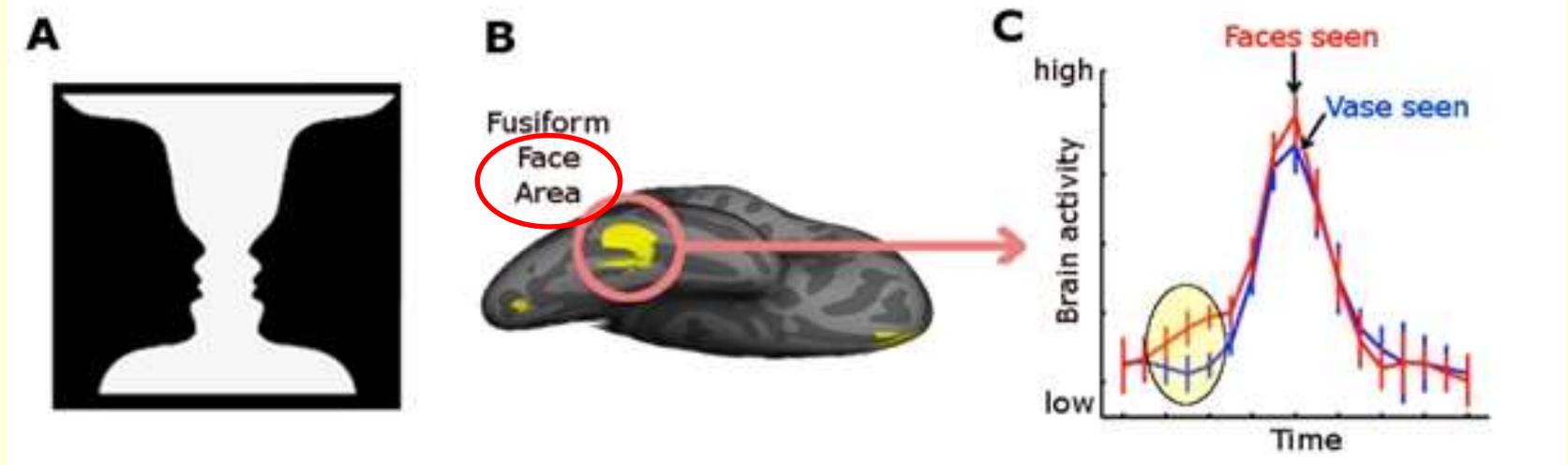


Également, si le potentiel de membrane d'un neurone oscille, il y aura des moments où c'est plus facile pour lui d'atteindre le seuil de déclenchement d'un potentiel d'action (dépolariation) et d'autres moins (hyperpolarisation) **favorisant par exemple certaines perceptions.**

A



Sur cette image, on peut voir  
alternativement soit un **vase blanc** ou  
les **profils de deux visages en noir**.



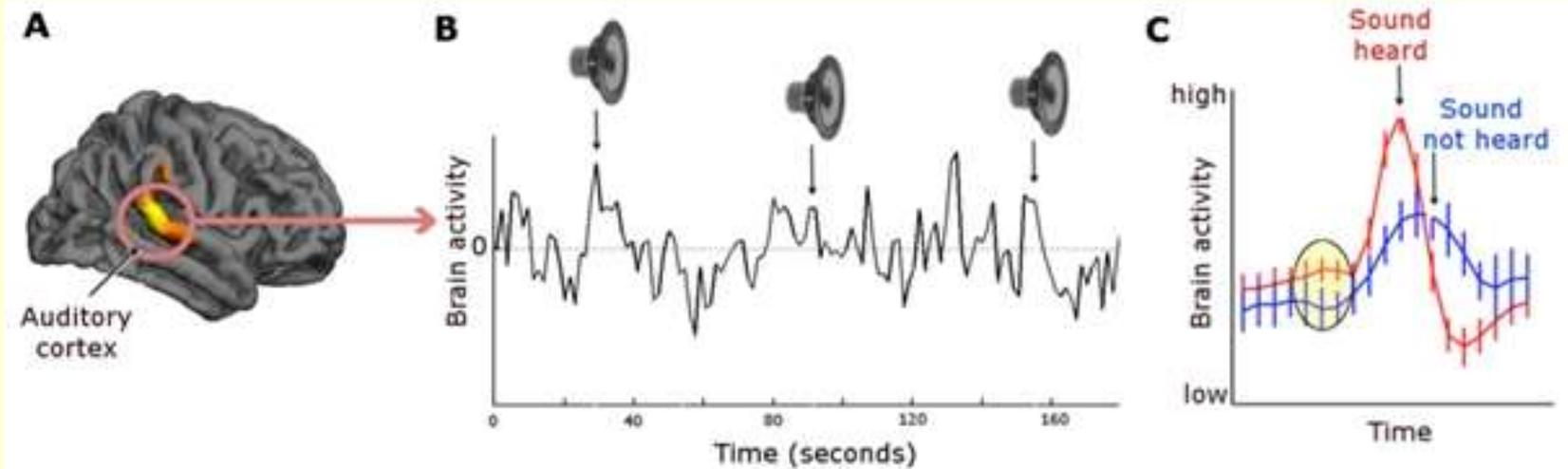
« Si l'activité dans cette **aire [fusiforme de reconnaissance des visages]** fait un grand pic, les participants rapportent voir un visage (courbe rouge). Si le pic d'activité est plus petit, ils rapportent voir le vase (courbe bleue).

L'ovale jaune et hachuré dans la figure 3C met en valeur l'activité cérébrale spontanée juste avant que l'image ne soit présentée. Étonnamment, l'activité cérébrale qui précède l'image détermine quelle figure (visage ou vase) la personne reconnaîtra quand elle regardera l'image.

En effet, comme les ondes sur le lac, **l'activité spontanée** est toujours en train de croître ou décroître légèrement dans toutes les régions cérébrales.

Si elle est légèrement plus élevée dans la région des visages au moment où l'image est présentée, elle va biaiser la perception de cette image ambiguë dans le sens des visages. »

« aider à passer le seuil de perception »  
au niveau auditif maintenant...



« La courbe de la figure 4B illustre l'activité cérébrale du cortex auditif durant 180 secondes. Il y a beaucoup de hauts et de bas dans cette courbe. Cela est dû à **l'activité cérébrale spontanée**.

Les hauts-parleurs et les flèches marquent l'activité cérébrale au moment où le son est présenté.

La figure 4C compare l'activité du cortex auditif en réponse aux sons quand les participants ont détecté le son (courbe rouge) et quand ils ne l'ont pas entendu (courbe bleue).

Bien évidemment, quand le cortex auditif répond avec un grand pic d'activité, le son est entendu mais regardez bien le niveau d'activité cérébrale avant que le son ne soit joué (ovale jaune hachuré). Elle est plus élevée quand la personne entend le son.

Là encore, cette activité précédente va aider l'activité neurale engendrée par le son à **passer le seuil de perception**. »

# Astrocytes contribute to gamma oscillations and recognition memory

Hosuk Sean Lee et al.



Contributed by Stephen F. Heinemann, June 15, 2014 (sent for review March 10, **2014**)

<http://www.pnas.org/content/early/2014/07/23/1410893111.short>

“By creating a transgenic mouse in which **vesicular release from astrocytes can be reversibly blocked**, we found that astrocytes are necessary for novel object recognition behavior and to maintain functional gamma oscillations both in vitro and in awake-behaving animals. Our findings reveal an unexpected role for astrocytes in neural information processing and cognition. “

**Evan Thompson :**

« It's not all about the neurons: astrocytes (a kind of glial cell) are crucial for the gamma oscillations necessary for recognition memory.

This study is also one of the first to show a causal relationship between gamma oscillations and cognition, not just a correlational one. »

# Taking Control of a Rat's Sense of Familiarity and Novelty

Neuroscience News, September 30, **2015**

<http://neurosciencenews.com/optogenetics-novelty-familiarity-rat-2779/>

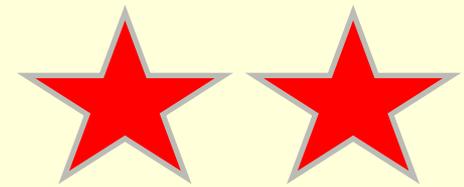
Brown University brain scientists didn't just study how recognition of familiarity and novelty arise in the mammalian brain, they actually took control, inducing rats to behave as if images they'd seen before were new, and images they had never seen were old.

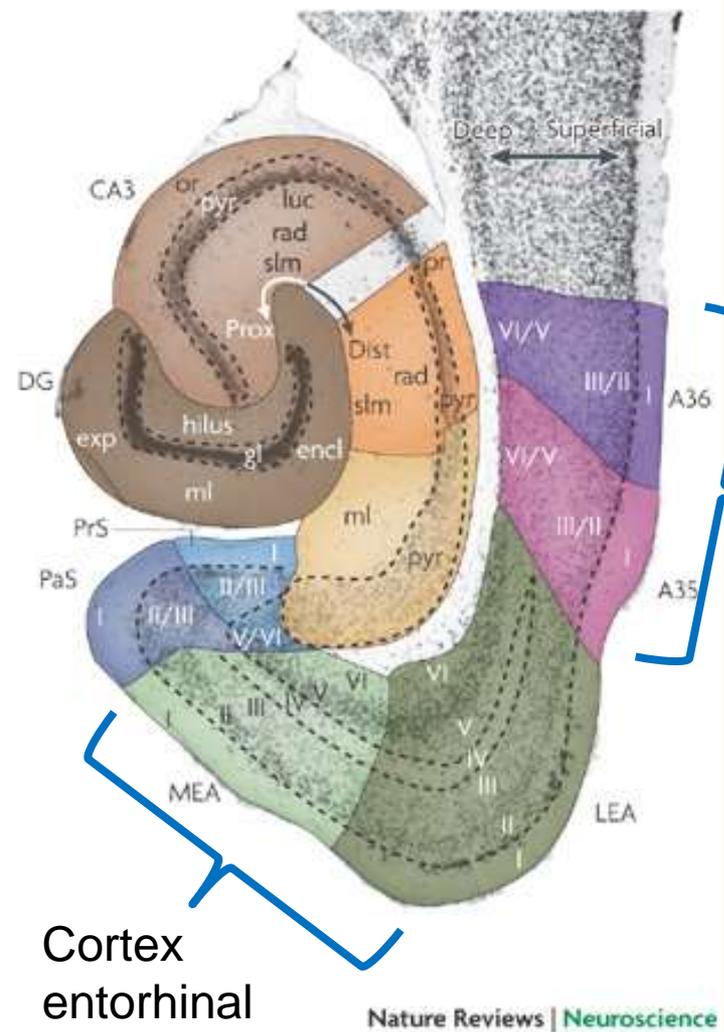
## Bidirectional Modulation of Recognition Memory

Jonathan W. Ho et al.

*The Journal of Neuroscience*, 30 September **2015**, 35(39): 13323-13335

<http://www.jneurosci.org/content/35/39/13323>





**Le cortex périrhinal** joue un rôle bien établi dans la reconnaissance d'objets basée sur leur familiarité.

Dans le cerveau normal, les neurones du cortex périrhinal répondent à la nouveauté en augmentant leur taux de décharge et à la familiarité en le diminuant.

Les animaux ou les humains ayant subi des dommages au cortex périrhinal sont incapables de distinguer des objets familiers de nouveaux objets lors d'une tâche de mémorisation.

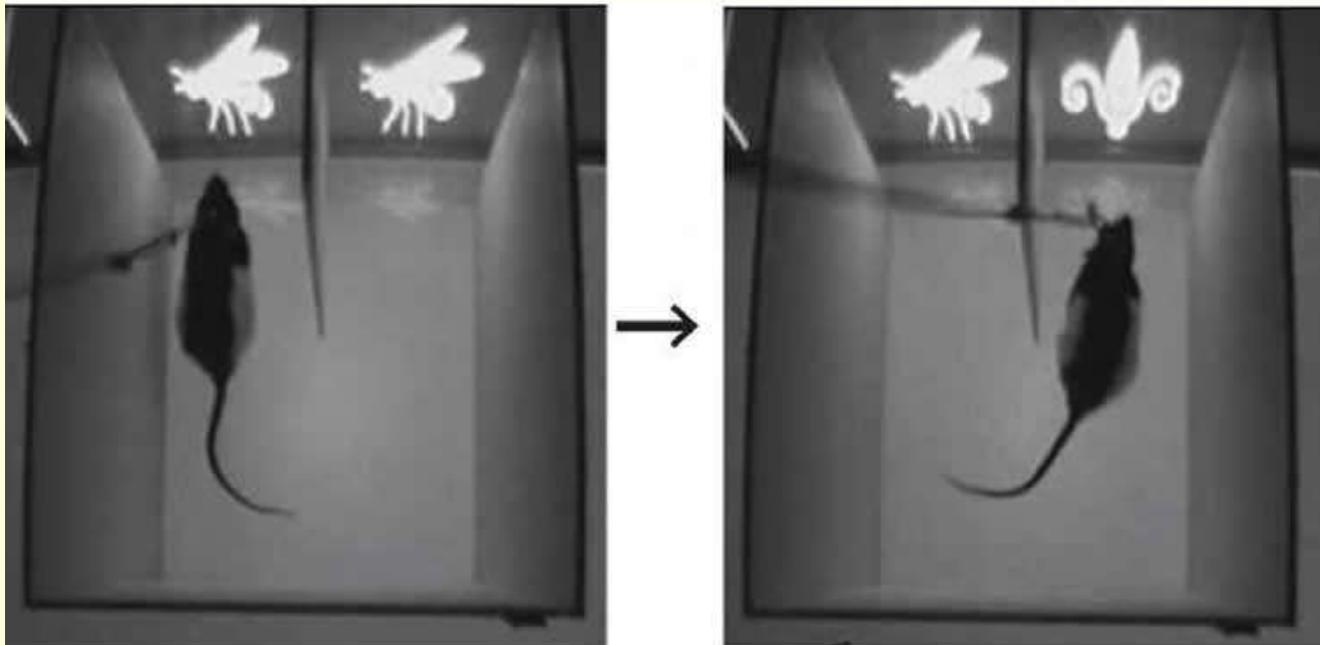
**FIGURE 1 | Representations of the hippocampal formation and the parahippocampal region in the rat brain.**

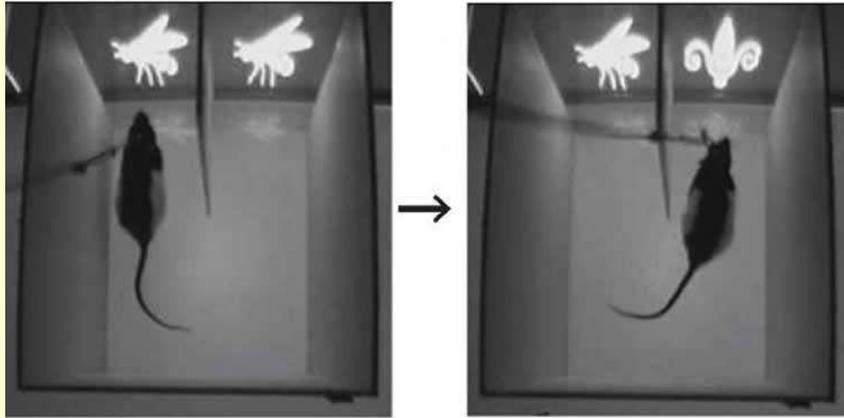
[http://www.nature.com/nrn/journal/v10/n4/fig\\_tab/nrn2614\\_F1.html](http://www.nature.com/nrn/journal/v10/n4/fig_tab/nrn2614_F1.html)

En utilisant la technique de **l'optogénétique** lors d'une tâche d'exploration spontanée d'un objet, on a pu altérer la performance de reconnaissance des objets par les rats.

Normalement, les rats explorent plus longtemps les nouvelles images que celles qui leur sont familières.

Cette étude a démontré qu'on pouvait modifier ce comportement en stimulant avec de la lumière (grâce à l'optogénétique) les neurones du cortex périrhinal à différentes fréquences pendant que les rats regardaient des images familières ou nouvelles.





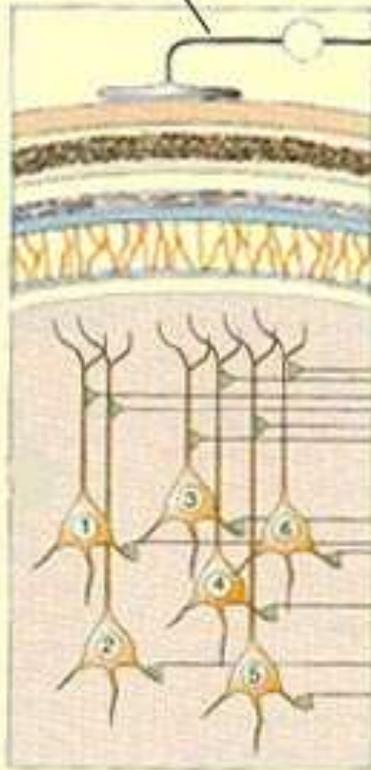
Pendant que les rats regardaient une image :

- **des stimulations à 30-40 Hz** leur faisaient considérer une image familière comme si c'était une nouvelle image en augmentant le temps passé à la regarder; (et ces stimulations à 30-40 Hz n'augmentaient pas leur temps d'exploration d'une nouvelle image)
- **des stimulations à 10-15 Hz** leur faisaient considérer une image nouvelle comme si c'était une image familière en diminuant le temps passé à la regarder; (et ces stimulations à 10-15 Hz n'affectaient pas leur temps d'exploration d'une image familière)

Ces différentes fréquences de stimulation du cortex périrhinal pouvaient donc altérer la mémoire de la reconnaissance visuelle des objets de façon **bidirectionnelle**.

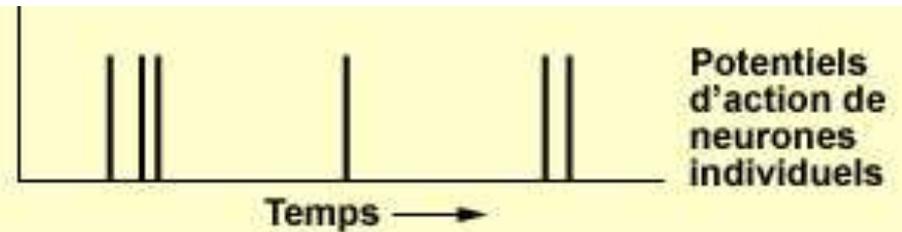
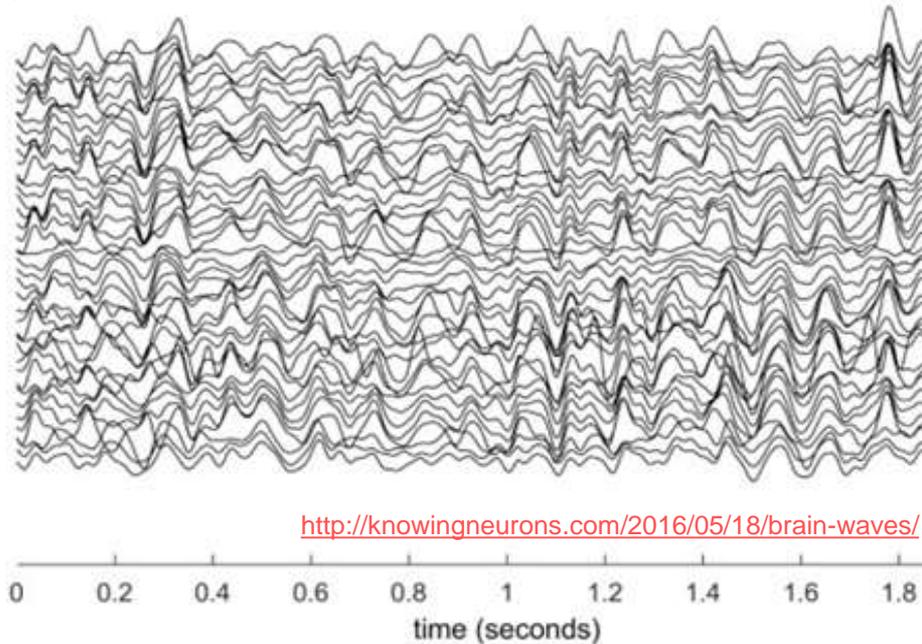
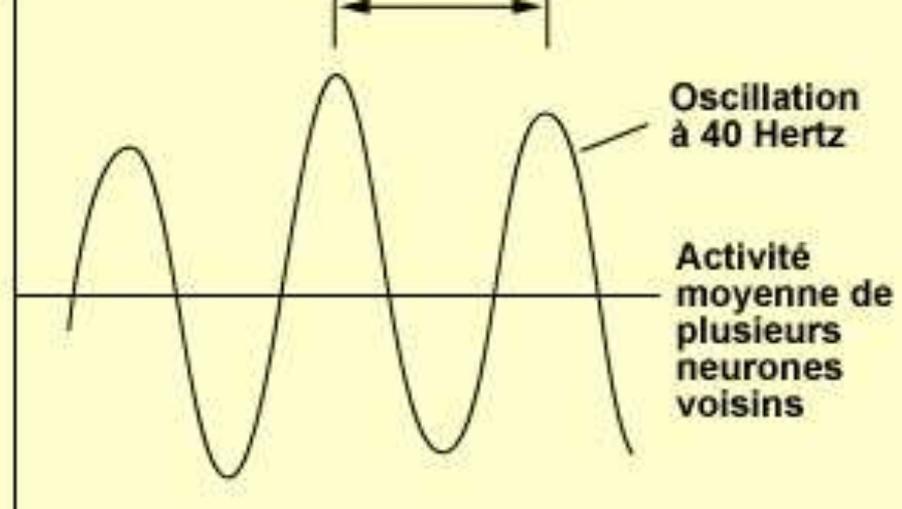
**EEG :**  
niveau « macro »

Électrode d'EEG



“Local field potentials” :  
niveau « meso »

**Potentiels d'action :**  
niveau « micro »

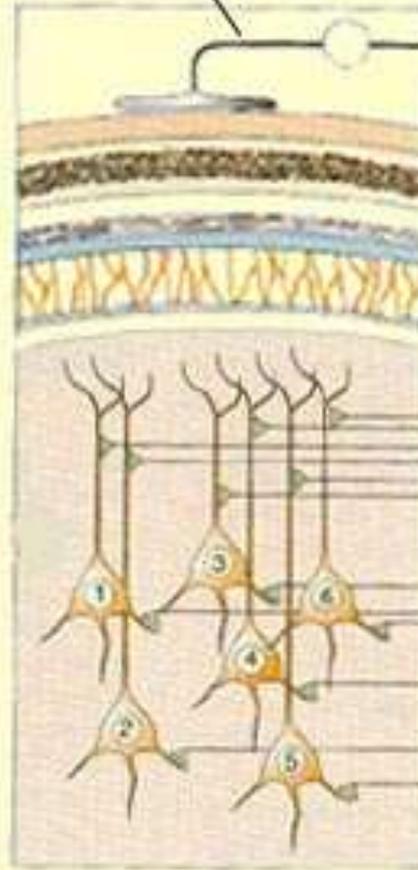




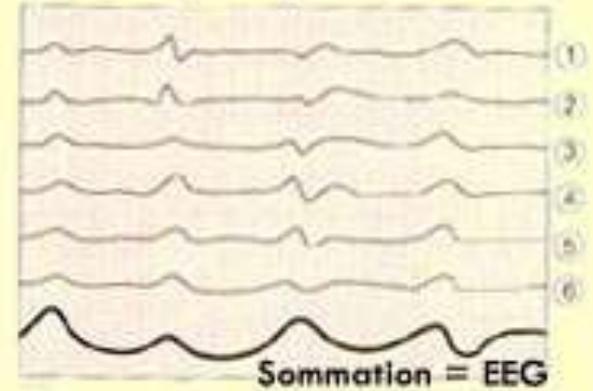
L'EEG fournit une mesure encore plus générale de l'activité des populations de neurones corticaux

(une **sommation de nombreux LFPs**).

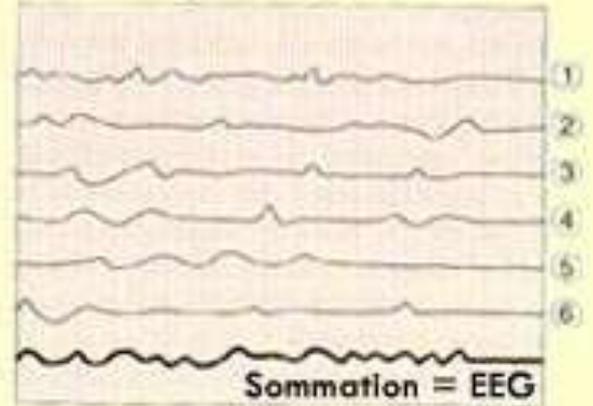
Électrode d'EEG



Décharges synchronisées



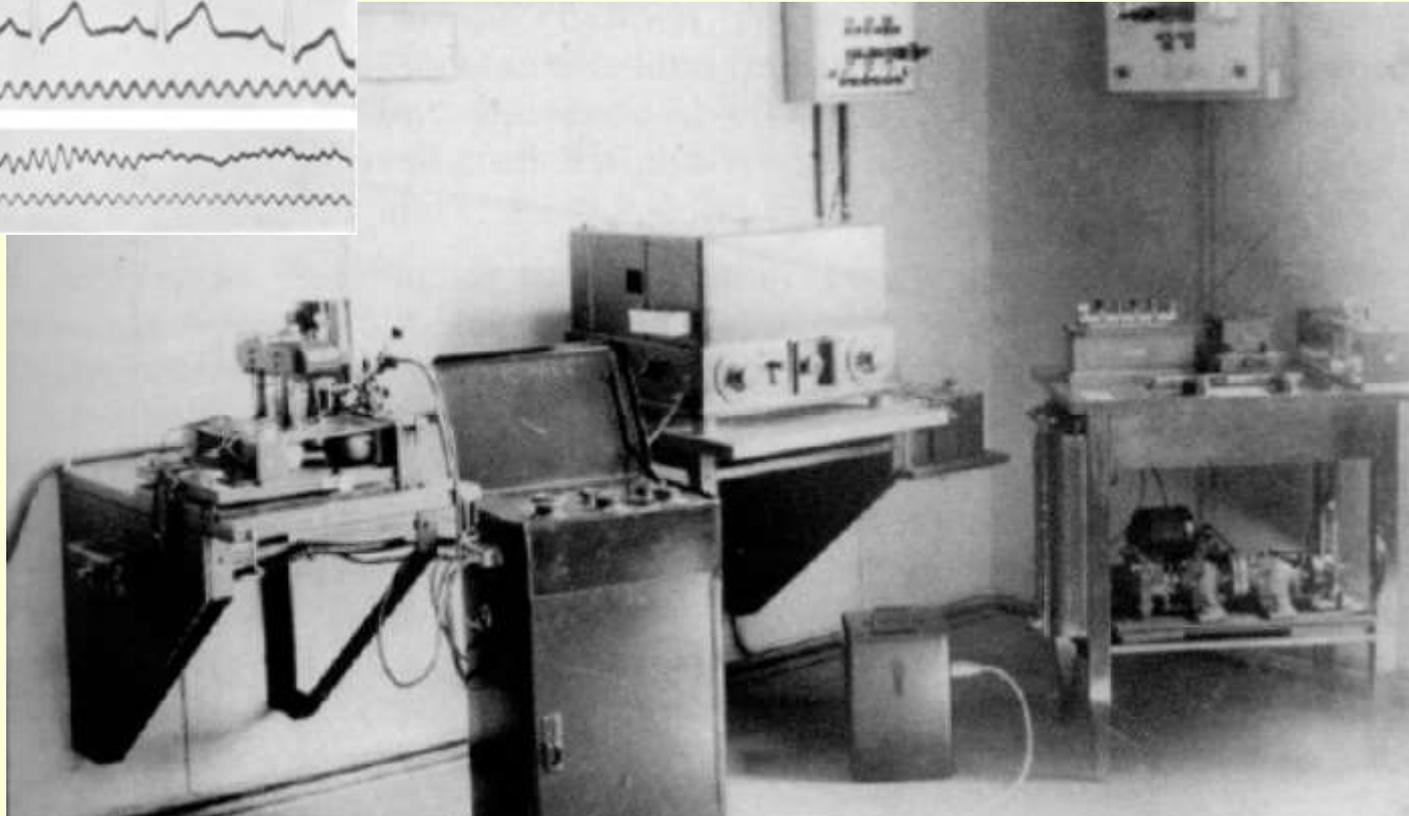
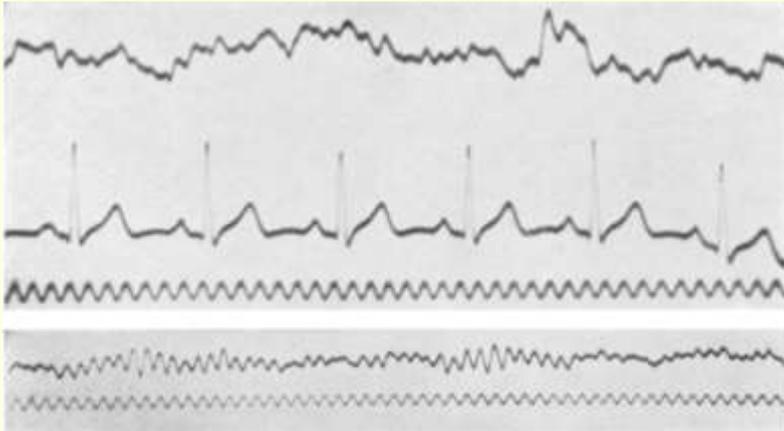
Décharges irrégulières



L'EEG capte donc toujours l'activité synchrone de populations entières de **milliers ou de millions de neurones**.

Comme le voltage diminue avec le carré de la distance, l'activité dans les **structures sous-corticales** est plus difficile à détecter.

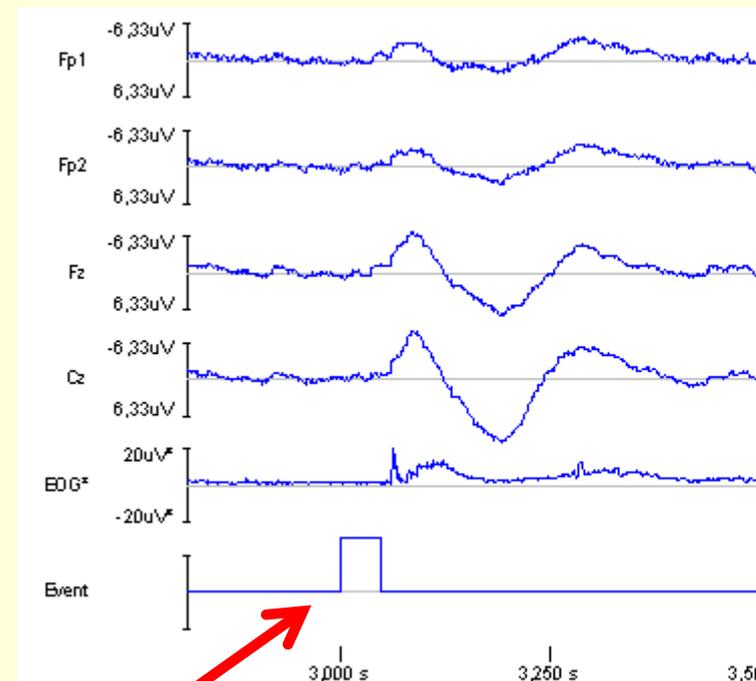
- Premier enregistrement d'un EEG chez l'humain : Hans Berger, en **1924**



Dans les années **1970** : développement permettant de relier l'activité corticale de l'EEG avec la présentation d'un **stimulus** (potentiels évoqués)



**Exemple** : Kutas et Hillyard trouve en **1980** que lorsque le dernier mot d'une phrase est anormal, l'EEG montre une déflexion négative environ 400 millisecondes après.



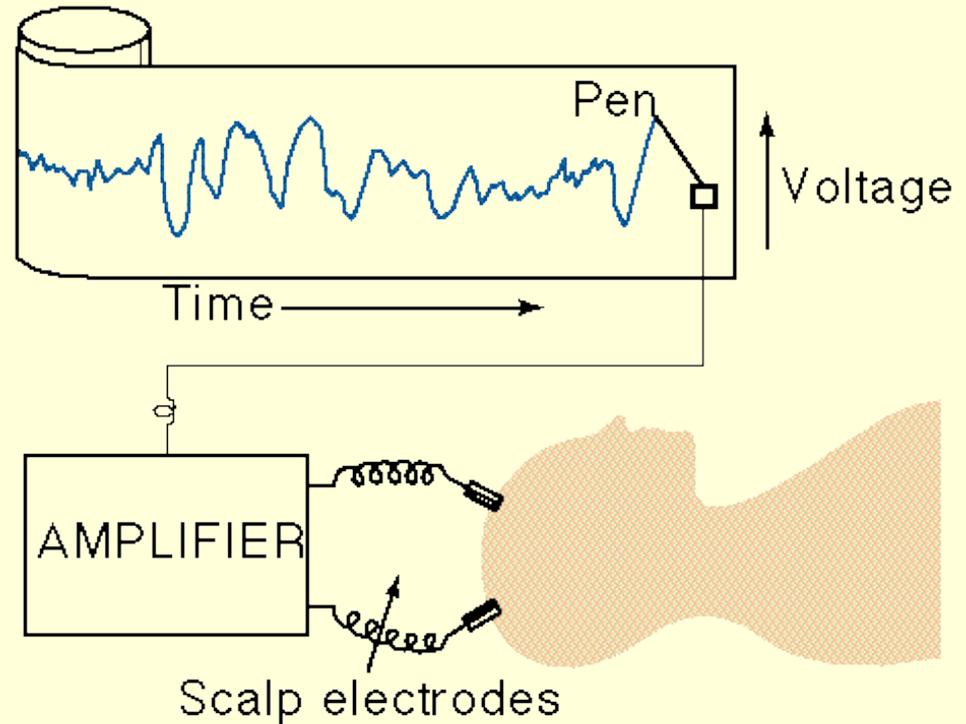
L'électroencéphalographie (EEG) est donc une technique **non invasive** pour enregistrer l'activité du cerveau.

Mesure directe de cette activité électrique, contrairement à l'imagerie cérébrale.

Traditionnellement **peu d'info sur la localisation spatiale** de l'activité

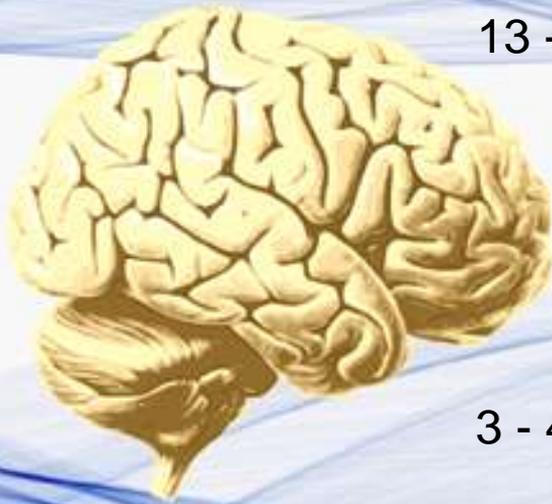
mais **bonne résolution temporelle** (millisecondes)

Electroencephalography Recording System



Les oscillations recueillies, dont la fréquence va de  $< 1 \text{ Hz}$  à  $> 100 \text{ Hz}$ , correspond à l'**activité globale** des neurones du cerveau **en temps réel** (comparé à l'IRMf où il n'y a qu'un scan total du cerveau par seconde !)

# EEG brainwaves



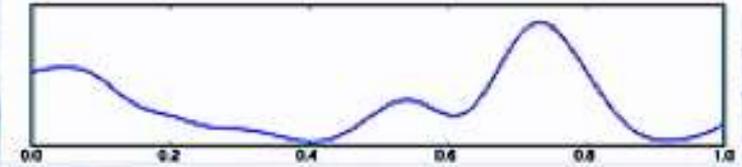
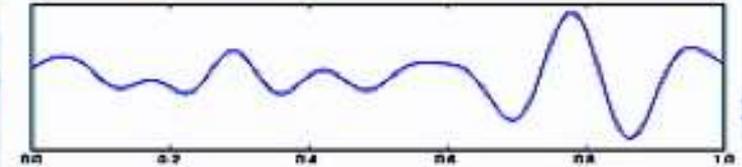
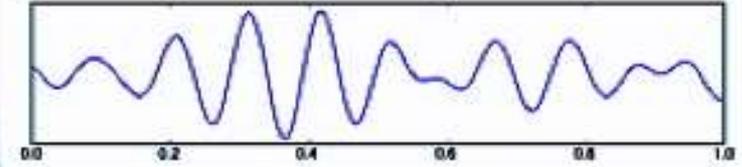
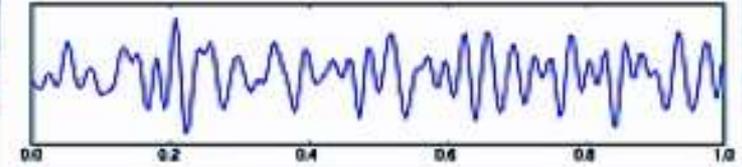
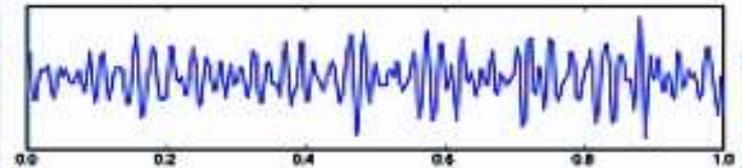
> 30 - 35 Hz **Gamma**  
Problem solving,  
concentration

13 -15 à 30 Hz **Beta**  
Busy, active mind

8 à 12 Hz **Alpha**  
Reflective, restful

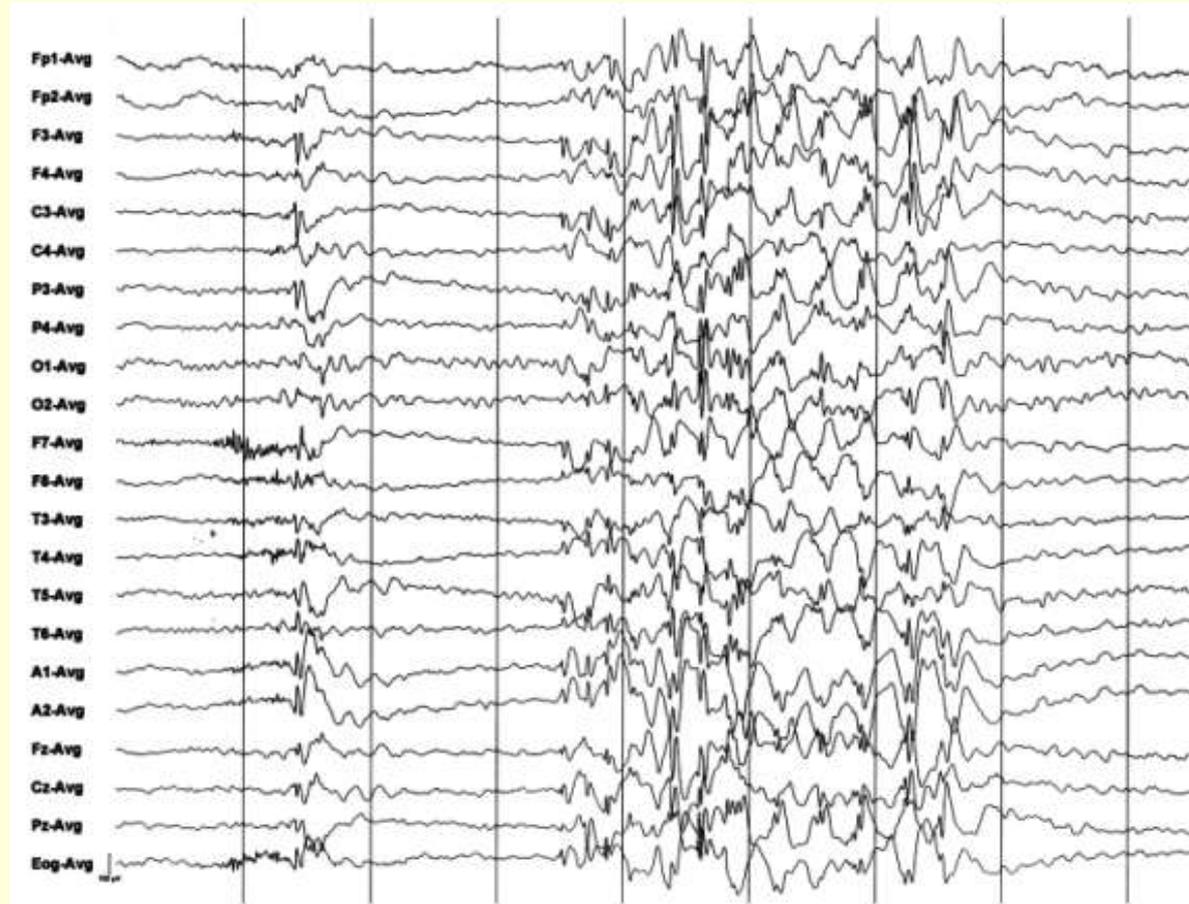
3 - 4 à 7- 8 Hz **Theta**  
Drowsiness

0,5 à 3 -4 Hz **Delta**  
Sleep, dreaming





- Utilisation fréquente en neurologie : détection de foyers **épileptiques**
- Aussi : diagnostic de coma, de mort cérébrale
- Outil important pour la recherche sur **le sommeil**



## Plan de ce soir

De l'activité nerveuse forme  
des systèmes dynamiques non linéaires.

Différents modèles de systèmes non linéaires  
éclairent la dynamique cérébrale

L'origine des rythmes cérébraux

Rôles fonctionnels des oscillations  
et des synchronisations

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

**Éveil, sommeil et rêve**

ÉVEIL



On passe environ **le tiers** de notre vie à dormir et à rêver !

SOMMEIL PROFOND



RÊVE



## ÉVEIL



## SOMMEIL PROFOND



## RÊVE



Si on analyse les caractéristiques de ces deux types de sommeil et de l'éveil, on note d'importantes **différences physiologiques** un peu partout dans l'organisme.



## SOMMEIL PROFOND



## RÊVE



- Durant l'éveil, **les sensations** sont vives et proviennent de l'environnement extérieur.

- Quant au sommeil lent, les sensations sont absentes ou très atténuées.

- Elles sont également vives durant les rêves du sommeil paradoxal, mais générées intérieurement cette fois-ci.



- Quand on est éveillé, l'**activité motrice** est volontaire et pratiquement continue.

## SOMMEIL PROFOND



Durant le sommeil lent, elle est occasionnelle et involontaire.

## RÊVE



Et lors du sommeil paradoxal, elle est inexistante (sauf pour les mouvements oculaires rapides). En réalité, les mouvements sont commandés par le cerveau mais sont bloqués et non réalisés, d'où une atonie musculaire généralisée.



**La pensée** est plutôt logique et évolue chez l'individu éveillé.

## SOMMEIL PROFOND

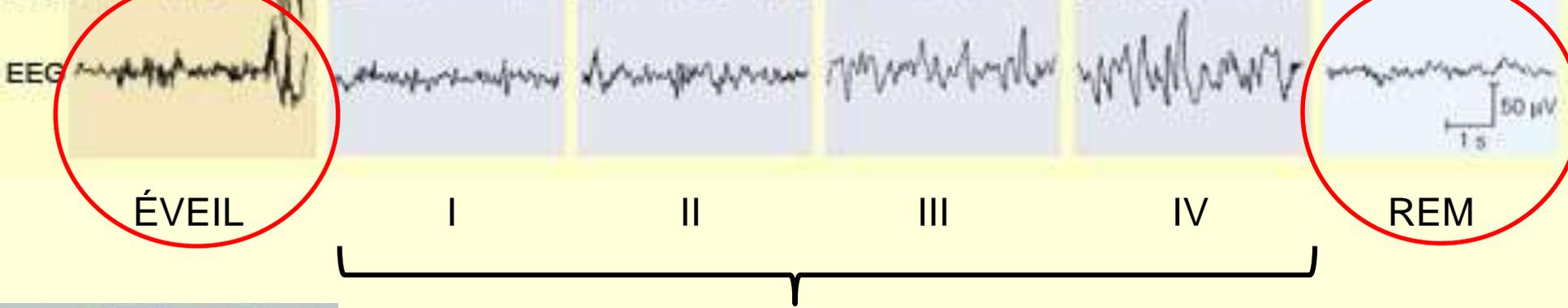


La pensée devient répétitive avec l'apparition du sommeil lent.

## RÊVE



Elle est carrément illogique et étrange durant les rêves.



SOMMEIL PROFOND



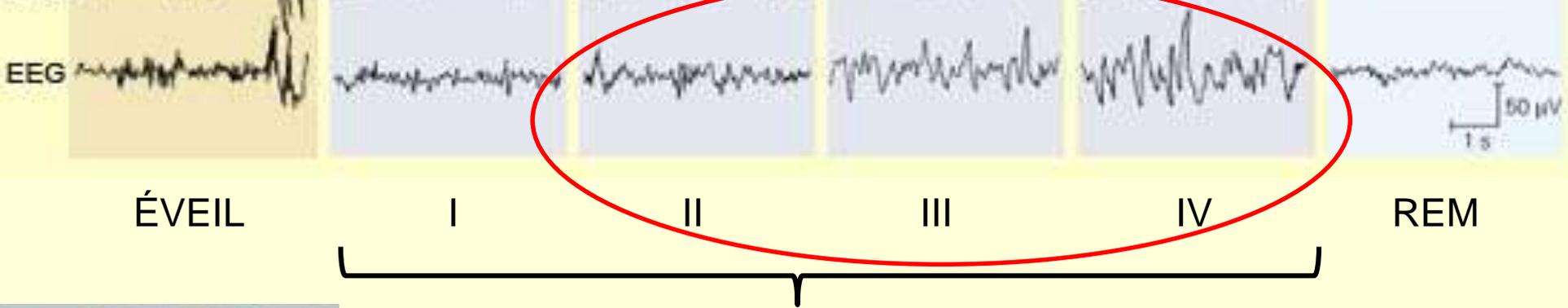
RÊVE



- Durant l'éveil, les **sensations sont vives** et proviennent de l'environnement **extérieur**.

- Elles sont également **vives** durant les rêves du sommeil paradoxal, mais générées **intérieurement** cette fois-ci.

→ Il est intéressant de noter que le tracé de l'EEG est semblable pour l'éveil et le sommeil paradoxal avec sa faible amplitude et sa fréquence élevée.



SOMMEIL PROFOND

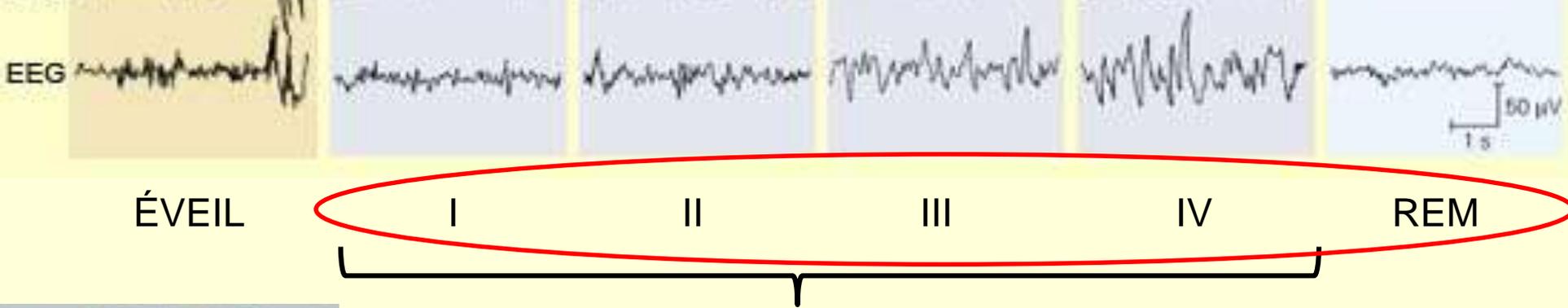


RÊVE



- Quant au sommeil lent, **les sensations sont absentes** ou très atténuées.

→ C'est le **contraire** pour le sommeil lent qui montre plutôt une **grande amplitude et un rythme lent**.



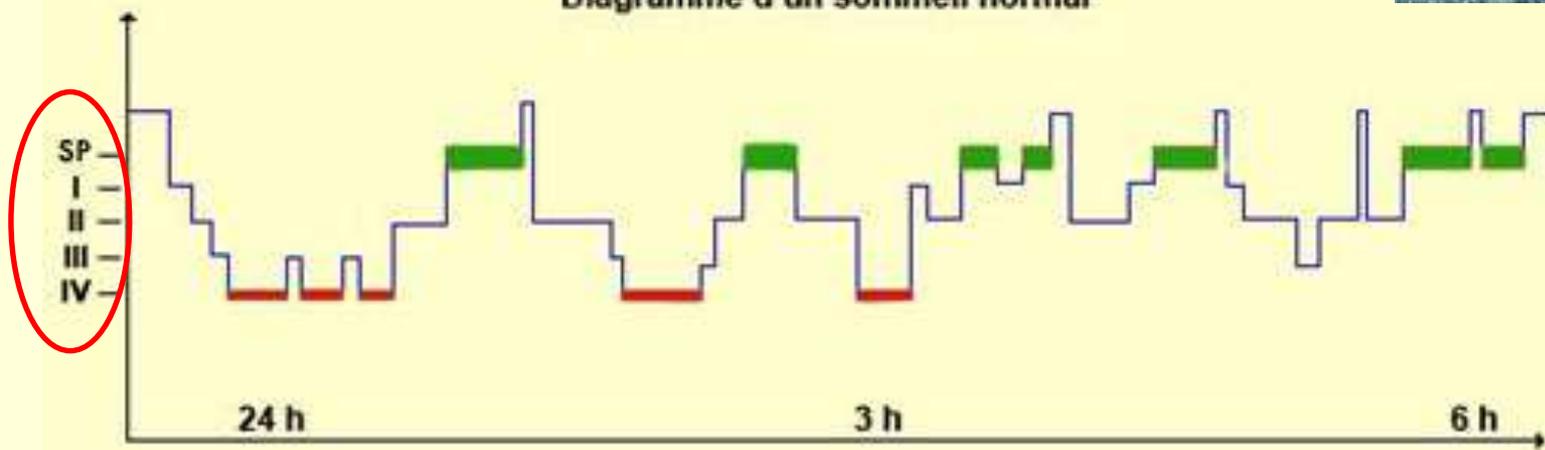
SOMMEIL PROFOND



RÊVE



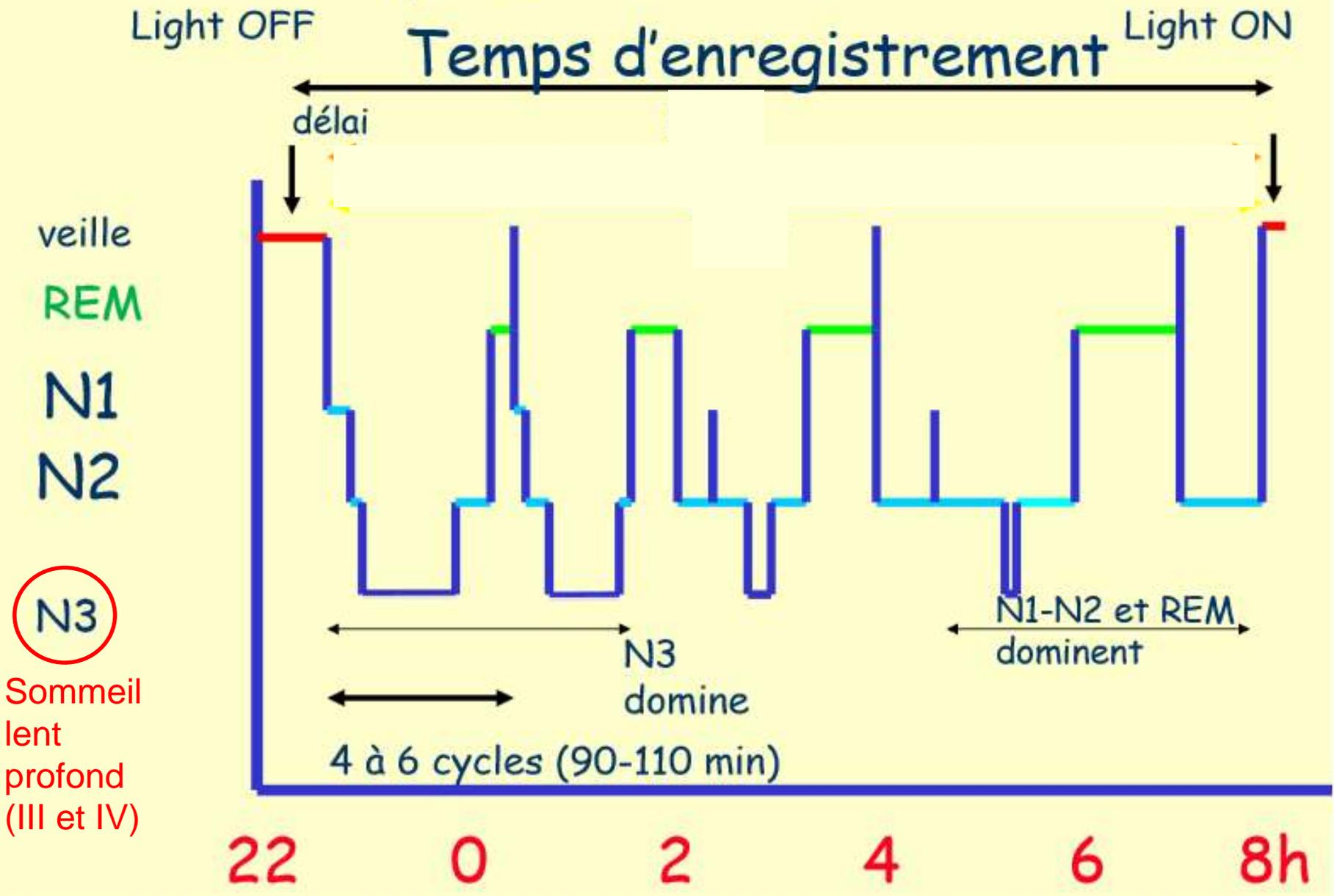
Diagramme d'un sommeil normal



Sommeil lent : I à IV —  
 Sommeil profond : IV —

Sommeil paradoxal : V —

# Hypnogramme Normal

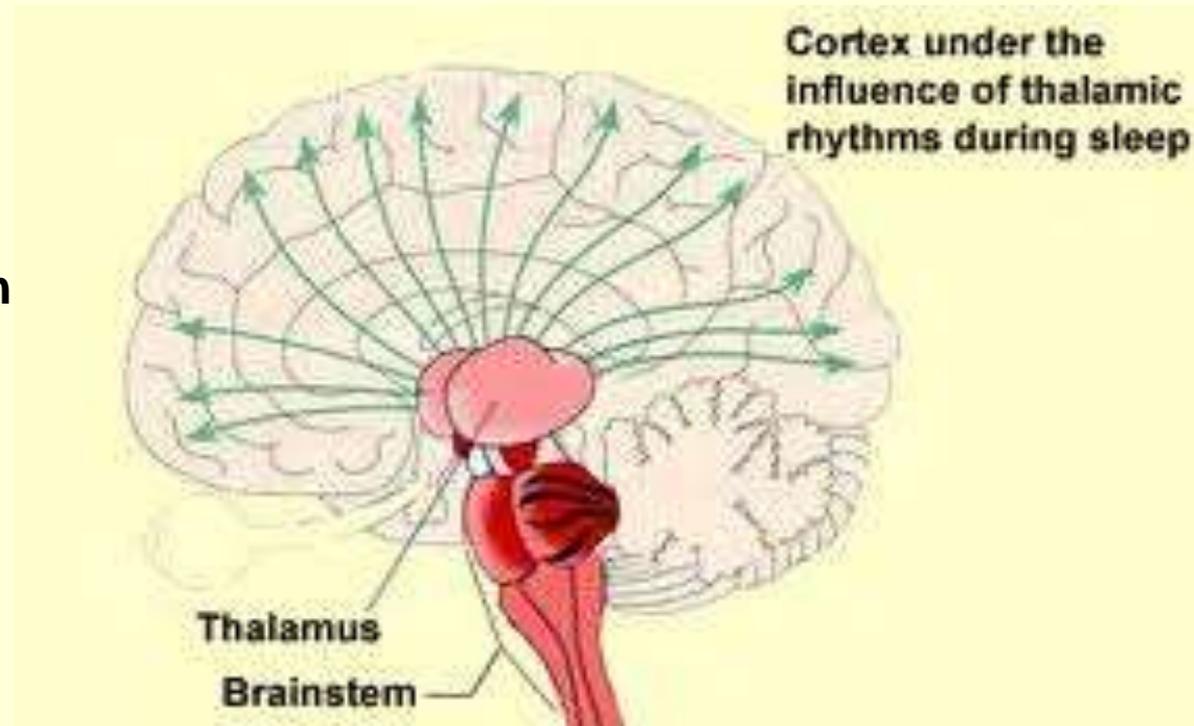


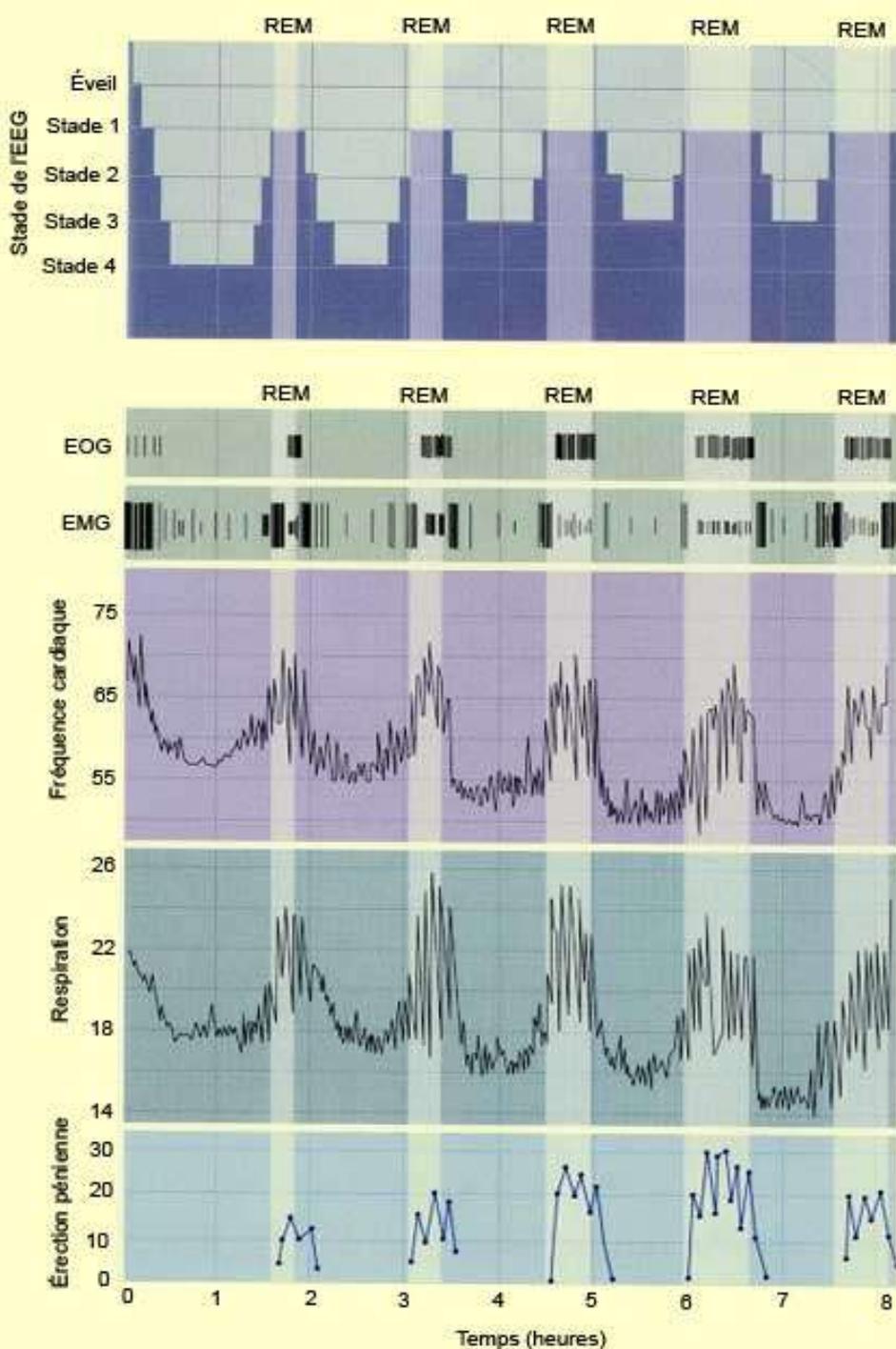
**Le sommeil lent** semble correspondre à un état fait pour le **repos**.

**Le métabolisme général de l'organisme diminue** : température, consommation d'énergie, fréquence cardiaque, respiration, fonction rénale, tout cela ralentit conformément à la prépondérance du système parasympathique durant cette phase du sommeil.

Les rythmes lents de l'électroencéphalogramme (ou EEG) durant le sommeil lent indiquent que **le cerveau semble également au repos**.

La grande synchronisation de l'activité neuronale qu'on y observe, **résultat d'une activité autonome du thalamus plutôt que de son rôle de « relais » habituel**, va dans le même sens, à savoir que la plus grande partie de l'information sensorielle n'atteint même pas le cortex durant cette phase.

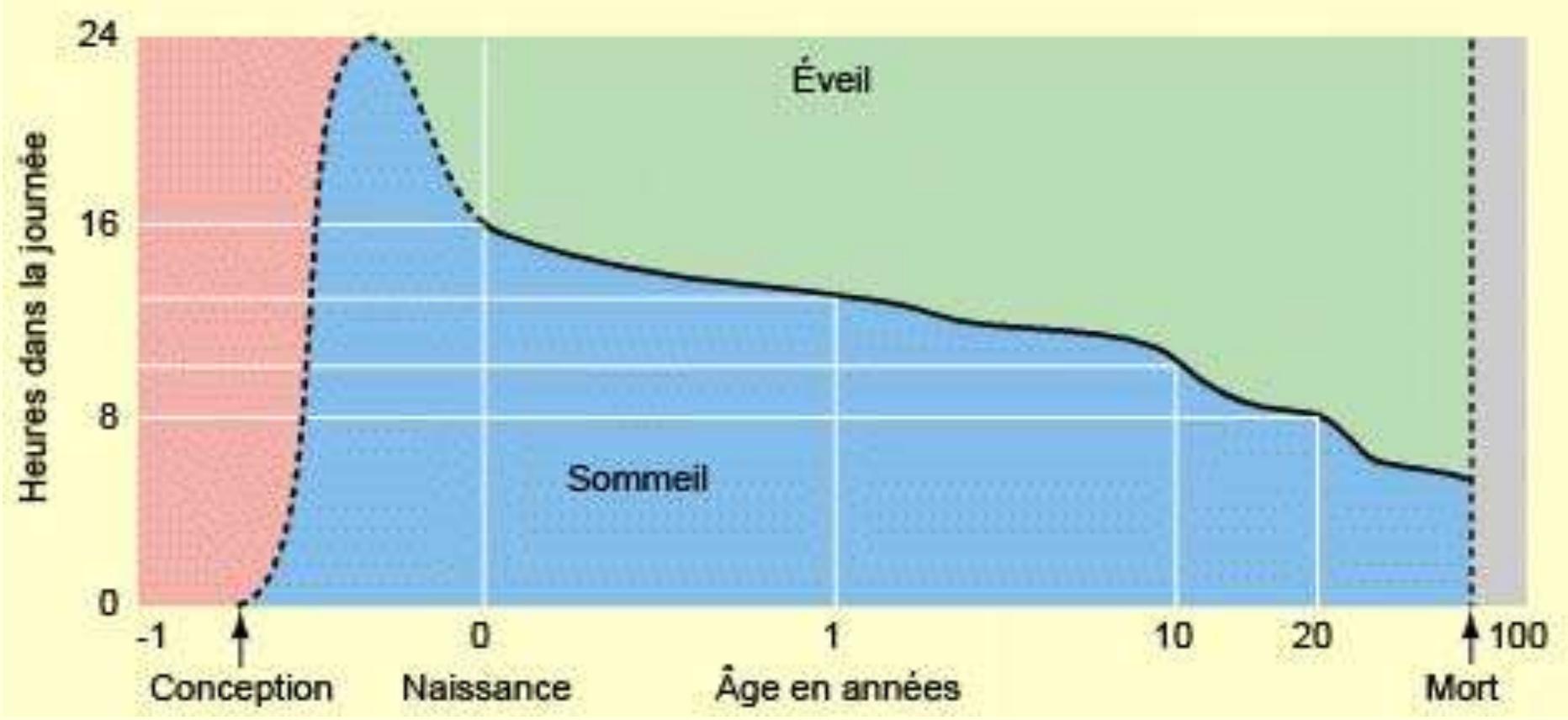




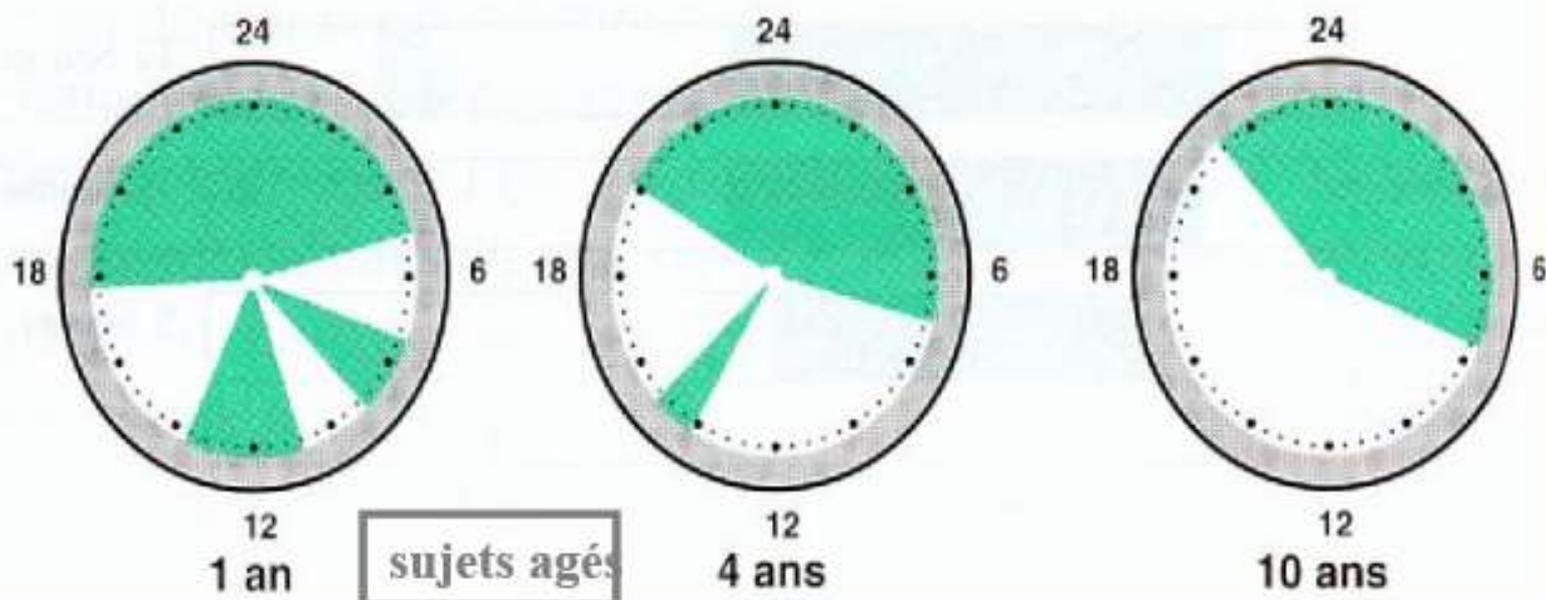
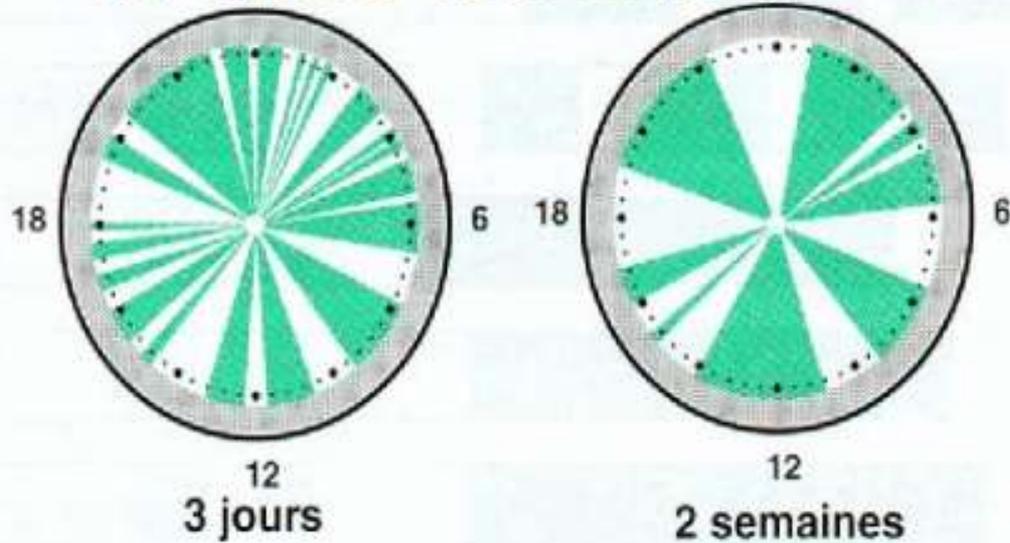
L'alternance du sommeil lent et paradoxal est aussi une alternance entre un état **économe** et un état **énergivore** du cerveau.

Les neurones corticaux, qui sont activés de façon synchrone et fonctionnent en quelque sorte au ralenti durant le sommeil lent, **réduisent en effet d'un tiers** leur consommation de glucose et d'oxygène.

En sommeil paradoxal, au contraire, les neurones sont hyperactifs et **consomment autant sinon plus** de glucose et d'oxygène que lorsque nous sommes éveillés.



# Répartition des épisodes de sommeil au cours des 24h



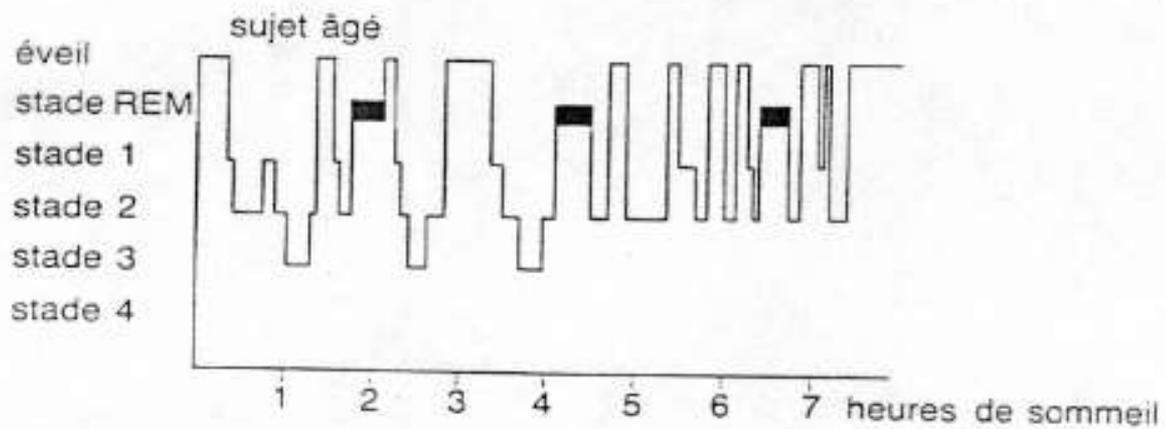
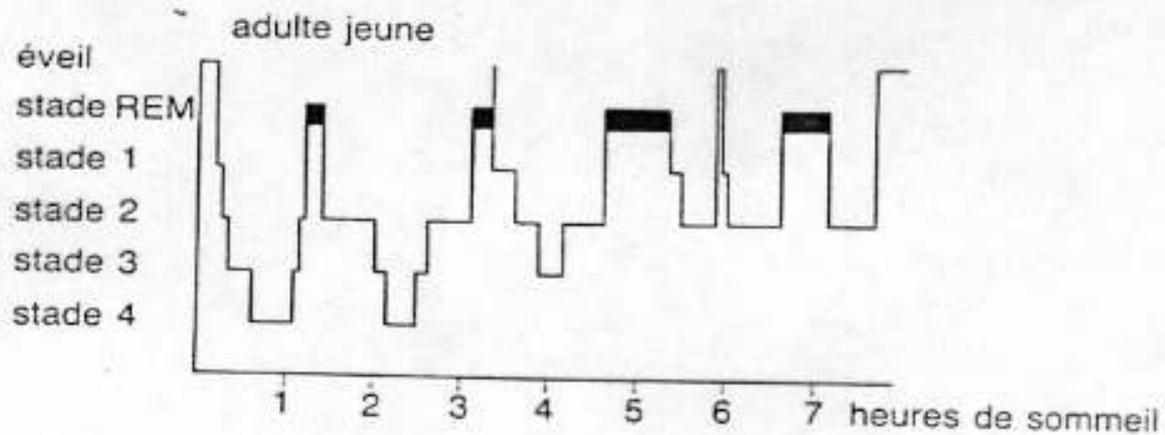
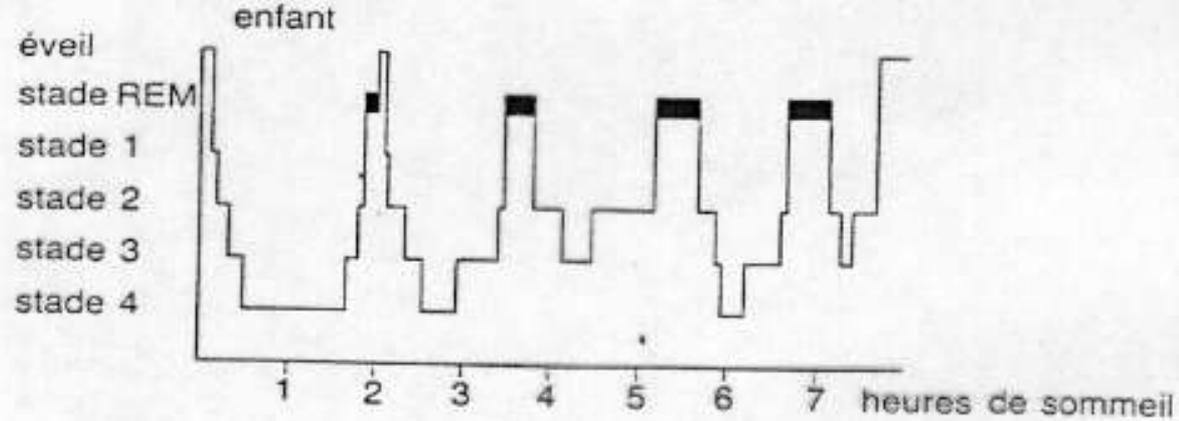
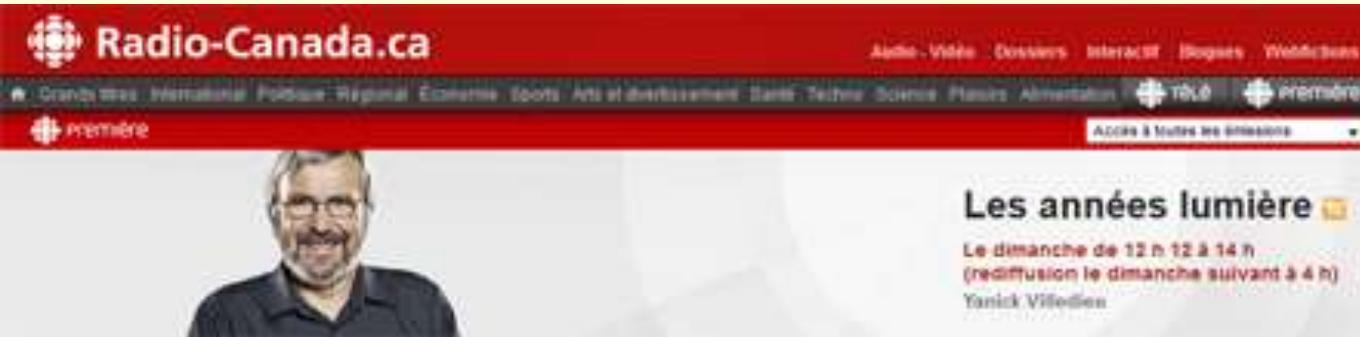


Fig. 6: Exemples d'hypnogrammes obtenus chez un enfant, un adulte jeune et un sujet âgé.



La « règle de trois », avec Roger Godbout, du Laboratoire de recherche sur le sommeil de l'hôpital Rivière-des-Prairies. **4 octobre 2015**

[http://ici.radio-canada.ca/emissions/les\\_annees\\_lumiere/2015-2016/archives.asp?nic=1&date=2015-10-04](http://ici.radio-canada.ca/emissions/les_annees_lumiere/2015-2016/archives.asp?nic=1&date=2015-10-04)

## Pourquoi dort-on ?

Dans les années '80 et '90, des expériences chez les animaux ont montré que la privation totale de sommeil entraîne la mort au bout de 230 à 235 heures (environ 10 jours).

Les animaux privés de sommeil s'alimentaient plus mais leur température baissait, ce qui est paradoxal et dénote un fort dérèglement du métabolisme.

Tous les animaux ont un cycle de repos (même les abeilles, relaxation muscle du cou).

Chez l'humain, on peut aussi observer ce qui se passe quand on ne dort pas assez ou, comme le disent les médecins, quand on montre les signes du **syndrome d'insuffisance du sommeil**.

C'est d'abord la vigilance, la concentration et la capacité de réfléchir qui sont diminuées.

On observe ensuite un ralentissement des réflexes, des troubles de la mémoire, de la fatigue musculaire, des sautes d'humeur, voire de l'agressivité et de la difficulté à se situer dans le temps ou l'espace.

Cela peut aller jusqu'à des **hallucinations** semblables à celles qui surviennent habituellement au moment de s'endormir, entre rêve et réalité. Anodines lorsqu'on est au lit, elles peuvent être fatales au travail ou au volant. En fait, le manque de sommeil serait la cause cachée de la majorité des "**erreurs humaines**" qui **provoquent des accidents**.

→ Il y aurait près de 10% de plus d'accidents de la route le lendemain du jour où on avance l'heure.

Chez l'humain, on peut aussi observer ce qui se passe quand on ne dort pas assez ou, comme le disent les médecins, quand on montre les signes du **syndrome d'insuffisance du sommeil**.

C'est d'abord la vigilance, la concentration et la capacité de réfléchir qui sont diminuées.

On observe ensuite un ralentissement des réflexes, des troubles de la mémoire, de la fatigue musculaire, des sautes d'humeur, voire de l'agressivité et de la difficulté à se situer dans le temps ou l'espace.

Cela peut aller jusqu'à des **hallucinations** semblables à celles qui surviennent habituellement au moment de s'endormir, entre rêve et réalité. Anodines lorsqu'on est au lit, elles peuvent être fatales au travail ou au volant. En fait, le manque de sommeil serait la cause cachée de la majorité des "**erreurs humaines**" qui **provoquent des accidents**.

À plus long terme, plusieurs études ont trouvé une relation entre la quantité et la qualité du sommeil et plusieurs problèmes de santé chroniques. C'est le cas par exemple de l'**obésité**, du **diabète** ou de l'**hypertension**.

Dans ces trois cas, le manque de sommeil perturbe des mécanismes régulateurs qui se mettent normalement en branle durant la nuit.

Aucun humain ne peut dormir moins de 4 h par nuit (sommeil « incompressible »)

Mais il y a des gros dormeurs et des petits dormeur, avec une moyenne 7h30 – 8h pour la majorité des gens.

15 à 20% des gens dorment moins de 6 heures  
10% des gens plus de 9 heures

Il semble qu'avec l'entraînement, on puisse réduire progressivement d'une heure ou deux son temps de sommeil normal sans ressentir trop de fatigue.

C'est d'ailleurs ce qui semble s'être passé dans les sociétés développées durant le dernier siècle : **les adultes de 1910 dormaient en moyenne 9 heures par nuit**, alors que celui d'aujourd'hui se contente de 7,5 à 8 heures.

**L'éclairage électrique** qui permet d'augmenter facilement la durée de jours et la valorisation croissante de valeurs liées à la productivité durant ce siècle y sont sans doute pour quelque chose.

Dans notre société obsédée par la performance, on cite souvent en exemple Napoléon, Louis XIV ou Churchill qui dormaient, dit-on, que quelques heures par nuit.

Mais curieusement, on oublie de parler de tous les autres qui, comme Einstein, avait besoin de 10, et parfois même de 12 heures de sommeil par nuit !

Différents « **style de sommeil** » aussi :

on se couche plus ou moins tard et on se lève plus ou moins tôt.

Mécanismes neuronaux produisant le sommeil :

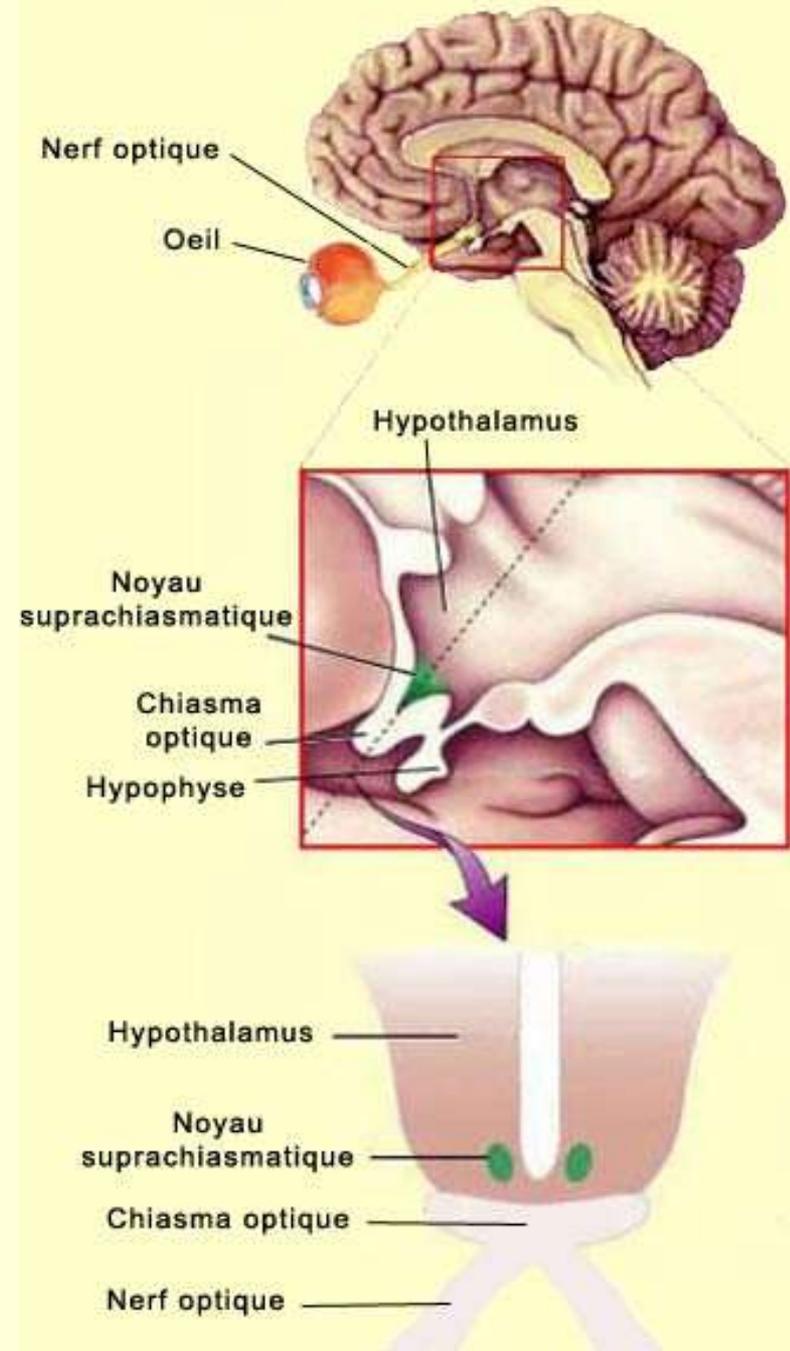
Comment on **s'endort** ?

Il semble que **deux** processus doivent se superposer correctement dans l'organisme pour que l'on puisse s'endormir.

Le **premier** est un rythme dit « circadien », c'est-à-dire réglé sur une période de 24 heures par notre horloge biologique, et qui orchestre la sécrétion cyclique de plusieurs hormones dont la **mélatonine**, impliquée dans le sommeil.

Cette « horloge centrale » est située dans les **noyaux suprachiasmatiques** situés juste au-dessus du chiasma optique, l'endroit où les deux nerfs optiques se croisent.

Cette position stratégique permet aux noyaux suprachiasmatiques de recevoir des prolongements du nerf optique qui lui indique le niveau d'intensité lumineuse ambiante.



Le **deuxième** processus est l'accumulation de substances « hypnogènes » durant les 16 heures de la journée, substances qui induisent une envie de dormir ne disparaissant qu'avec le sommeil.

L'endormissement ne serait donc possible que lorsque, d'une part, votre horloge biologique a amené votre organisme dans une conformation hormonale favorable au sommeil, et d'autre part que cela fait un bon moment que vous n'avez pas dormi.

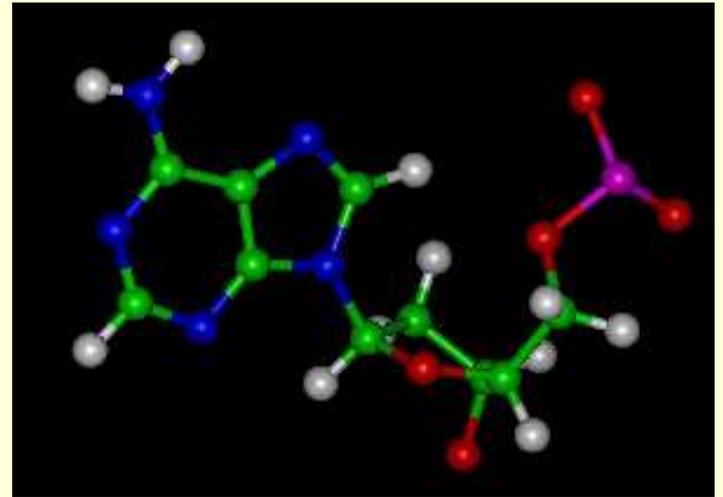
C'est aussi ce qu'on appelle **la dette de sommeil**, qui s'accumule durant toute la journée.

Et en général les deux sont en phase (mais en voyage, le décalage horaire peut les déphaser).

L'un de ces facteurs hypnogènes les plus étudiés est l'**adénosine**, une petite molécule qui agit comme neuromodulateur au niveau de très nombreuses synapses du cerveau.

Depuis très longtemps, des antagonistes naturels des récepteurs de l'adénosine sont ingérés par l'être humain pour se garder éveillé plus longtemps. La caféine du café ou la théophylline du thé, qui sont deux de ces substances, sont bien connues pour leur effet stimulant.

C'est au début des années 1980 que la raison pour laquelle tant de gens boivent du café pour se réveiller devint évidente : la caféine, la substance psychoactive du café, empêche l'adénosine de se fixer sur certains neurones du cerveau.



**Caféine**

Plusieurs caractéristiques de l'**adénosine** en font un candidat idéal comme facteur hypnogène :

- sa concentration dans le cerveau est plus élevée durant l'éveil que durant le sommeil;
- elle croît durant un éveil prolongé;
- et l'administration d'adénosine ou de ses agonistes induit la somnolence.

L'adénosine est un produit de la dégradation de l'ATP (adénosine triphosphate), la molécule qui sert de « monnaie énergétique » à nos différentes fonctions cellulaires. La production d'adénosine reflète donc le niveau d'activité des neurones et des cellules gliales.

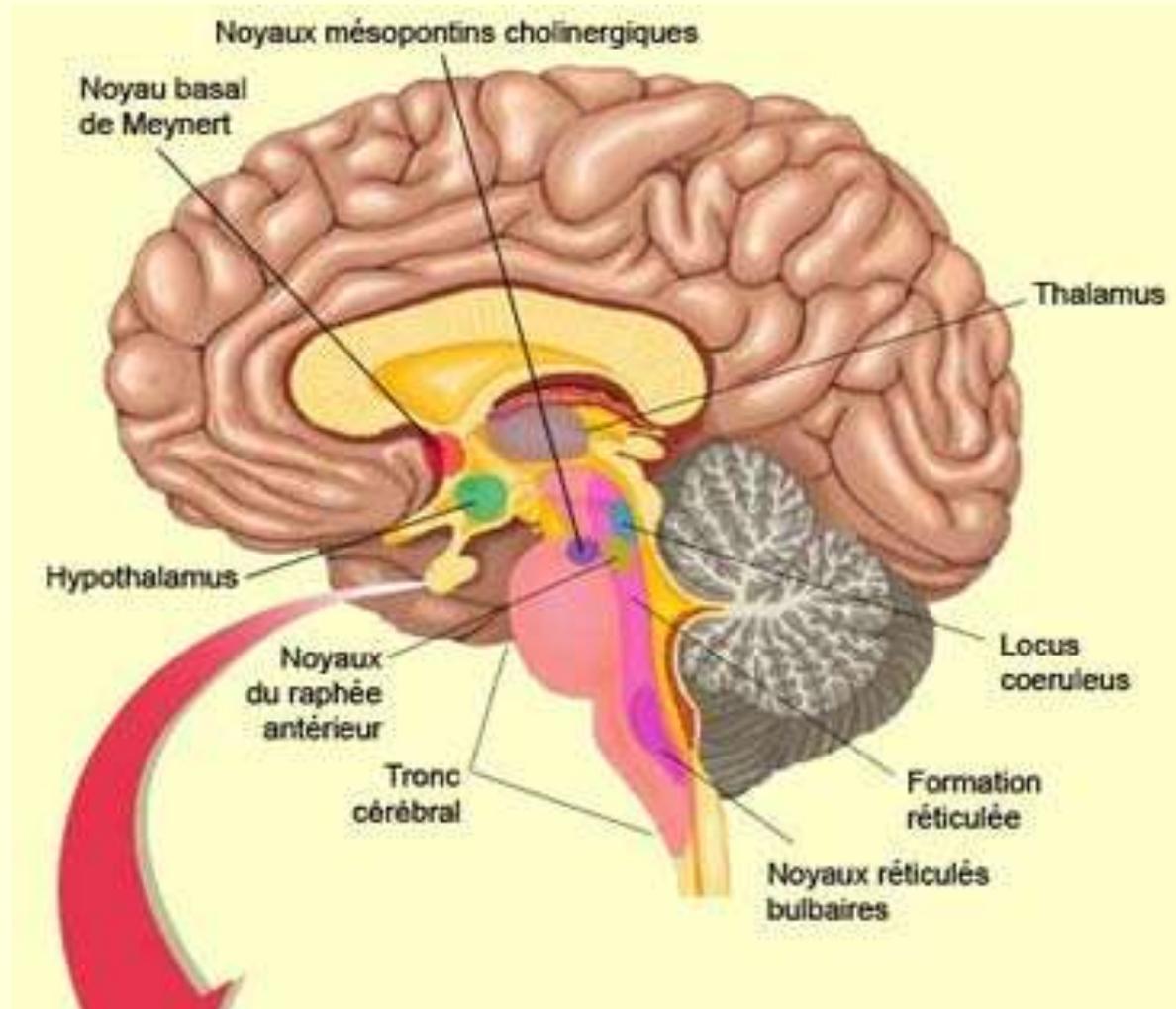
La forte activité cérébrale durant l'éveil entraîne une forte consommation d'ATP et par conséquent l'accumulation d'adénosine.

L'augmentation d'adénosine, en déclenchant le sommeil lent durant lequel le cerveau est moins actif, amène donc celui-ci dans une phase de récupération dont il aurait absolument besoin.

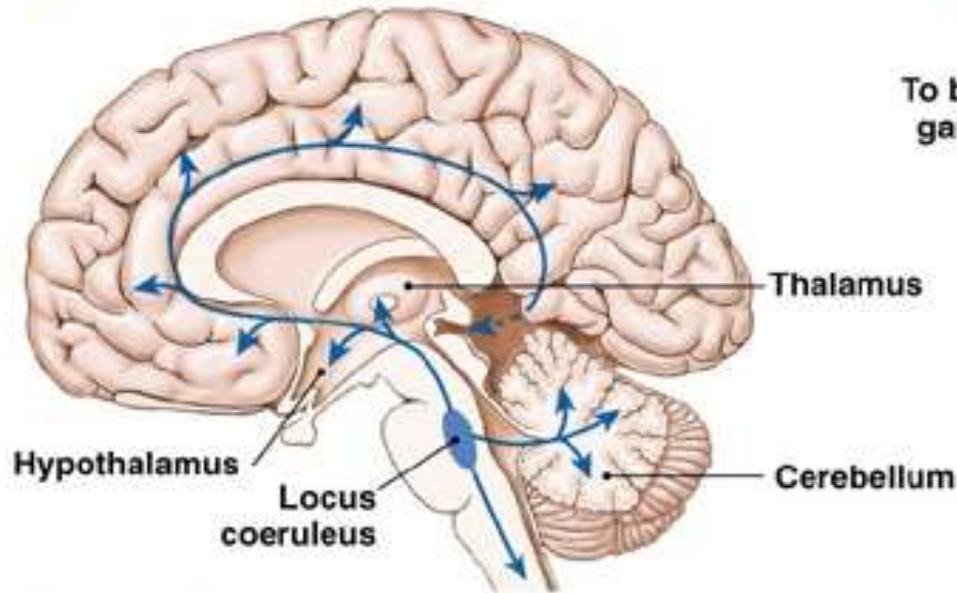
# Les régulations complexes entre éveil et sommeil

Neuromodulateurs de l'éveil

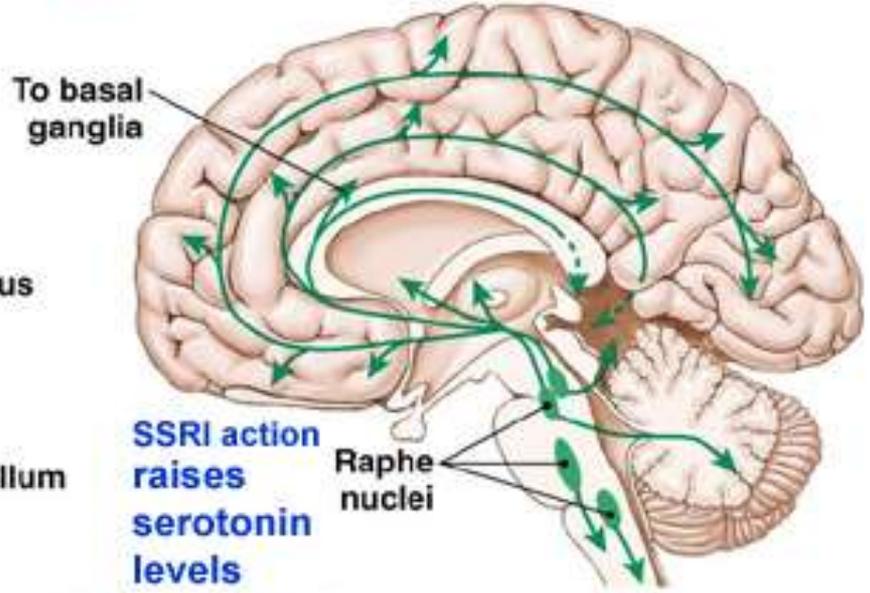
Être éveillé n'est pas le fruit du travail d'un « centre de l'éveil » dans le cerveau mais bien le résultat de l'activation d'un réseau complexe et redondant d'une **dizaine de groupes de neurones** répartis de l'hypothalamus au bulbe rachidien.



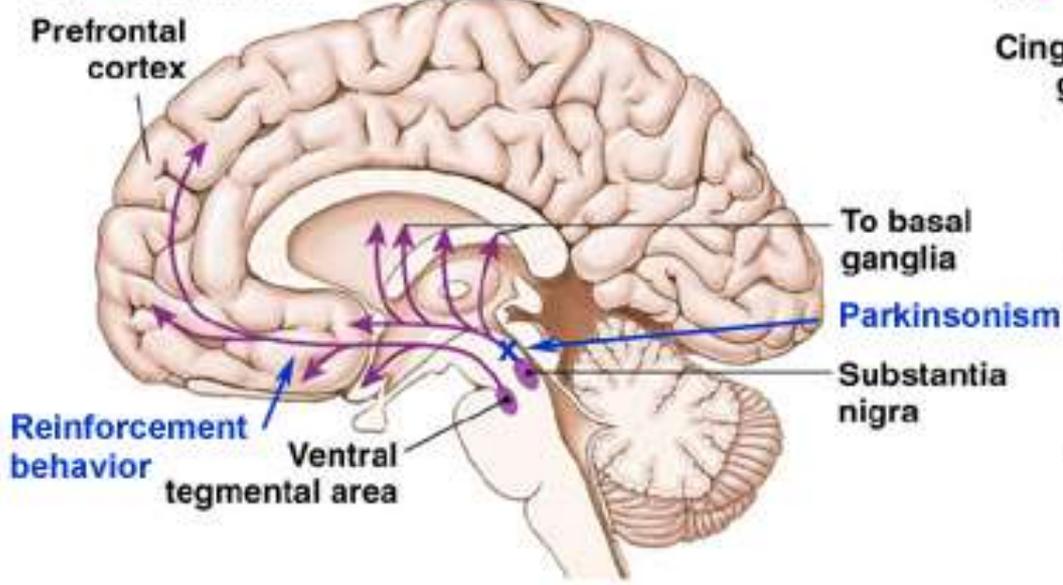
**(a) ● Norepinephrine**



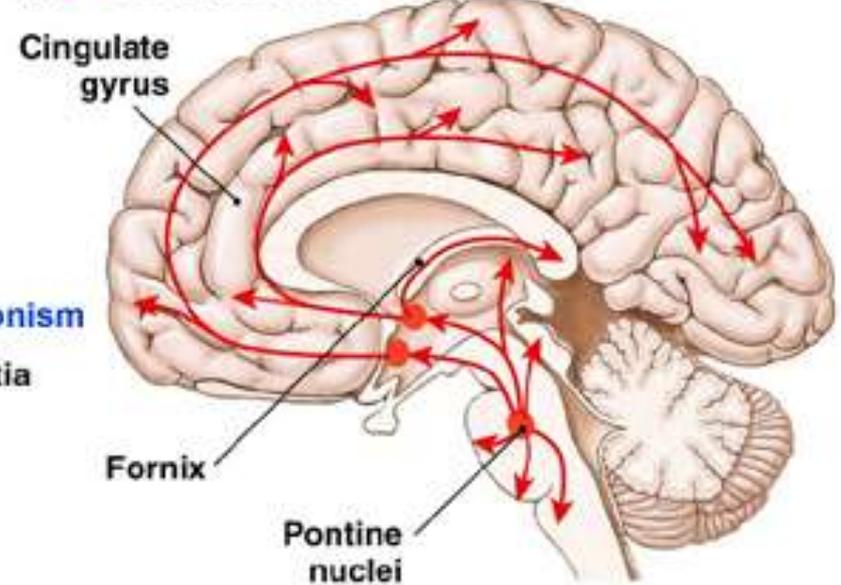
**(b) ● Serotonin**



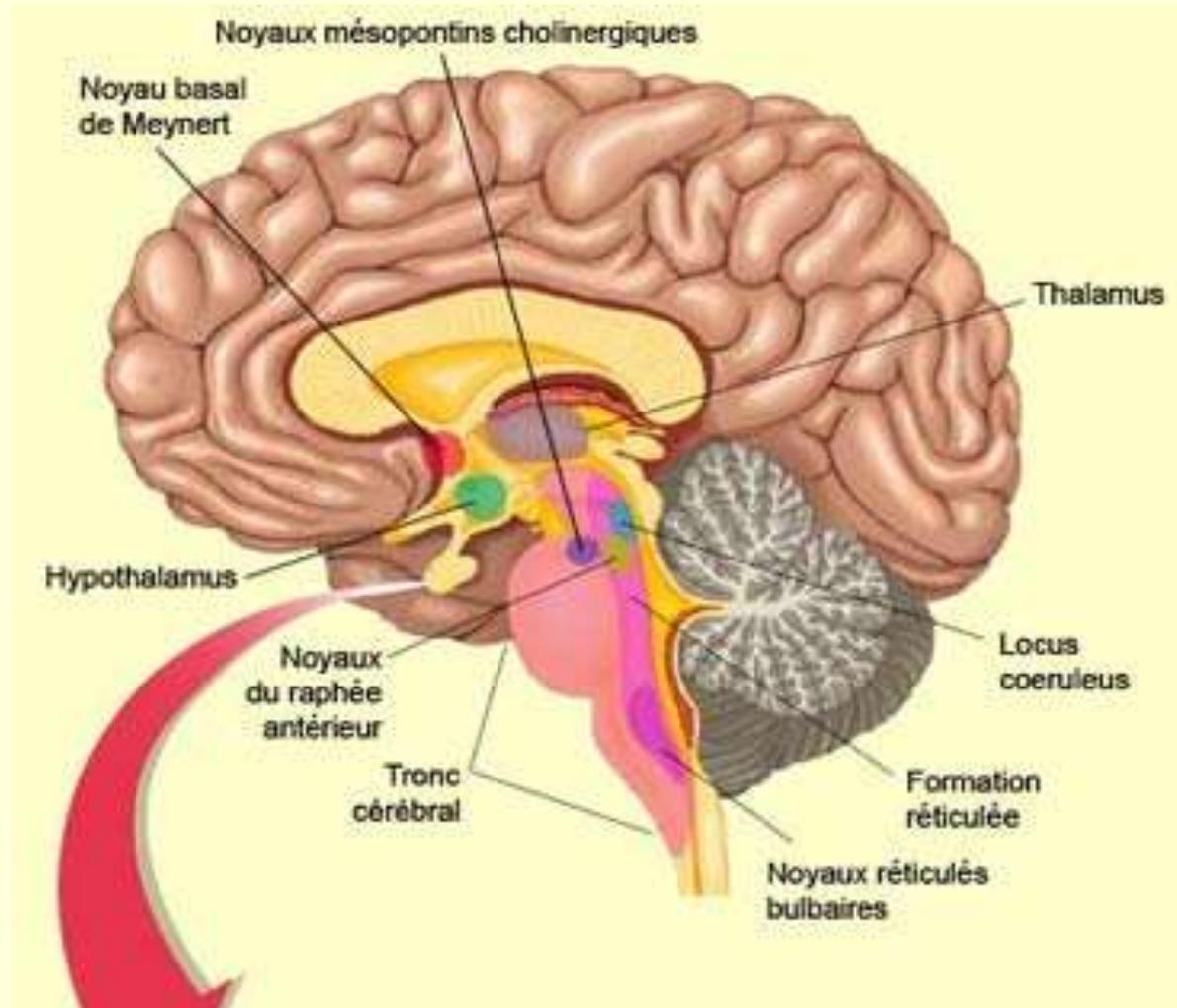
**(c) ● Dopamine**



**(d) ● Acetylcholine**



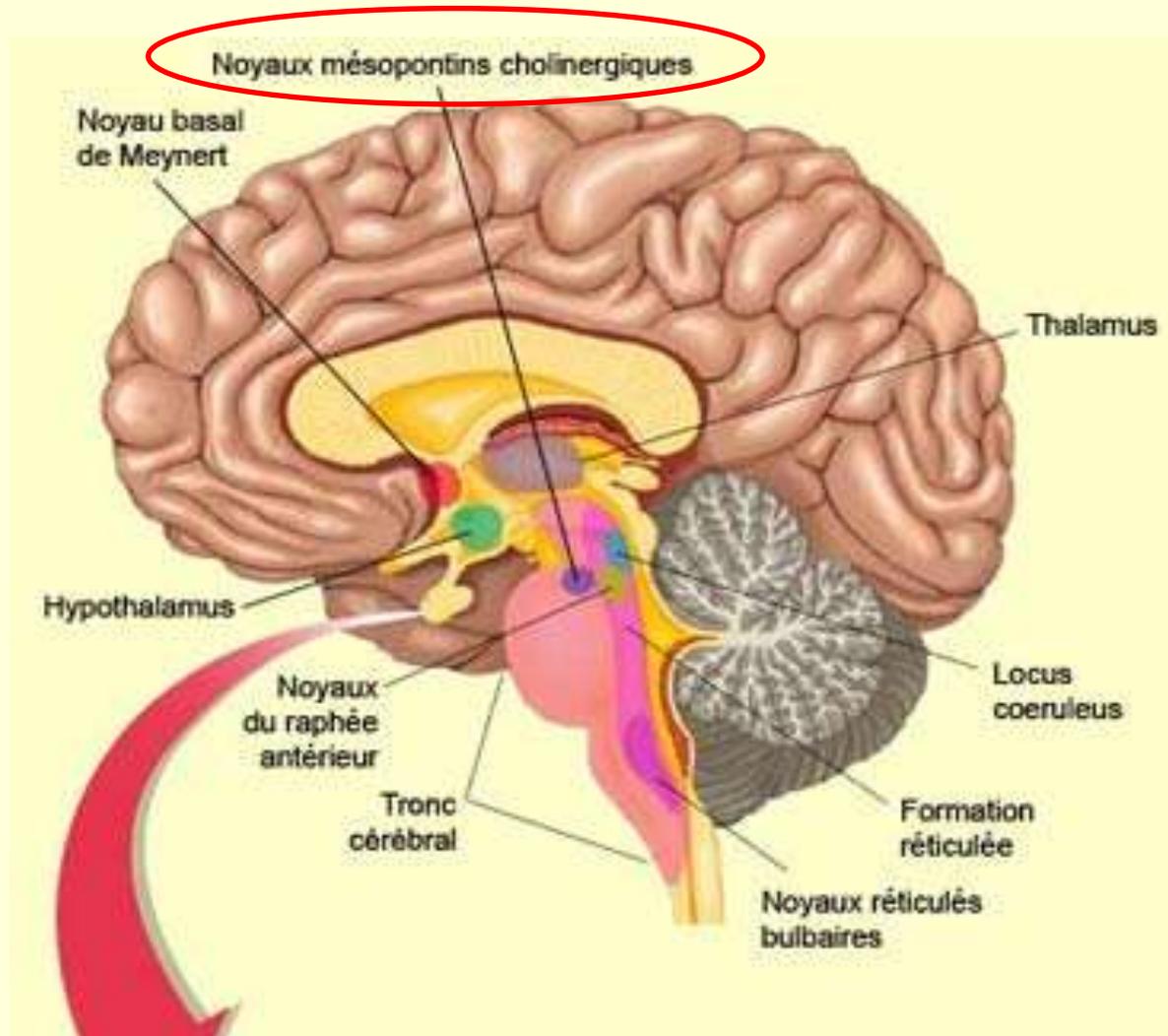
Ces neurones communiquent entre eux grâce à différents neurotransmetteurs mais ont tous en commun de **diminuer ou d'arrêter leur activité pendant le sommeil.**



**Les noyaux mésopontins cholinergiques**, qui se projettent sur le thalamus.

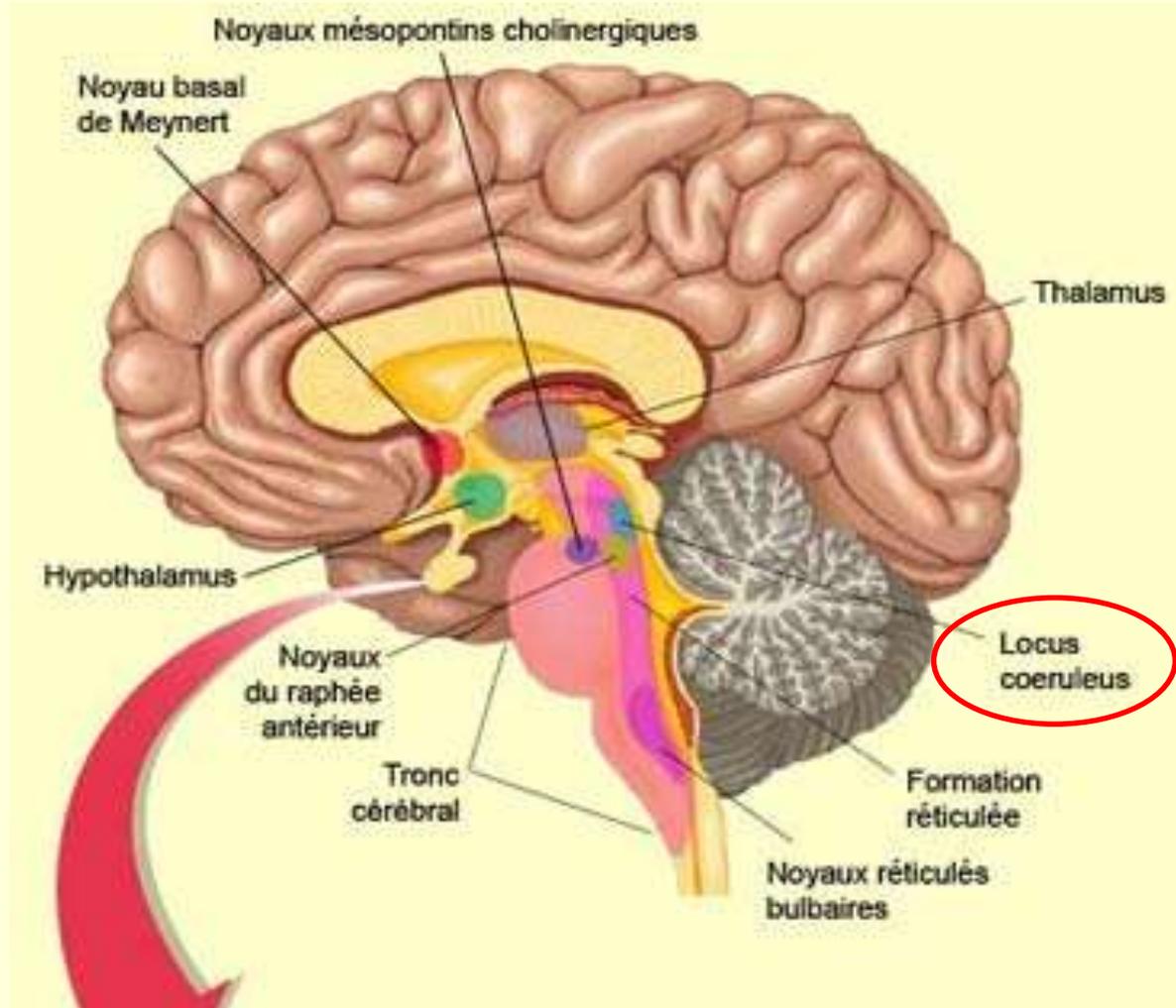
L'acétylcholine produite par ces noyaux exerce une double action : elle diminue l'activité du noyau réticulaire thalamique appartenant au système du sommeil ; et elle active les neurones thalamocorticaux impliqués dans l'éveil.

(sont aussi actifs pendant le sommeil paradoxal)

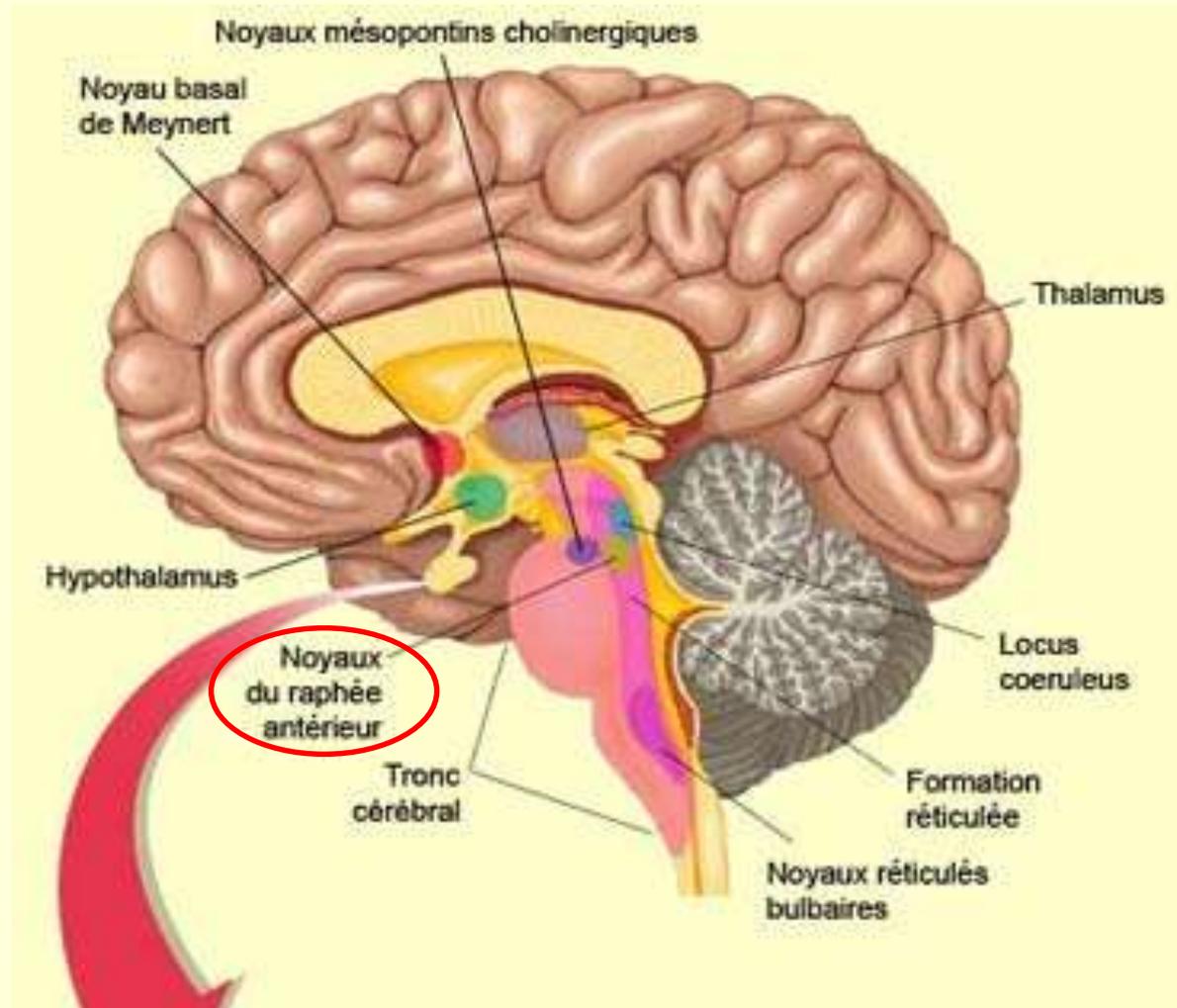


**Les noyaux du locus coeruleus**, situés dans la partie dorsale du pont, et dont les projections noradrénergiques influencent des structures cérébrales comme le thalamus, l'hippocampe et le cortex.

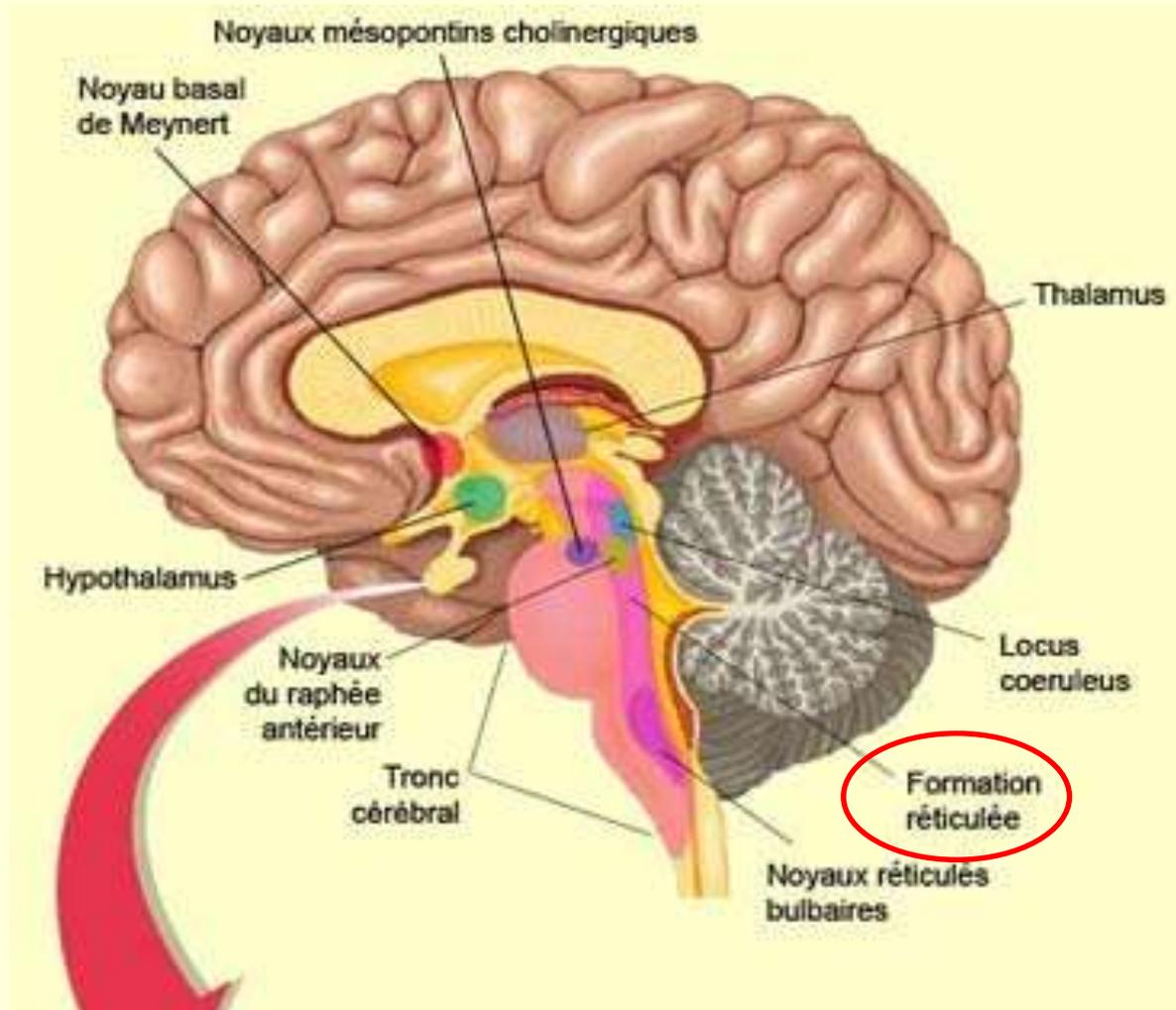
L'activité du locus coeruleus est maximale chez le sujet éveillé et actif, réduite durant un éveil calme, encore plus réduite en sommeil lent, et complètement abolie en sommeil paradoxal.



**Les noyaux sérotoninergiques du raphé antérieur** (ou supérieur), qui projettent de la sérotonine vers l'hypothalamus et le cortex. Actifs pendant l'éveil, l'effet global des noyaux du raphé antérieur est éveillant.

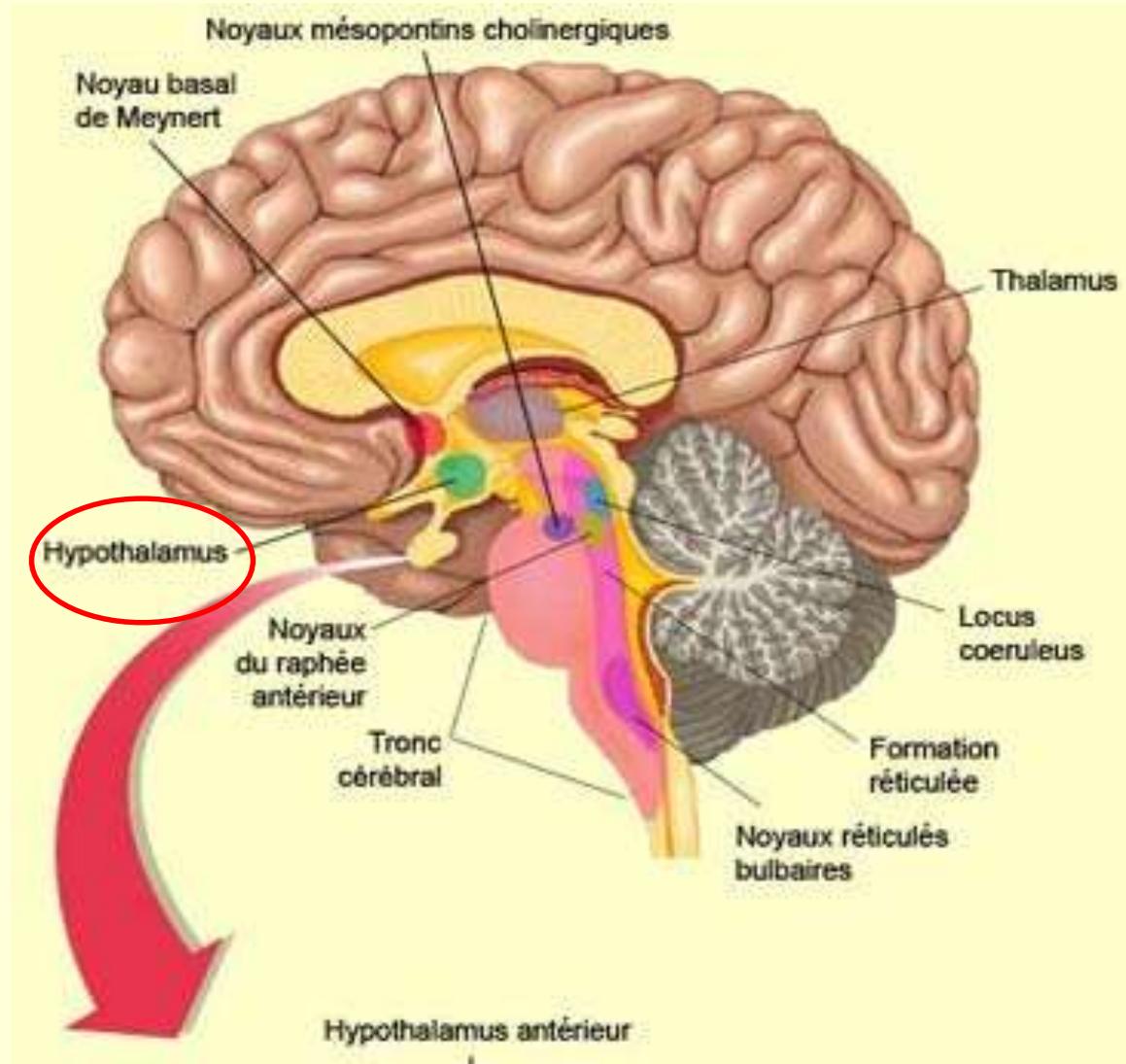


**La formation réticulée mésencéphalique**, qui se projette massivement sur les noyaux thalamiques, qui vont ensuite influencer tout le cortex. Son rôle est un de désynchronisateur du cortex au sens large, favorisant l'éveil mais aussi le sommeil paradoxal.



Dans l'hypothalamus postérieur, certains neurones à **histamine** sont actifs dès le réveil, mais sont complètement silencieux durant le sommeil paradoxal.

Ces neurones envoient leurs projections sur l'ensemble du cerveau et notamment sur les autres neurones de l'éveil qu'ils contribuent à activer.

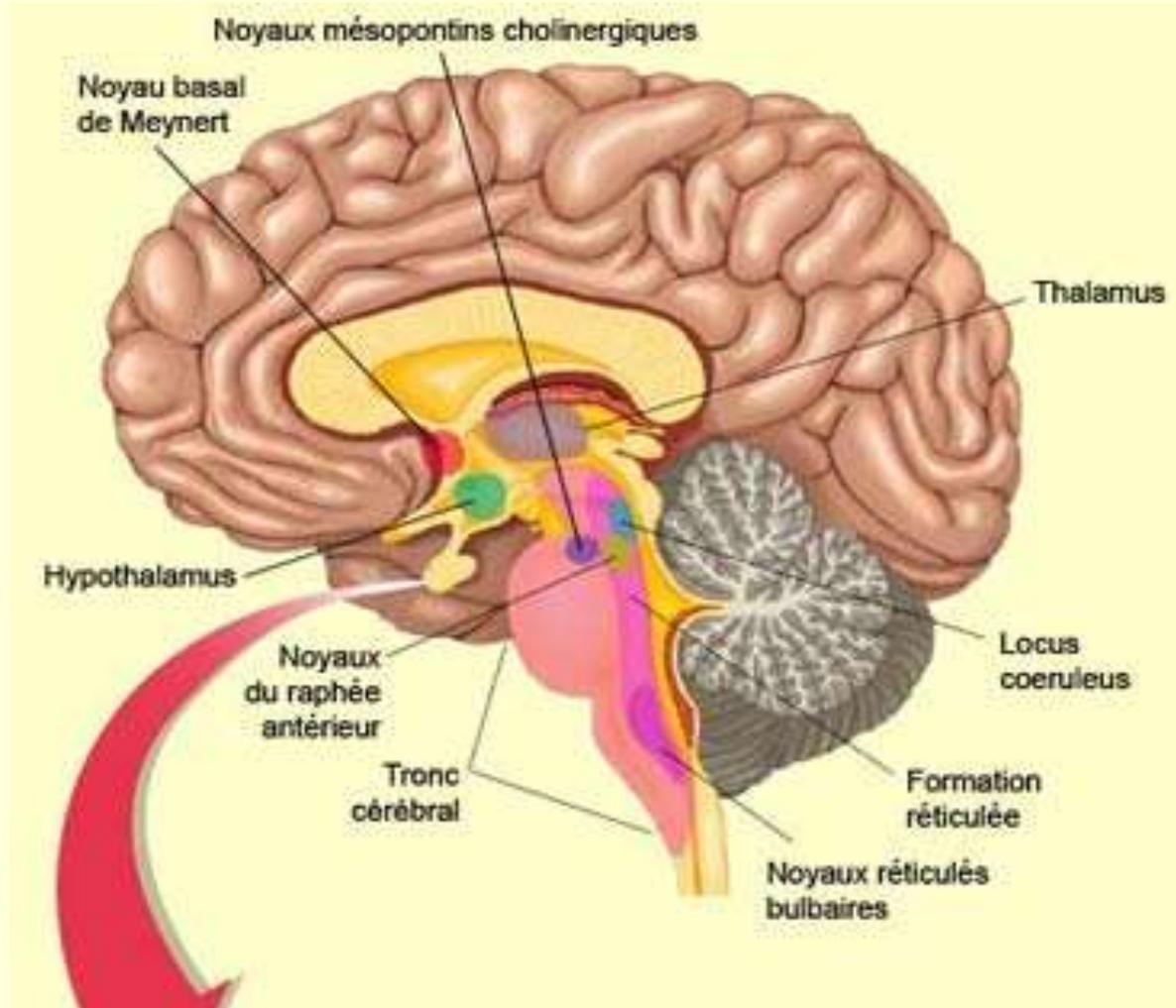


L'ensemble de ces structures du tronc cérébral reçoit des **collatérales des afférences sensorielles et végétatives** qui participent ainsi au maintien de leur activité.

Cette organisation redondante explique aussi pourquoi l'inactivation d'un seul système est suivie, après quelques jours, d'une **récupération complète de l'éveil**.

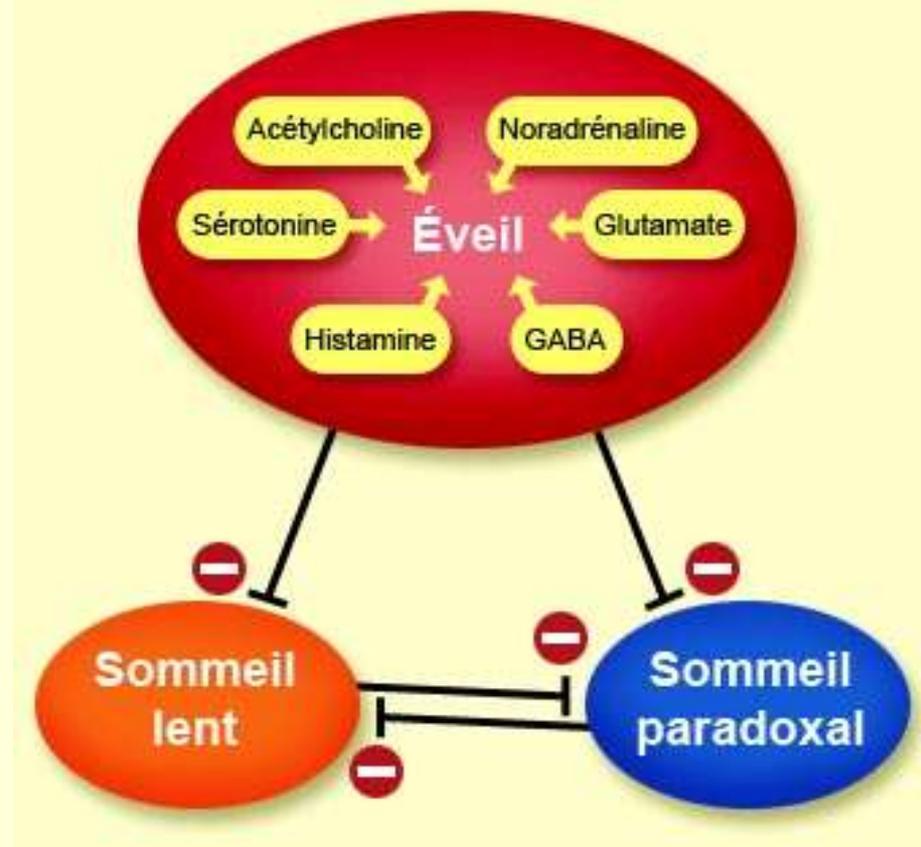
Aucune des structures décrites, prise isolément, n'est donc indispensable à l'activation corticale.

Il n'existe pas un interrupteur «on-off» **unique** de l'éveil ni du sommeil.



Les populations neuronales associées à l'éveil, au sommeil lent et au sommeil paradoxal fonctionnent donc un peu comme différents **interrupteurs** :

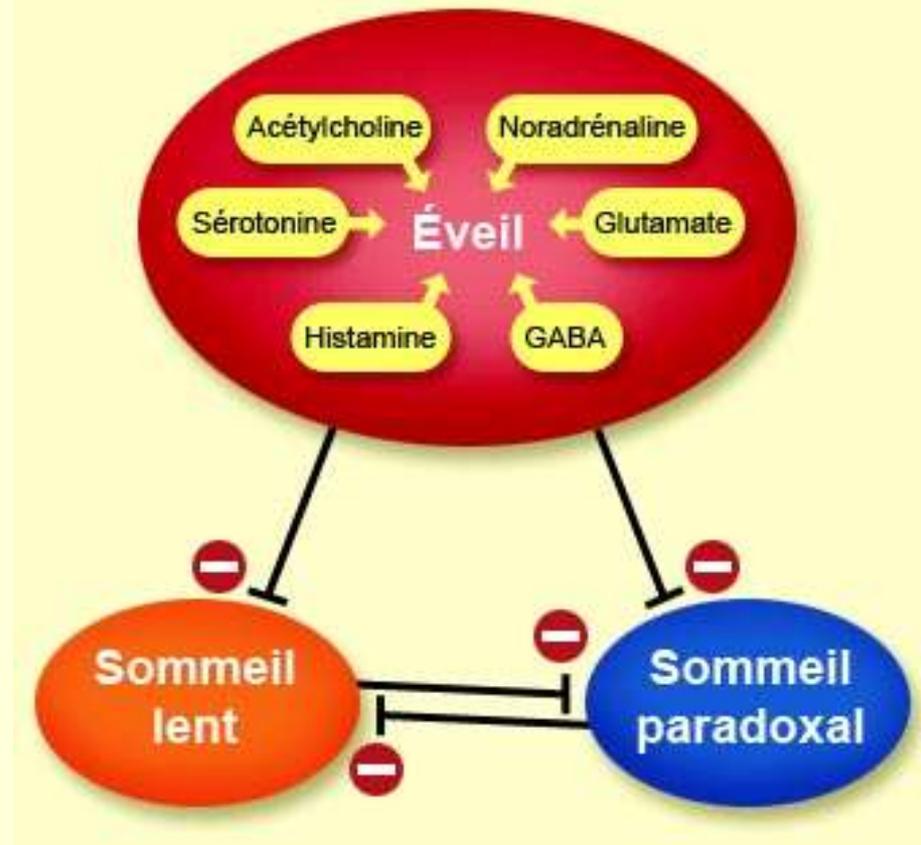
l'une d'entre elle entre en activité quand l'activité cesse dans l'autre, et vice versa.



L'éveil est donc la conséquence d'une **augmentation générale de l'activité du cortex** qui produit la désynchronisation corticale observée lors de l'éveil.

Cette activation neuronale est entretenue par les stimulations de l'environnement et du milieu interne. On peut donc dire que, d'une part, l'activation du réseau de l'éveil est entretenue par l'éveil lui-même !

On sait tous qu'il est possible de se motiver à rester éveillé plus que d'habitude, malgré la fatigue qui se fait sentir.



Mais d'autre part, un deuxième mécanisme parallèle favorise l'éveil : **l'inhibition du sommeil.**

Et les deux types de sommeil, lent et paradoxal, semblent faire l'objet d'une inhibition séparée par des circuits de l'éveil distincts.

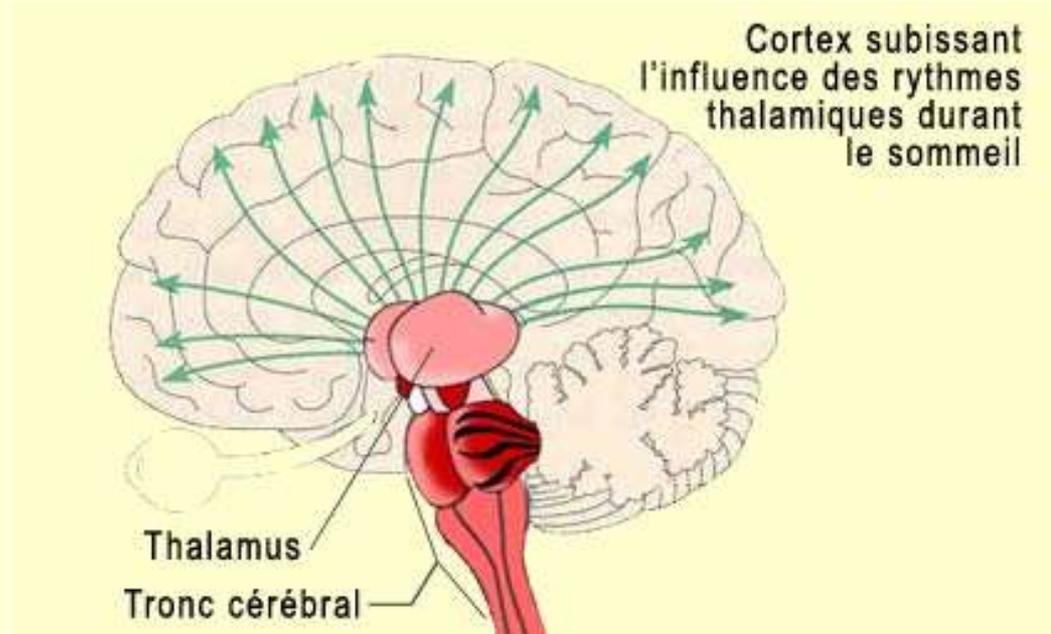
# Les régulations complexes entre éveil et sommeil

## Neuromodulateurs du **sommeil**

→ Le cerveau doit mener une véritable lutte contre lui-même en désactivant le puissant système de vigilance-éveil.

Car c'est l'ensemble de ces signaux d'éveil qui vont cesser de parvenir au cortex avec l'avènement du sommeil lent.

Ils seront interrompus au niveau du thalamus, véritable voie d'accès au cortex qui est grandement influencée par les systèmes neuromodulateurs diffus du tronc cérébral.

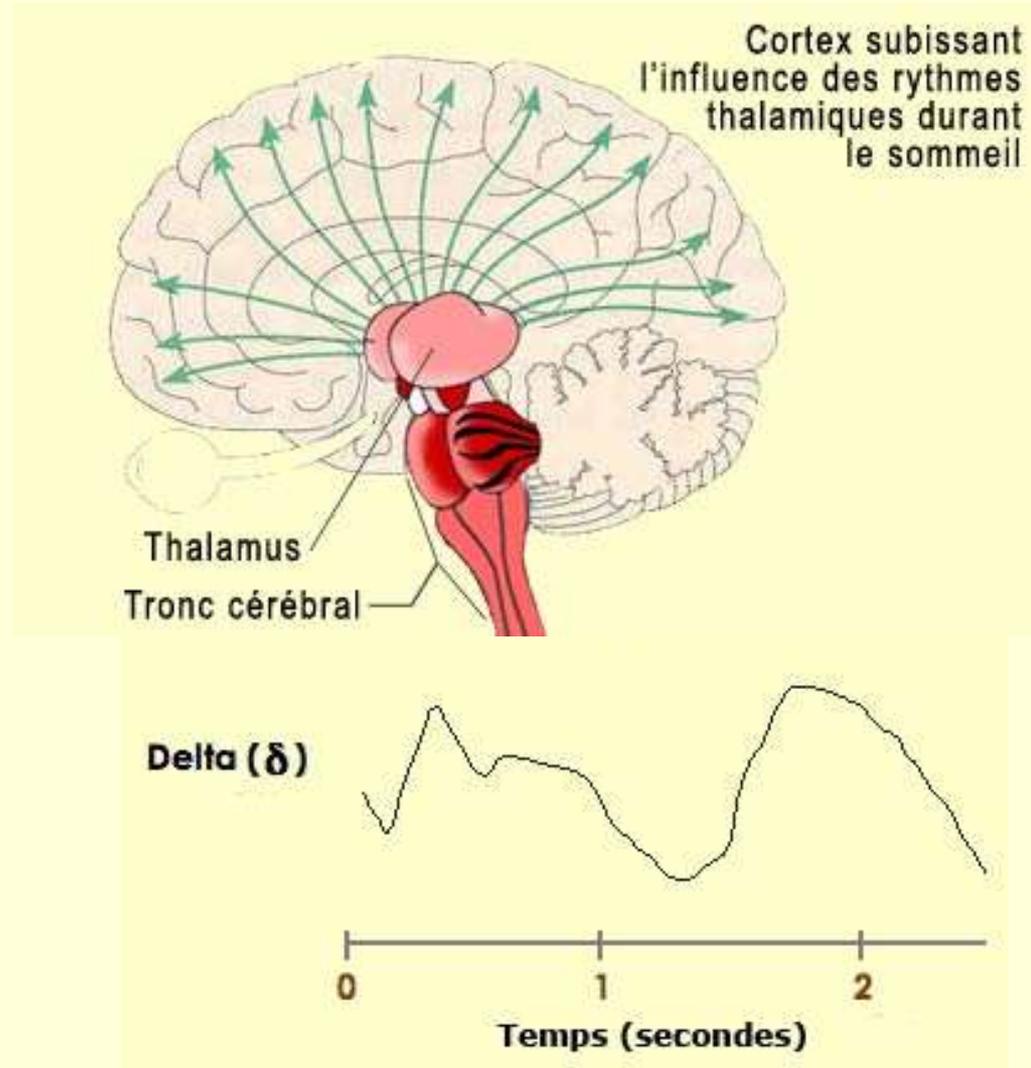


Plus précisément, c'est l'activité rythmique qui se met alors en place dans les neurones thalamo-corticaux de la région intra-laminaire du thalamus qui provoque cette déconnexion corticale des signaux internes et externes

tandis que **l'hypothalamus antérieur** inonde progressivement le cerveau de GABA (acide gamma aminobutyrique) jusqu'à la mise au silence complet de tous les systèmes d'éveil.

**Le sommeil lent** apparaît donc avec la disparition des effets cholinergiques de l'éveil qui libère les neurones « pacemaker » du noyau réticulaire thalamique.

Ceux-ci vont alors entraîner à leur rythme les neurones thalamo-corticaux qui vont à leur tour induire leurs « ondes lentes » dans tout le cortex.

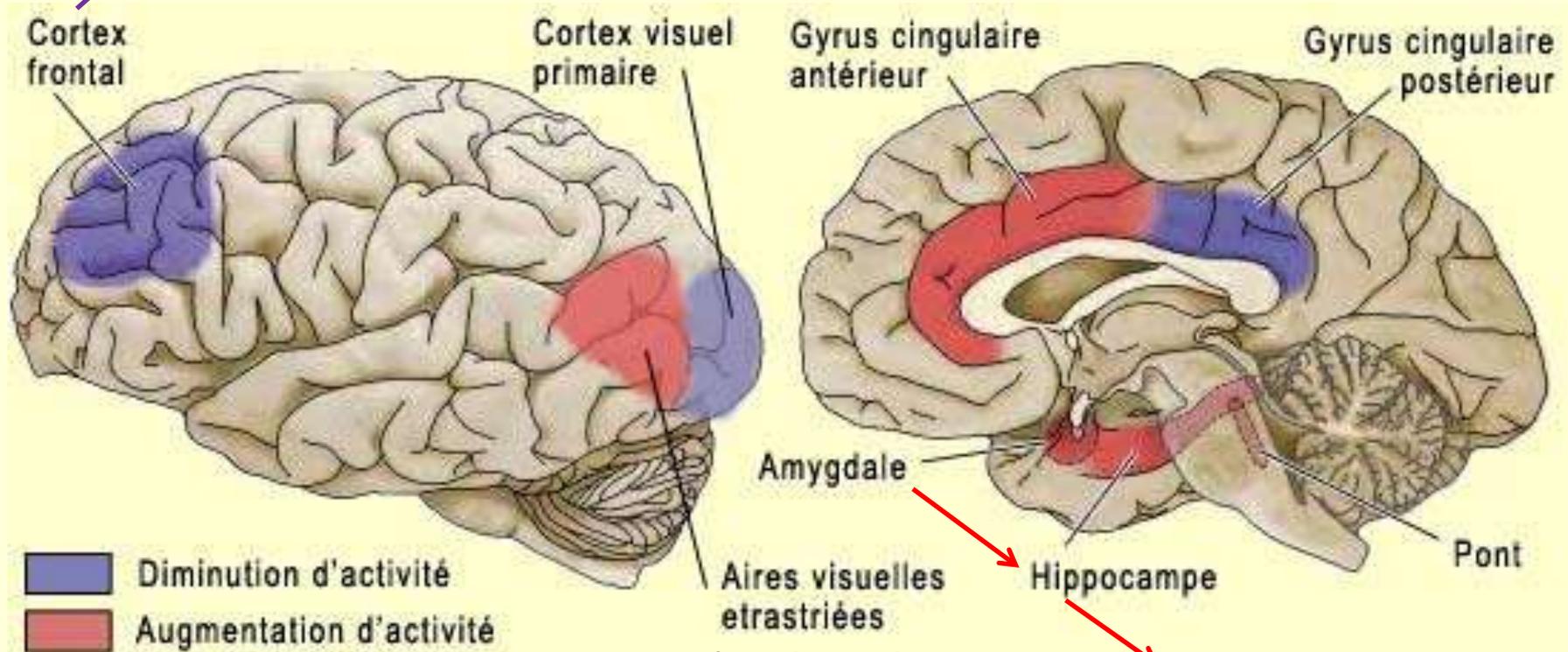


# Les régulations complexes entre éveil et sommeil

La nuit avance et l'on se met à **rêver**...

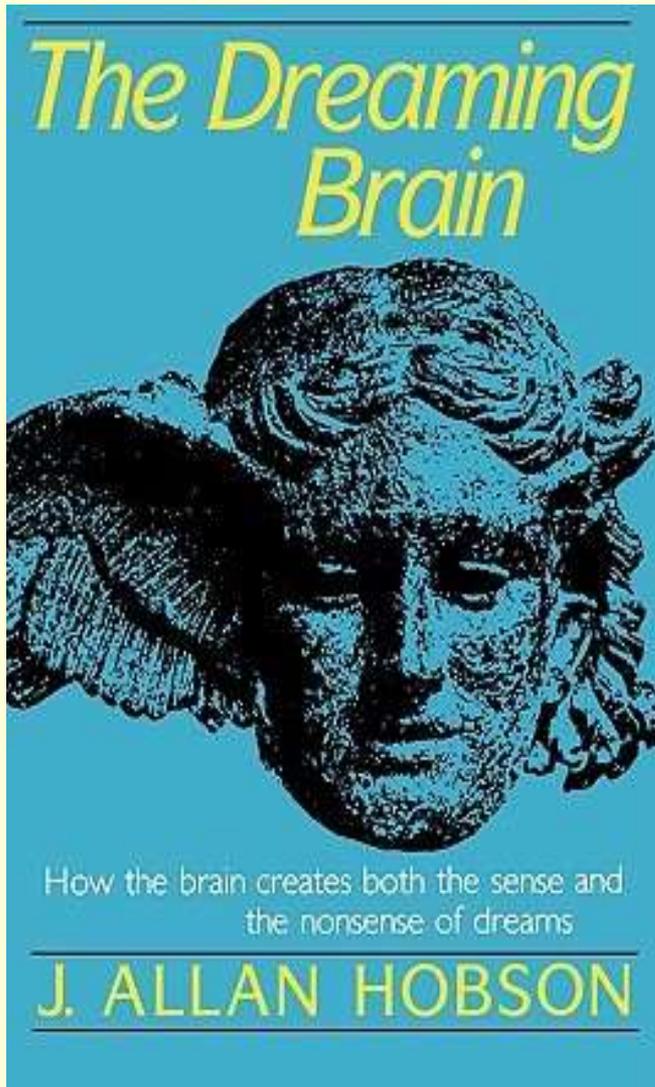
# Variation d'activité cérébrale typique durant le REM (versus l'éveil)

impliqué dans la pensée consciente et le jugement, sa faible activité pourrait rendre compte des rêves bizarre, illogiques



(analyse de scènes visuelles complexes durant le sommeil paradoxal)

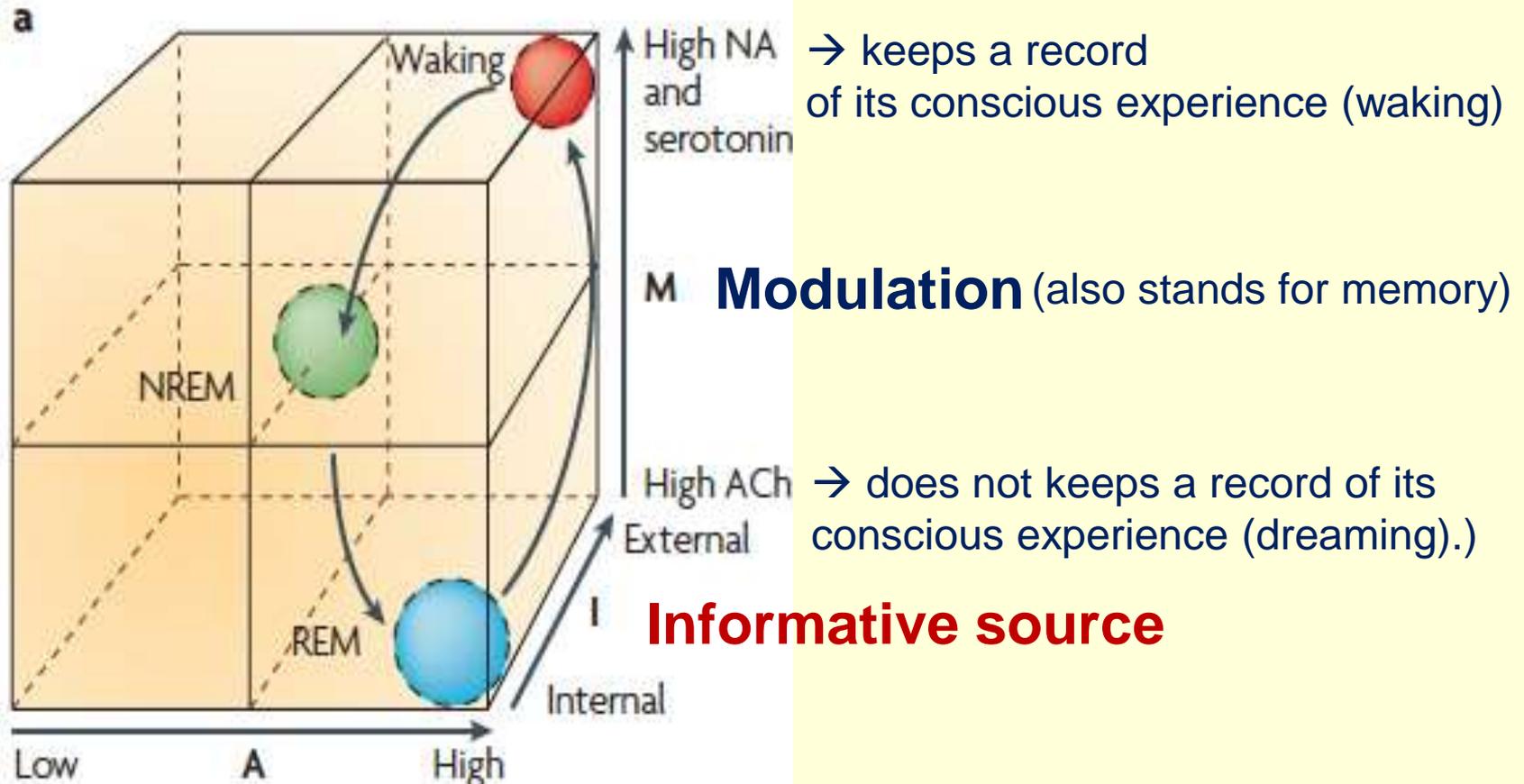
« émotions »



## Activation-synthèse (1977)

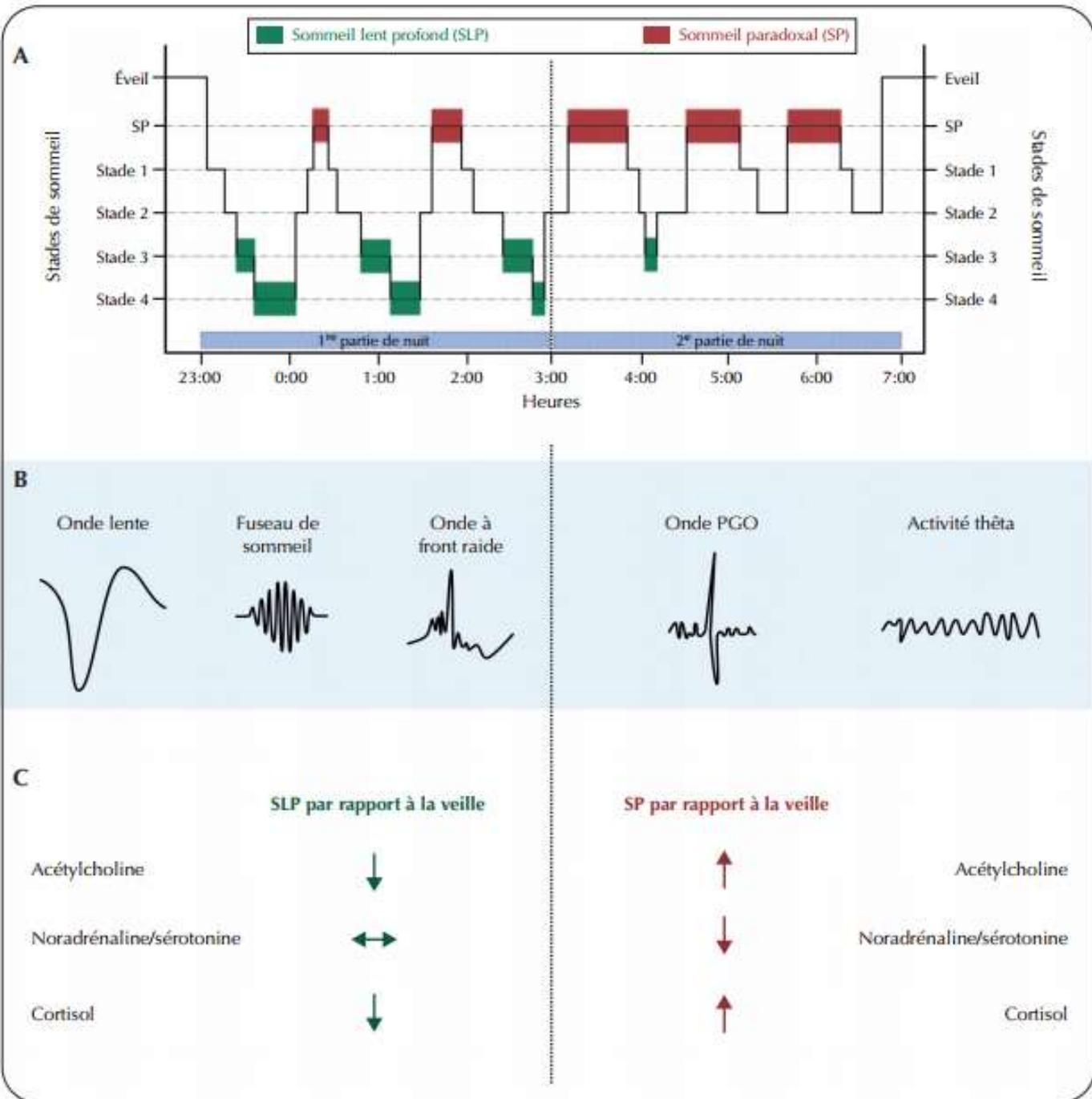
- **Activation:** le cerveau est mis en marche et gardé actif de façon interne par la partie pontique du tronc cérébrale (ce que Jouvet nomme le « pacemaker ponto-bulbaire »).
- **Synthèse:** le cortex frontal et les régions sous-cortical responsable de la mémoire interprètent l'activation stochastique du cerveau en essayant d'en faire sens (mais sans pouvoir tester la réalité).

# Hobson dans les années 90: AIM



**Activation**

Source : Luc Faucher



# Rôles possibles du sommeil

13 février 2019

## Le système glymphatique : les égouts du cerveau

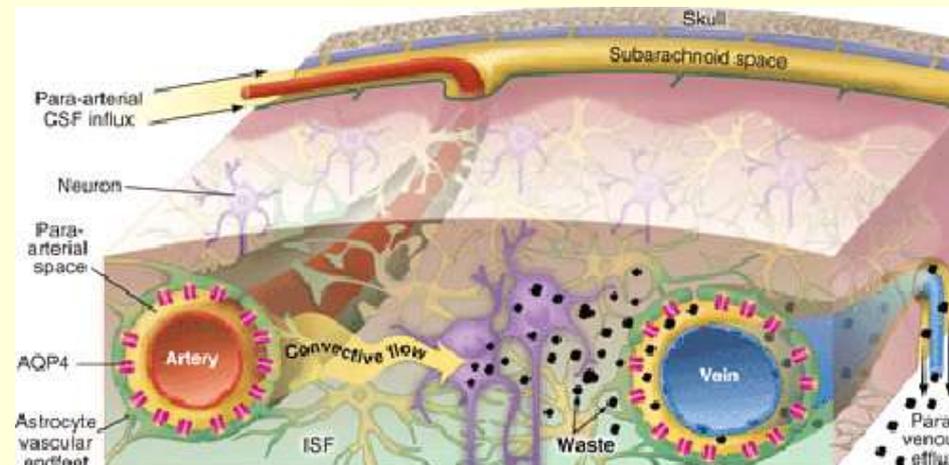
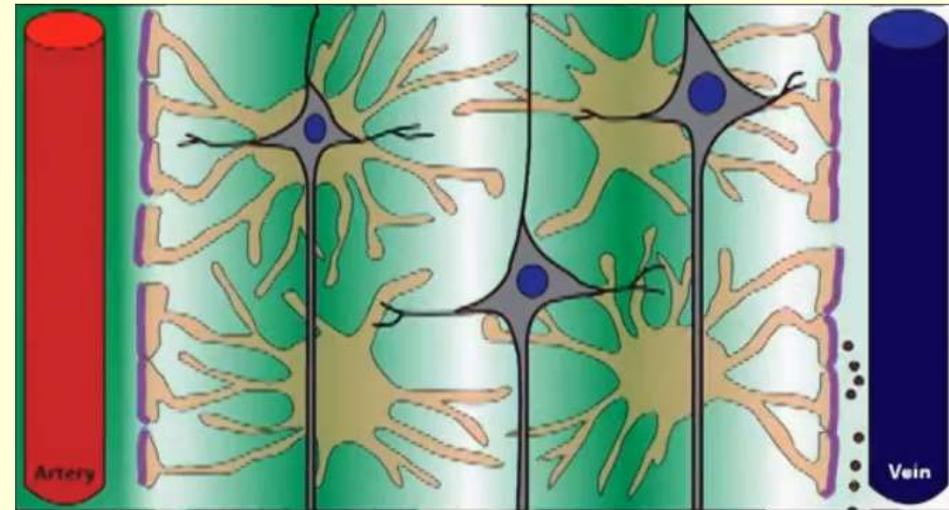
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2019/02/13/7884/>

Durant le **sommeil** l'espace intercellulaire **s'accroît jusqu'à 60 %** permettant une meilleure circulation du fluide.

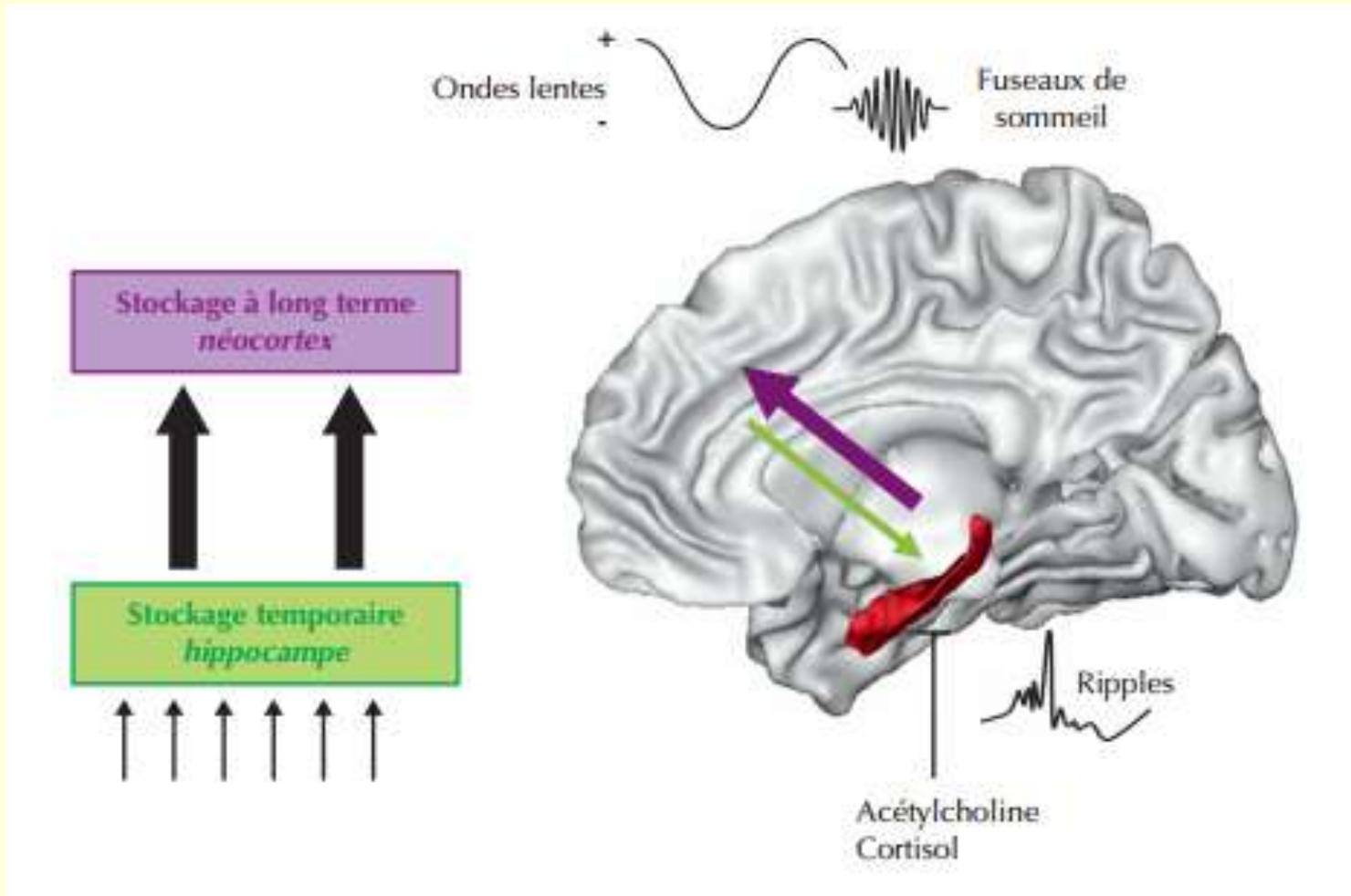
(les cellules du cerveau se contractent et ouvrent par le fait même un espace le long des vaisseaux par où le liquide céphalo-rachidien va s'écouler)

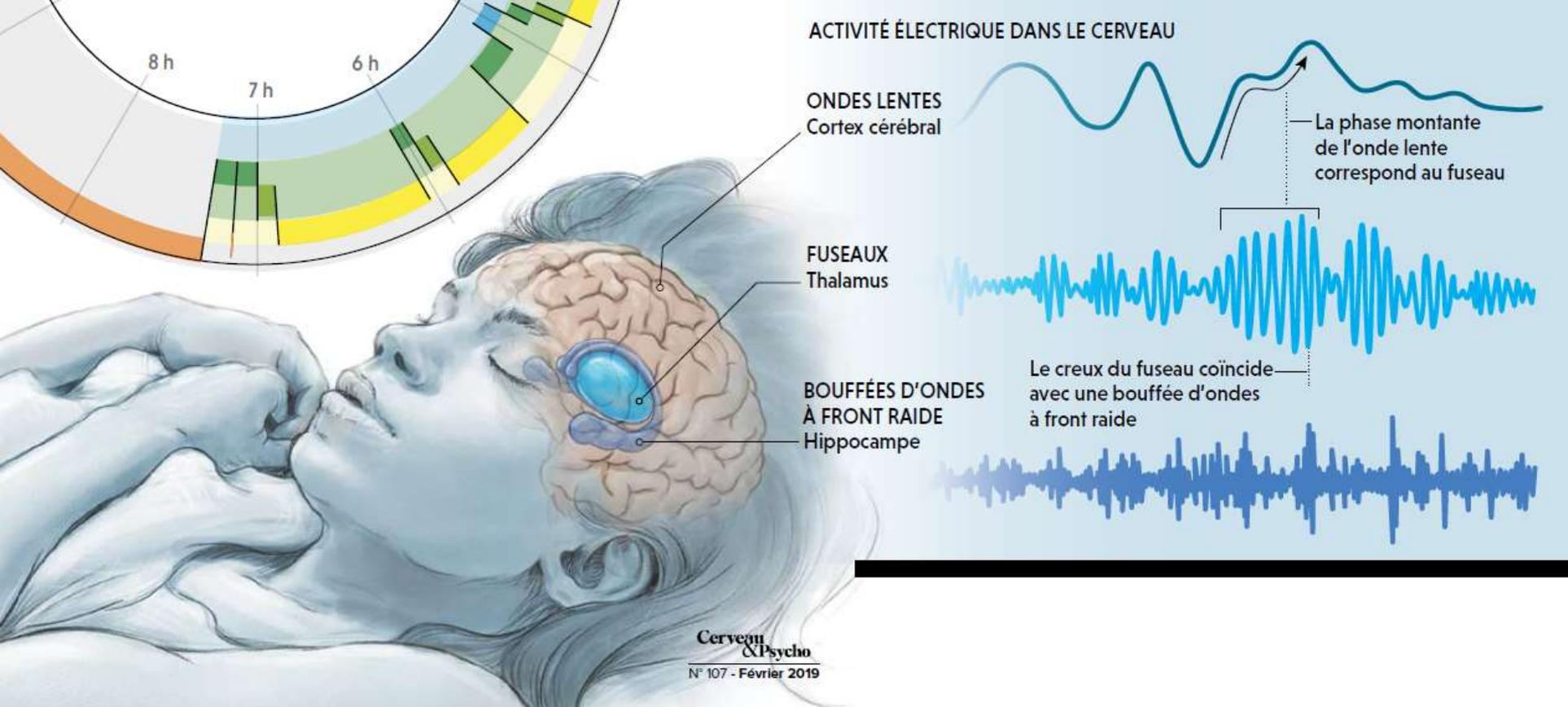
L'évacuation de la protéine  **$\beta$ -amyloïde** se révèle « **deux fois plus efficace** » chez les souris **endormies** que chez les souris éveillées.

<https://www.lessymboles.com/je-dors-donc-jelimine/>



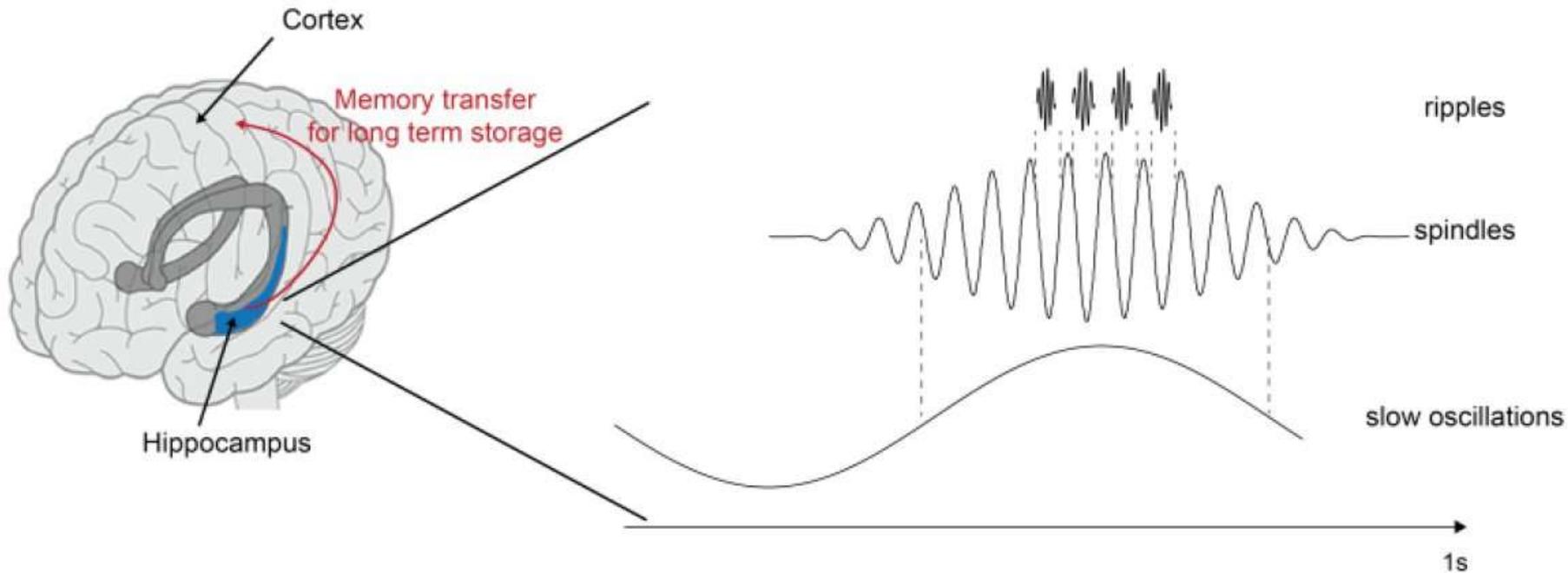
# Rôle du sommeil dans la **consolidation** de la mémoire :





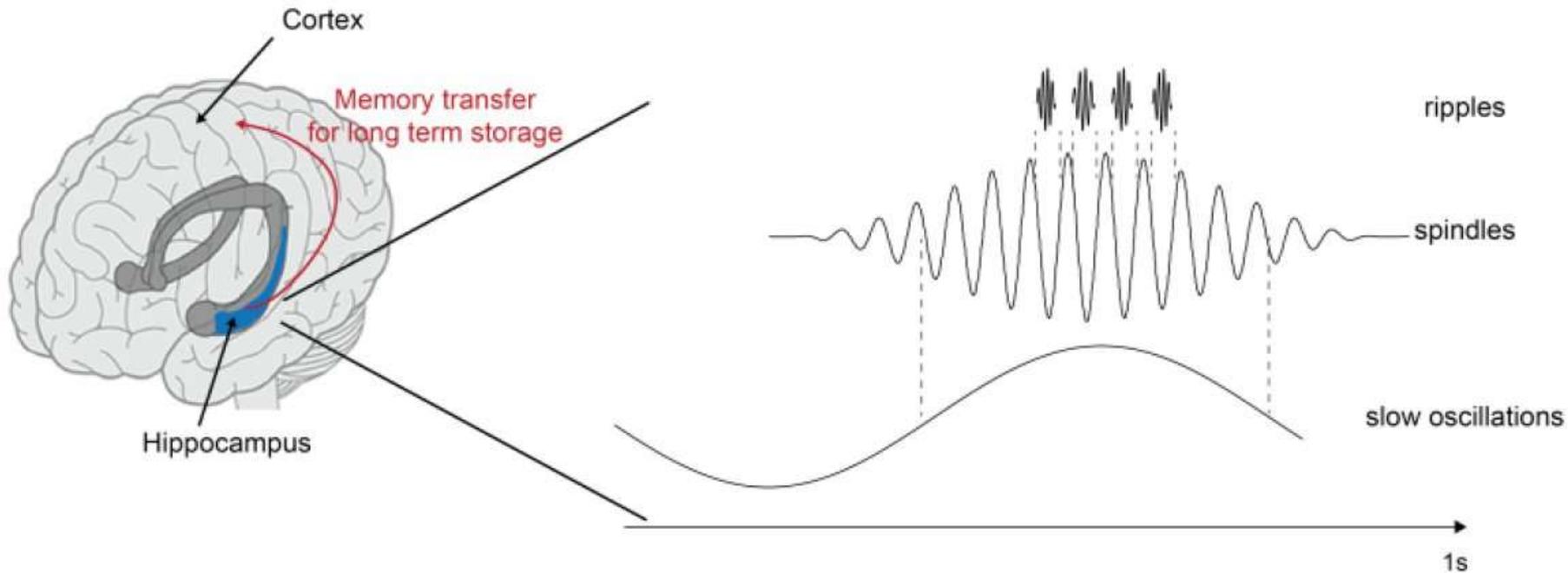
Les rythmes cérébraux fournissent des indices sur la façon dont le sommeil aide à stocker des souvenirs.

Chaque ondes lentes ou ondes delta, comptant de 0,5 à 4 oscillations par seconde, comporte une phase **descendante**, durant laquelle les neurones sont **silencieux**, et une phase **montante**, durant laquelle ils **reprennent leur activité**.



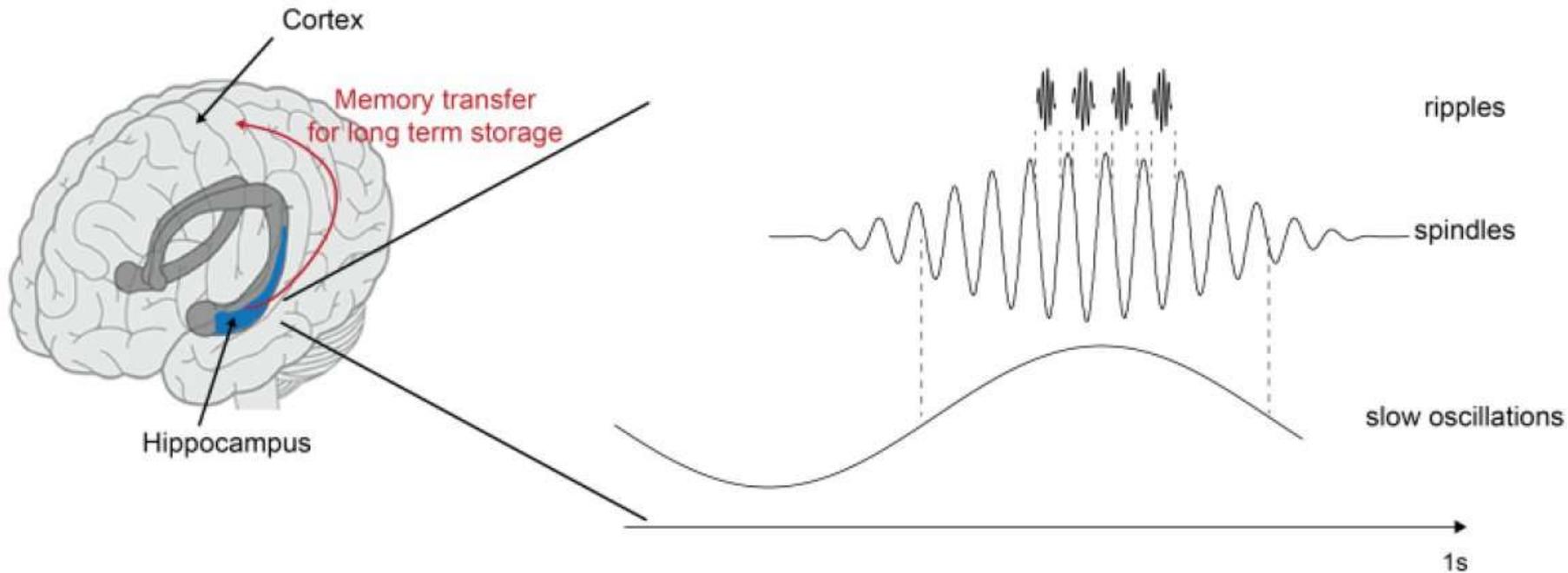
La phase ascendante coïncide souvent avec des « **fuseaux de sommeil** » émis par le thalamus, de brèves accélérations de 12 à 15 oscillations par seconde pendant 0,5 à 2 secondes.

Ils surviennent à leur propre rythme, environ toutes les 5 secondes, et coordonnent l'activité de bouffées d'ondes de haute fréquence (150 à 200 hertz) nommées **ondes à front raide**. Localisées dans l'hippocampe, ces oscillations coïncident avec la réactivation neuronale des souvenirs.



Pendant tout ce temps, les **ondes lentes** continuent de jouer le **rôle de chef d'orchestre** : leurs oscillations mesurées dans le cortex coordonnent le rythme des fuseaux du sommeil et des bouffées d'ondes à front raide.

Un dialogue entre l'hippocampe et le cortex **impliquant tous ces rythmes cérébraux** déclenche le processus dit de consolidation, un processus qui permet aussi de dégager des points communs et d'en extraire l'information essentielle, précieuse pour **anticiper de nouvelles situations**.



“we see that SOs, spindles and ripples are **functionally coupled** in the hippocampus. And we hypothesize that they provide **fine-tuned temporal frames** for the transfer of memory traces to the neocortex.”

## Brain consolidates memory with three-step brainwave

September 21, 2015

<https://www.sciencedaily.com/releases/2015/09/150921133948.htm>

# Causal evidence for the role of REM sleep theta rhythm in contextual memory consolidation

Richard Boyce,<sup>1</sup> Stephen D. Glasgow,<sup>2</sup> **Sylvain Williams,<sup>2\*†</sup>** Antoine Adamantidis<sup>2,3\*†</sup>

**(2016)**

<http://science.sciencemag.org/content/352/6287/812/tab-pdf>

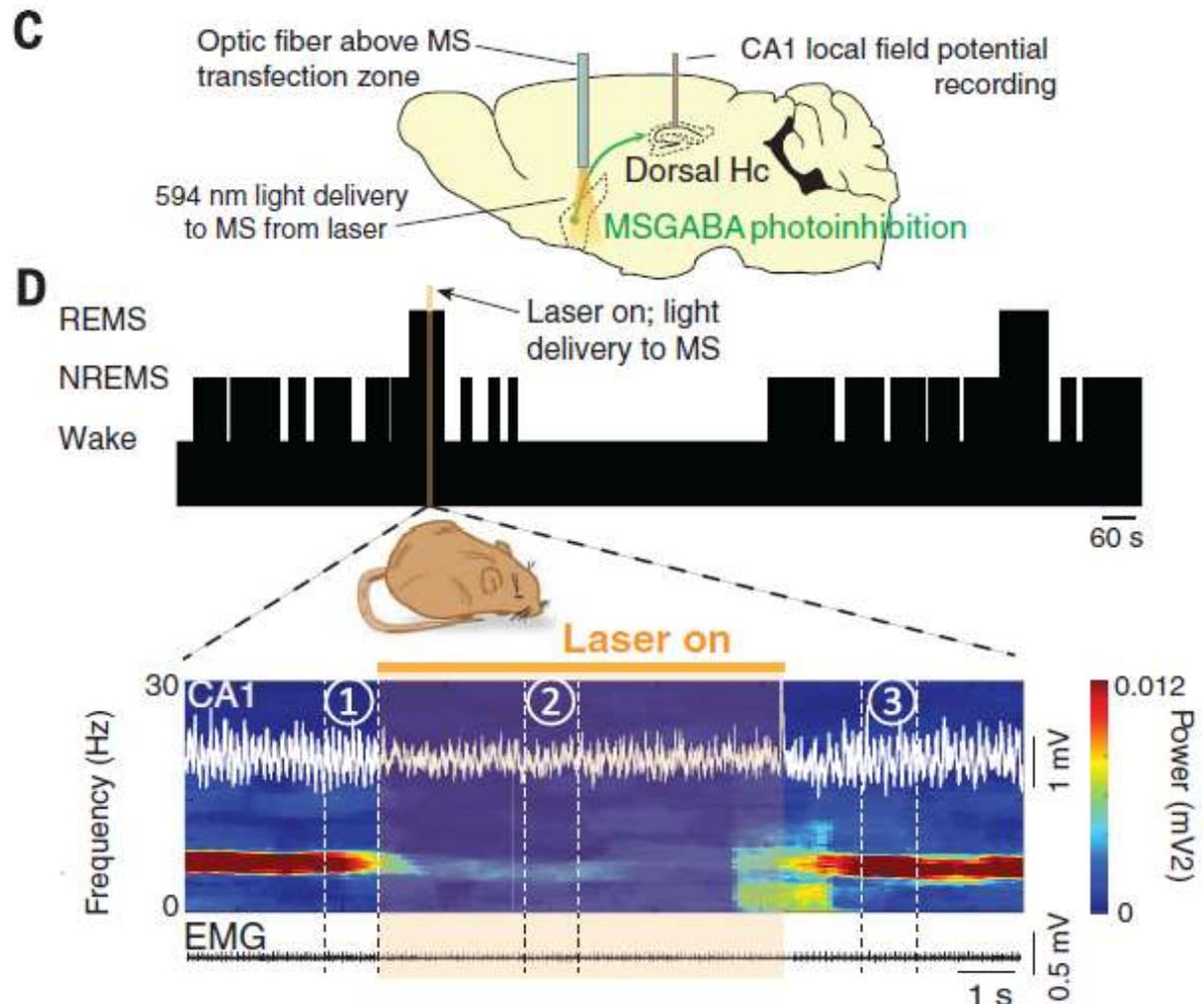
# Causal evidence for the role of REM sleep theta rhythm in contextual memory consolidation

Richard Boyce,<sup>1</sup> Stephen D. Glasgow,<sup>2</sup> **Sylvain Williams,<sup>2\*</sup>†** Antoine Adamantidis<sup>2,3\*</sup>†  
(2016)

<http://science.sciencemag.org/content/352/6287/812/tab-pdf>

Grâce à des techniques d'optogénétique chez la souris, des neurones au **GABA** du **septum médian** ont été rendu **silencieux**.

Cela a permis l'**atténuation du rythme thêta** associé à la consolidation mnésique durant le REM (sans perturber le sommeil).



Par la suite, la souris éveillée ne reconnaissait pas le nouvel emplacement d'un objet.

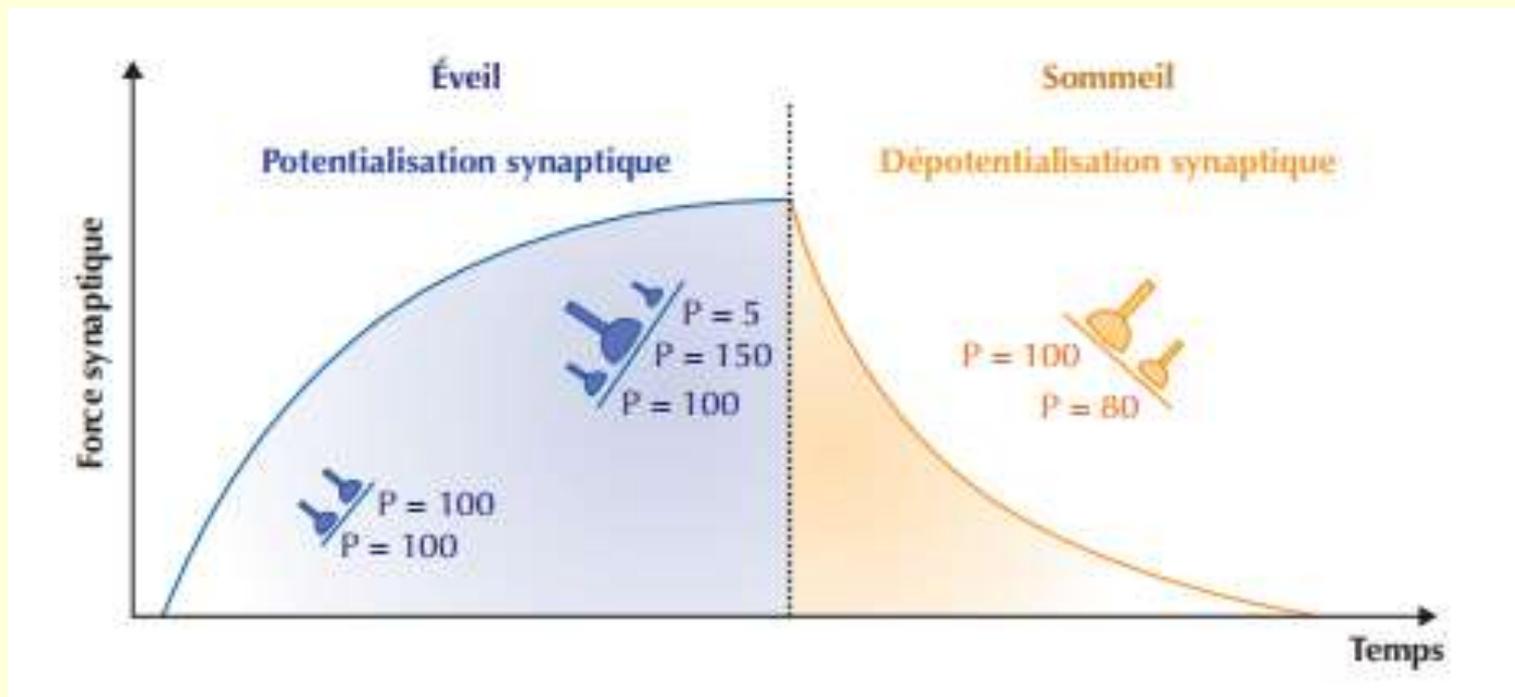
Ce traitement perturbait également une peur conditionnée à un certain contexte.

Le fait de rendre silencieux les neurones au GABA du septum médian en dehors des épisodes de REM n'avait pas d'effet sur la mémoire.

**D'où leur conclusion que l'activité des neurones au GABA du septum médian, par leur contribution au rythme thêta dans l'hippocampe, est essentielle à la consolidation mnésique durant le REM.**

# Sommeil et « reset neuronal » [recalibrage synaptique] :

- Diminution de l'ordre de 20% des surfaces de contact synaptiques durant le sommeil;
- Diminution du nombre de récepteur au glutamate dans les synapses excitatrices durant le sommeil



## Sommeil et « **reset neuronal** » [recalibrage synaptique] :

→ Diminution de l'ordre de 20% des surfaces de contact synaptiques durant le sommeil;

→ Diminution du nombre de récepteur au glutamate dans les synapses excitatrices durant le sommeil

•Liu Z, Faraguna U, Cirelli C, *et coll.* **Direct evidence for wake-related increases and sleep-related decreases in synaptic strength in rodent cortex.** *The Journal of Neuroscience* 2010, 30:8671-5.

•Vyazovskiy V, Cirelli C, Pfister-Genskow M, *et coll.* **Molecular and electrophysiological evidence for net synaptic potentiation in wake and depression in sleep.** *Nature Neuroscience* 2008, 11:200-8.

•Cirelli C, Tononi G. Is Sleep essential ? *Plos Biology* 2008, 6:e216, pp. 1605-11.

•Tononi G, Cirelli C. Sleep function and synaptic homeostasis. *Sleep Medicine Reviews* 2006, 10:49-62.

•Tononi G, Cirelli C. **Sleep and synaptic homeostasis: a hypothesis.** *Brain Research Bulletin* 2003, 62:143-50.

•Turrigiano G, Leslie K, Desai N, *et coll.* **Activity-dependent scaling of quantal amplitude in neocortical neurons.** *Nature* 1998, 391:892-6.

2015 Jan 16.

## **Sleep, Memory & Brain Rhythms**

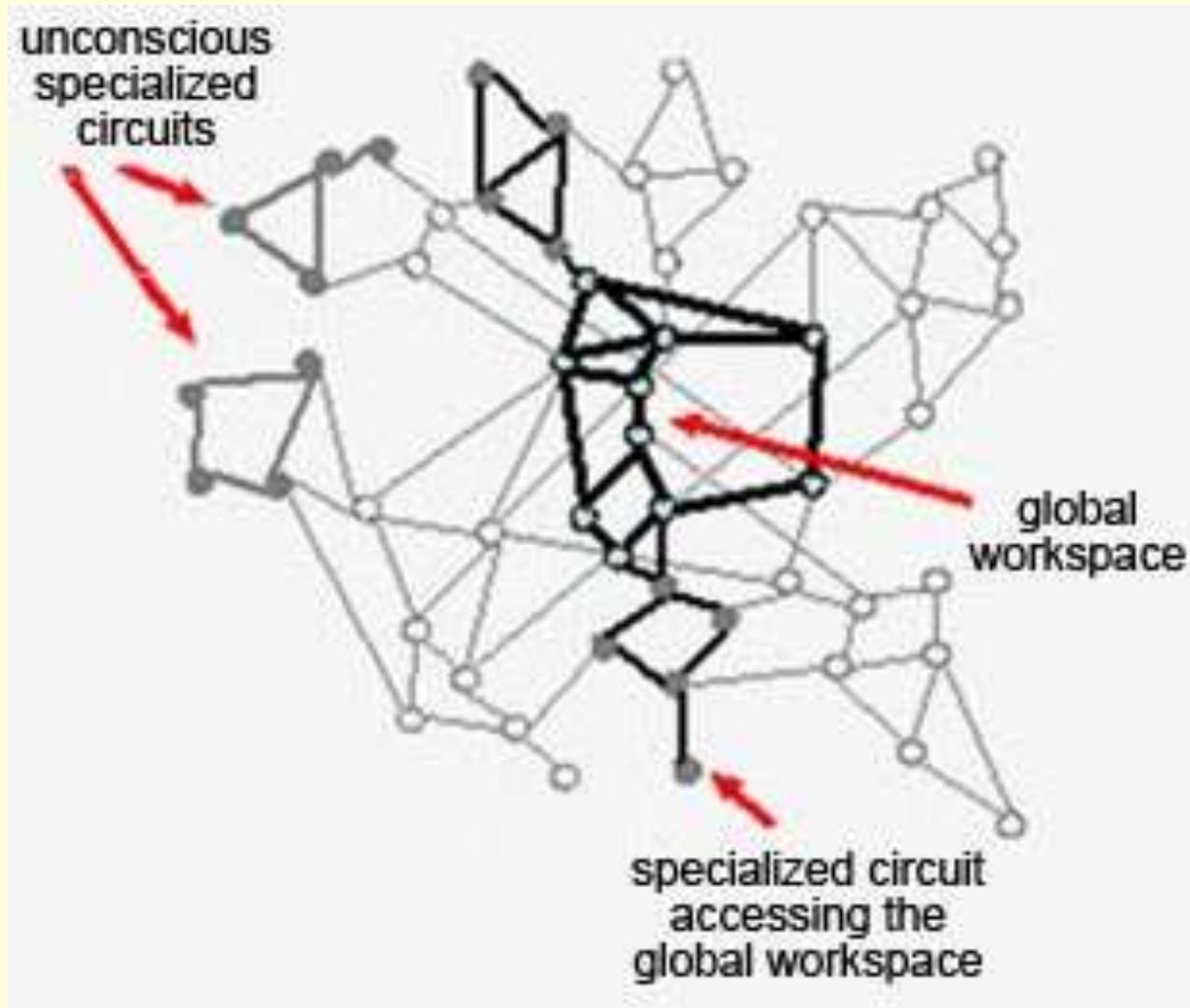
Brendon O. Watson and György Buzsáki

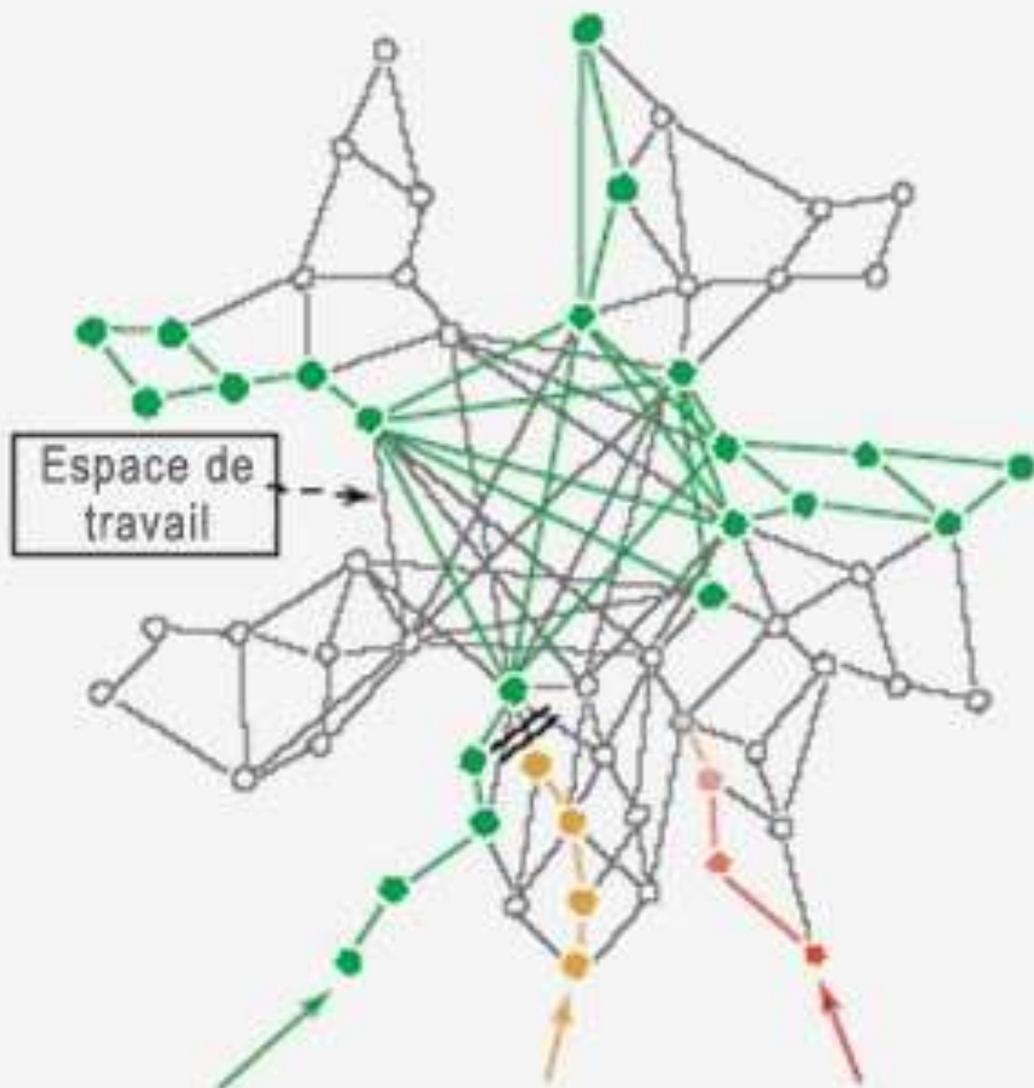
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4474162/>

“ This theory then postulates that sleep performs a **combination** of **consolidation** and **homeostasis [recalibrage synaptique]** that promotes optimal knowledge retention as well as optimal waking brain function.”

Sommeil et (perte de) conscience

**L'espace de travail neuronal** : une hypothèse avancée il y a longtemps sur le plan théorique entre autres par Bernard Baars.



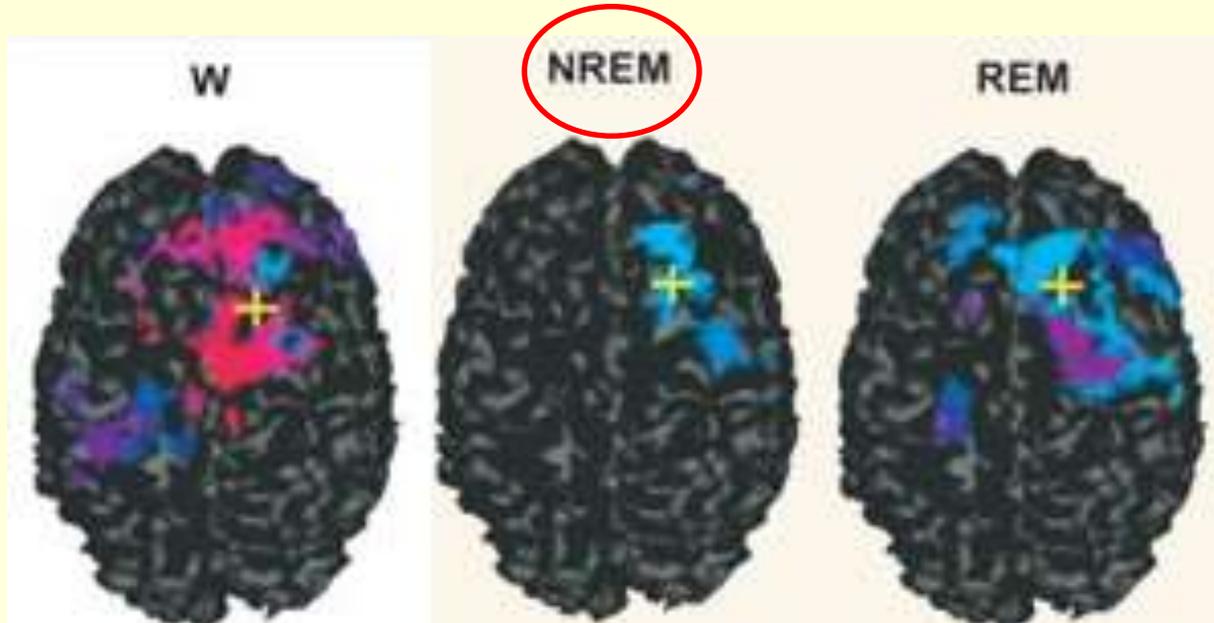


**Conscient**  
 (assez fort  
 et assez  
 d'attention)

**Préconscient**  
 (assez fort,  
 pas assez  
 d'attention)

**Subliminal**  
 (trop faible)

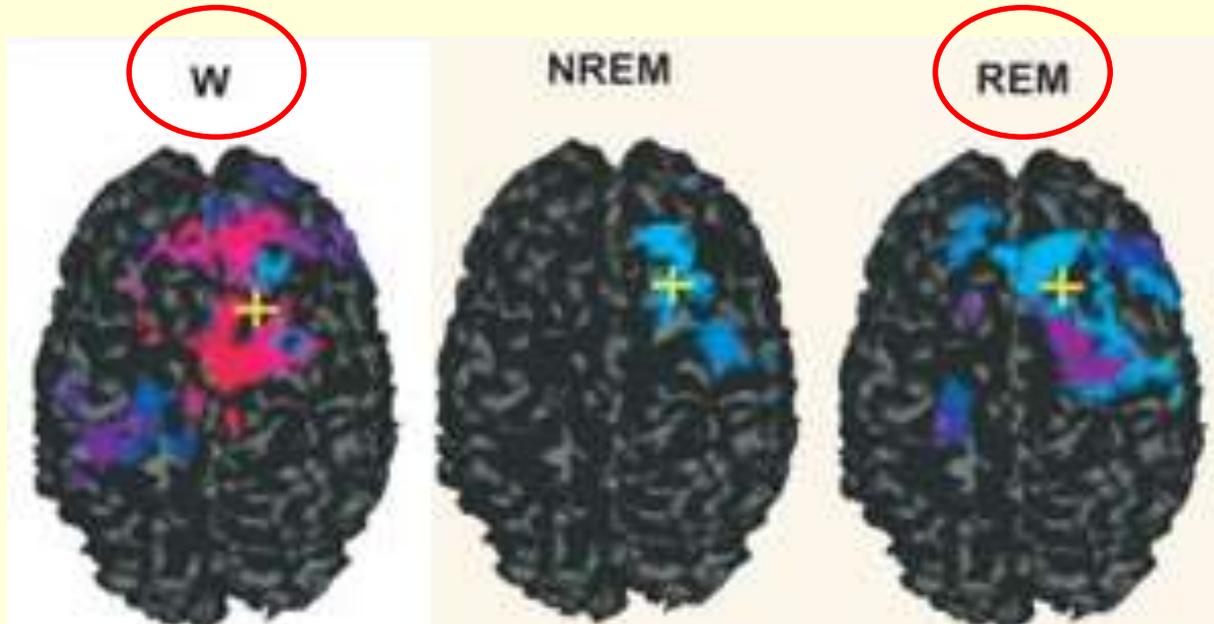
En 2010, Giulio Tononi et son équipe ont publiée dans la revue *Cognitive Neuroscience* une étude où l'on a employé la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) dans trois états suivants :



pendant qu'ils enregistraient l'activité cérébrale évoquée par ce stimulus par électroencéphalogramme (EEG).

**L'activité cérébrale en sommeil profond est plus locale et stéréotypée**, indiquant possiblement une dégradation du dialogue incessant entre le thalamus et de larges pans du cortex durant l'éveil.

En 2010, Giulio Tononi et son équipe ont publiée dans la revue *Cognitive Neuroscience* une étude où l'on a employé la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) dans trois états suivants :



À l'inverse, **durant le sommeil paradoxal**, période où l'on rêve, donc où l'on a l'impression d'avoir des sensations conscientes et de vivre plein d'aventures, la SMT produisait des **patterns d'activation corticaux plus étendu qui étaient similaire à ceux observés à l'état de veille.**



Cela correspond aussi à ce que Douglass Godwin et son équipe ont observé en analysant la connectivité fonctionnelle du cerveau de leurs sujets lorsqu'ils disaient avoir perçu consciemment une image qui leur était brièvement présentée :

une **réduction soudaine de la modularité fonctionnelle du cerveau** au profit d'une communication neuronale à grande échelle dans l'ensemble des circuits cérébraux.

Benali et ses collègues ont observé, avec une technique d'imagerie cérébrale mesurant la connectivité fonctionnelle entre différentes régions du cerveau, une **fragmentation modulaire de l'activité cérébrale quand on s'endort en sommeil profond** et qu'on perd ce qu'on appelle la conscience.

Et ils font l'hypothèse que **cette réorganisation en de plus en plus de petites unités d'intégration modulaire** qui apparaît avec le sommeil profond empêche le cerveau de faire cette intégration globale qui semble nécessaire à la conscience.