

## Parlons cerveau



Je tiens à préciser en commençant que je ne suis pas chercheur en neurosciences mais rédacteur scientifique. Je ne suis donc pas un spécialiste du cerveau, mais plutôt un « généraliste » du cerveau.

Comme vous le savez, le spécialiste est celui qui sait tout sur rien, et le généraliste celui qui sait rien sur tout... alors voilà peut-être mon petit avantage, je sais qu'on ne sait pas grand-chose au fond sur cet objet le plus complexe de l'univers dont on possède tous un exemplaire entre les deux oreilles.

The screenshot shows the website interface for 'Le Cerveau à tous les niveaux'. At the top, there are navigation links: Copyleft, Contact, Crédit, Statistiques, Liste d'envoi, and a level selector (débutant, intermédiaire, avancé). A main heading reads 'LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!' with a sub-heading 'Un site web interactif sur le cerveau et les comportements humains'. Below this is a grid of article categories:

- 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'événement de la douleur
  - Les détecteurs sensoriels
    - La vision
  - Le corps en mouvement
    - Produire un mouvement volontaire
- Fonctions complexes**
  - Au coeur de la mémoire
    - Les traces de l'apprentissage
    - Oubli et amnésie
  - Que d'émotions
    - Peur, anxiété et angisse
  - 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 manaco-dépression
      - Les troubles anxieux
      - La démence de type Alzheimer

Below the grid is a 'Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX' section with a search bar and a recent article titled 'Des protéines qui guident le câblage cérébral' dated 'Lundi, 13 février 2012'. The article text states: 'Le cerveau humain contient des millions de fois plus de connexions entre ses neurones que les quelque 20 000 ou 25 000 gènes contenus dans l'ADN de nos cellules. Et pourtant, durant le développement de notre cerveau, les extrémités des arones de nos neurones en développement ressemblent à de véritables « villes chercheuses » qui réussissent à trouver leur cible spécifique à travers la soupe moléculaire complexe que constitue le milieu extracellulaire.' The website URL 'www.lecerveau.mcgill.ca' is displayed at the bottom.

Depuis dix ans, je rédige donc ce site web, Le cerveau à tous les niveaux, qui est un site web interactif sur le cerveau et les comportements humains.

Un site qui, depuis deux ans, est accompagné d'un blogue où je résume à chaque semaine une étude récente dans le domaine des neurosciences.

The screenshot shows a website interface with a header for the 'Institut de recherche en santé du Canada' and 'Instituts des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies'. The main content area is titled 'LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!' and features a navigation menu with three levels: 'Débutant', 'Intermédiaire', and 'Avancé'. A sidebar on the left lists 'Thème' (Le plaisir et la douleur) and 'Sous-thème' (La quête du plaisir, Les paradis artificiels, L'évitement de la douleur). The main text, 'LES CENTRES DU PLAISIR', explains that for survival, individuals must first ensure vital functions like eating and reproducing. It mentions that evolution has placed these functions in the brain's reward circuit, which is interconnected and forms the 'circuit de la récompense'. A diagram of the brain highlights the 'n. accumbens' and 'ATV' (Aire tegmentale ventrale). A text box at the bottom defines the 'Aire tegmentale ventrale (ATV)' as a group of neurons in the brain's center that receives information from other regions about the satisfaction of fundamental or specifically human needs.

Un site qu'on peut qualifier d'« interactif » parce que, si on rentre dans un des thèmes – ici celui sur le plaisir-, on arrive sur une page de contenu typique du site où vous avez le choix entre 3 niveaux d'explication de difficulté croissante :

The diagram illustrates the three levels of explanation available on the website. On the left, a box titled '3 niveaux d'explication' lists 'Débutant', 'Intermédiaire', and 'Avancé'. To the right, three sample pages are shown, each corresponding to a level. Arrows point from the level labels to the respective sample pages, showing that the 'Débutant' level is the most basic, 'Intermédiaire' is more detailed, and 'Avancé' is the most comprehensive. A navigation box at the top of the sample pages shows the 'Niveau d'explication' menu with 'Débutant', 'Intermédiaire', and 'Avancé' options.

débutant, intermédiaire et avancé.

Institut de recherche en santé du Canada Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies

**LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!**  
Retour à l'accueil

**Niveau d'explication**  
Débutant  
Intermédiaire  
Avancé

Le plaisir et la douleur  
La quête du plaisir  
Cérébral débutant

**Niveau d'organisation**  
Social  
Psychologique  
Cérébral  
Cellulaire  
Moléculaire

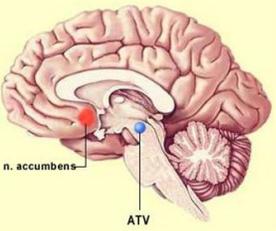
**Thème**  
Le plaisir et la douleur

**Sous-thème**  
La quête du plaisir  
Les paradis artificiels  
L'évitement de la douleur

Un stimulus sensoriel qui n'apporte ni récompense ni punition est rapidement ignoré et oublié. C'est le phénomène de l'habituation qui nous fait oublier le contact de nos vêtements avec notre peau ou le tic-tac de l'horloge du bureau.

**LES CENTRES DU PLAISIR**

Pour qu'une espèce survive, ses individus doivent en premier lieu assurer leurs fonctions vitales comme se nourrir, réagir à l'agression et se reproduire. L'évolution a donc mis en place dans notre cerveau des régions dont le rôle est de "récompenser" l'exécution de ces fonctions vitales par une sensation agréable.



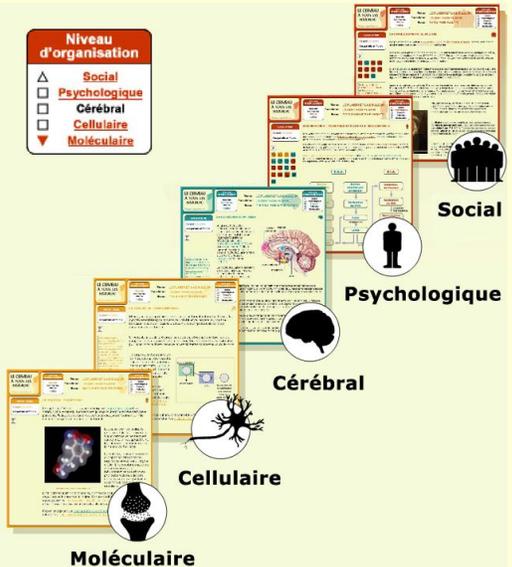
Ce sont ces régions, interconnectées entre elles, qui forment ce que l'on appelle le **circuit de la récompense**.

**L'aire tegmentale ventrale (ATV)**, un groupe de neurones situés en plein centre du cerveau, est particulièrement importante dans ce circuit. Elle reçoit de l'information de plusieurs autres régions qui l'informent du niveau de satisfaction des besoins fondamentaux ou plus spécifiquement humains.

Mais il y a aussi une seconde boîte de navigation qui vous permet d'aller voir ce qui se passe à 5 différents niveaux d'organisation,

**5 niveaux d'organisation**

**Niveau d'organisation**  
Social  
Psychologique  
Cérébral  
Cellulaire  
Moléculaire



**Social**

**Psychologique**

**Cérébral**

**Cellulaire**

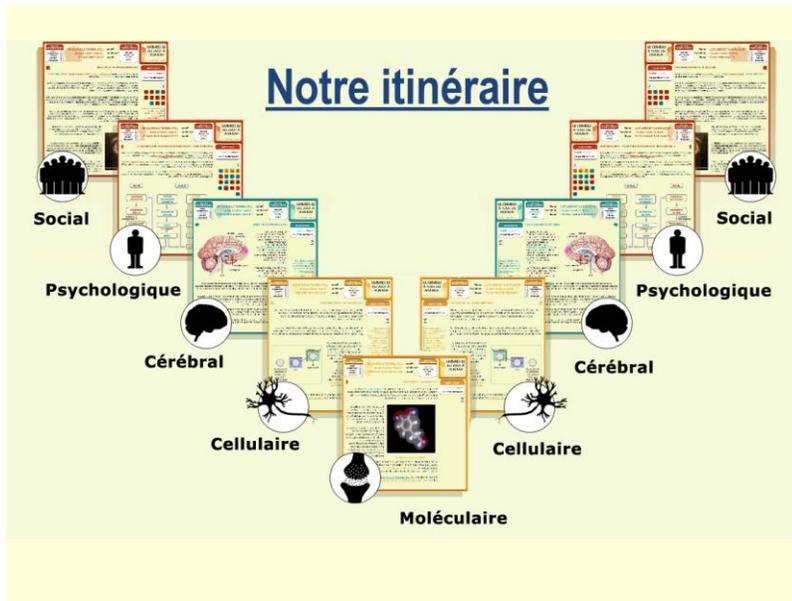
**Moléculaire**

soit le niveau cérébral, bien sûr, le niveau cellulaire, le niveau moléculaire, ou alors remonter au niveau psychologique et même au niveau social.

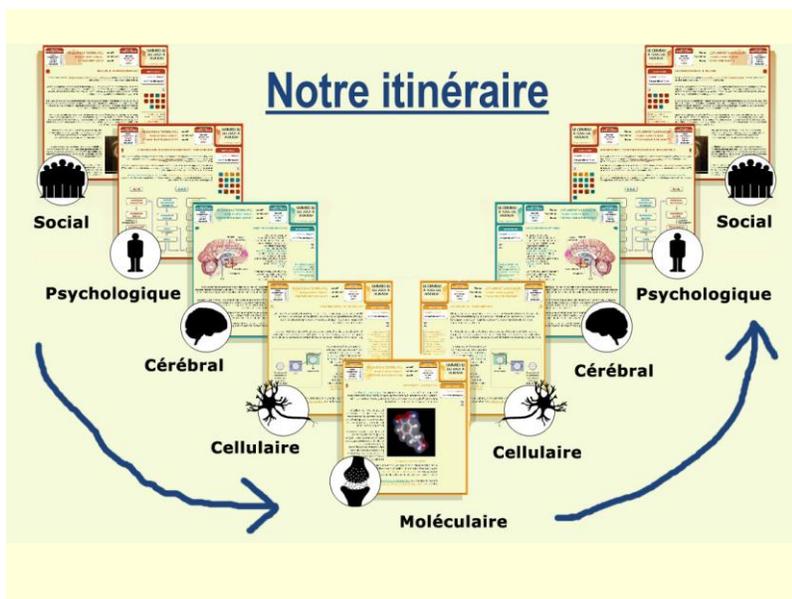
Cette notion de niveau d'organisation est super importante pour comprendre n'importe quel organisme vivant, et à plus forte raison l'être humain et son système nerveux. Parce qu'à chaque fois qu'il se passe quelque chose à un niveau (l'activation d'une aire cérébrale, par exemple) il se passe toujours, en même temps, plein d'autres phénomènes à d'autres niveaux comme celui des circuits de neurones qui peuvent modifier l'efficacité des connexions qui les unissent, celui des molécules, avec tout le

jeu des neurotransmetteurs, ces molécules relâchées entre les neurones et qui permettent à l'influx nerveux de se transmettre, etc...

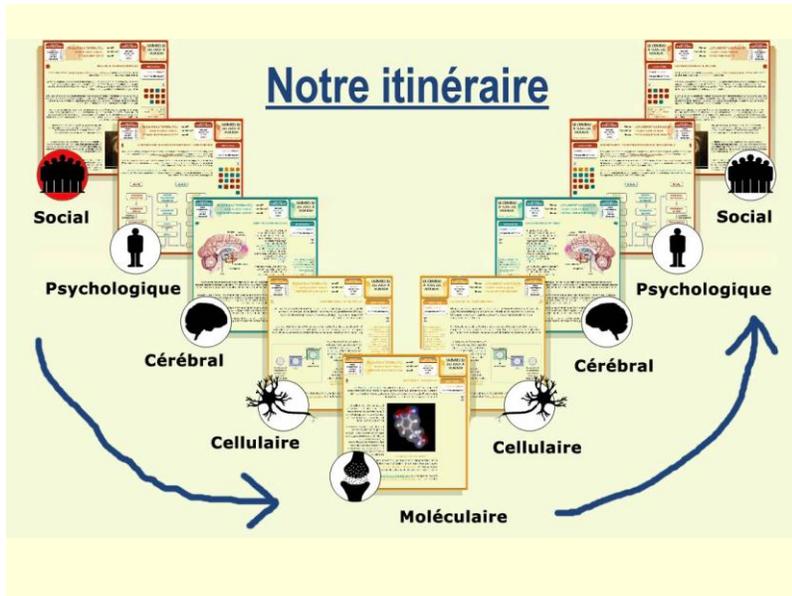
Et donc pour constamment aider à garder ça à l'esprit j'ai décidé d'inclure ce concept dans la structure même du site, dans la façon dont on peut naviguer sur le site pour l'explorer.



Et en ce qui concerne la présentation d'aujourd'hui, je me suis justement inspiré de ces niveaux d'organisation pour vous proposer le petit itinéraire que l'on va suivre durant la prochaine heure...



...et qui correspond en gros à une descente progressive, ou zoom in, du niveau social au niveau moléculaire, puis d'une remontée, ou zoom out, vers le niveau social à nouveau.

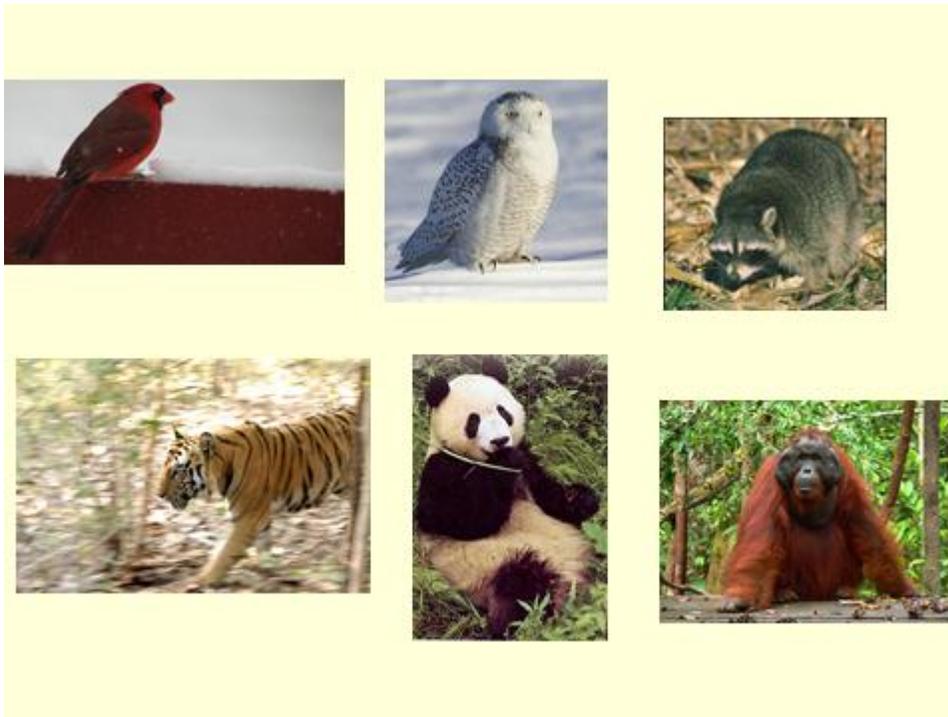


Donc on va donc commencer notre petite promenade au niveau social, c'est-à-dire à ce qui arrive quand plusieurs individus, avec chacun leur cerveau, qui interagissent entre eux.

L'être humain est un animal très social, il vit avec ses semblables, il a besoin d'eux...



Ce ne sont pas toutes les espèces qui sont sociales.



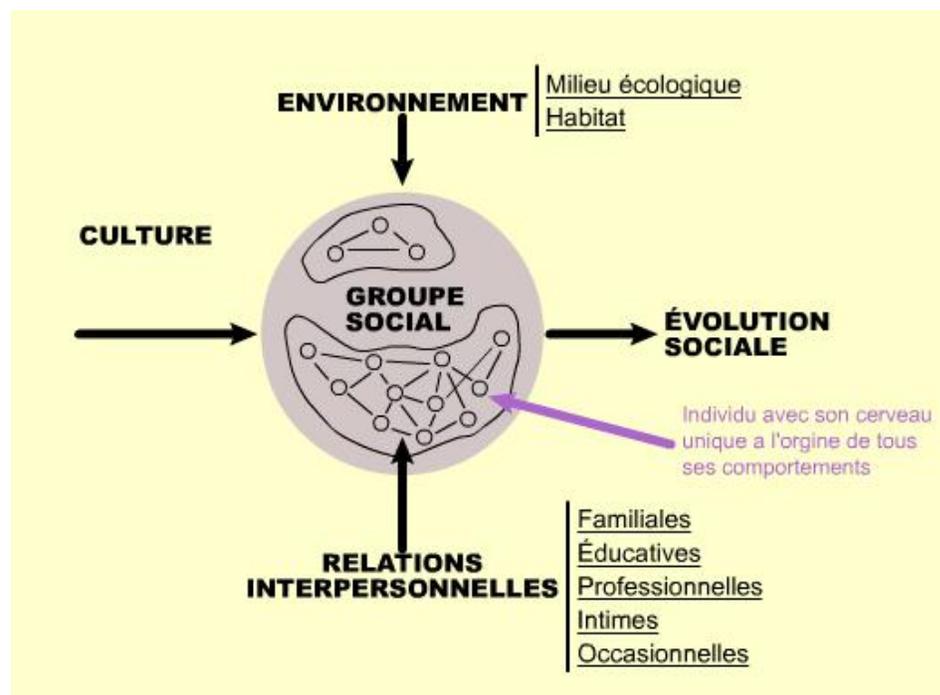
De nombreuses espèces animales, tant chez les oiseaux que chez les mammifères, mènent une vie solitaire ou en couple. Et même chez les primates, l'orang-outang.



Mais comme les fourmis, les abeilles les babouins ou les chimpanzés, l'espèce humaine est une espèce sociale.



L'espèce humaine est donc l'une de ces espèce qui a besoin de vivre avec ses semblables, et ce, même s'il se déguise en animal solitaire...



On peut schématiser ainsi un groupe social humain quelconque : des individus reliés entre eux par différents types de liens (et pouvant former ainsi différents sous-groupes).

Les relations interpersonnelles qui nous unissent les uns et les unes aux autres peuvent être de nature. L'environnement dans lequel se trouve ce groupe (pays froid, pays chaud, ville ou campagne...) va aussi influencer la dynamique sociale. Et bien sûr aussi l'héritage culturel, tout ce savoir appris et transmis de génération en génération, va aussi influencer cette société. Qui va donc forcément évoluer.

Donc une société c'est dynamique, c'est un ensemble d'individus dont les rapports sociaux influencent la structure même que va avoir cette société dans le futur.

Par exemple: je ne sais pas si vous l'avez remarqué, mais il s'est passé quelque chose au niveau social au Québec le printemps passé...

Vol. CIII N°114 • LE DEVOIR, LE MERCREDI 23 MAI 2012 1.09 \$ - TAXES - 1.25 \$  
www.ledevoir.com



LE DEVOIR

Les organisateurs estiment à 250 000 le nombre de participants à la manifestation ayant souligné les 100 jours de grève étudiante, hier, à Montréal. JACQUES NADEAU / LE DEVOIR

## LOI 78 : LA RUE CHOISIT LA DÉSŒBÉISSANCE PACIFIQUE

LISA-MARIE GERVAIS  
MARCO BELAIR-CIRINO

tions de la loi 78 sous l'œil généralement tolé-  
rant des policiers.

tions étudiantes collégiale et universitaire (FECQ  
et FEUQ), incarne «l'absurdité» de la loi.

Lire aussi : La reprise des négociations n'est pas  
exclue. La FEUQ exige toutefois une suspen-

Dans cette histoire, on a d'abord des **institutions d'enseignement** dont la mission est de former des citoyens autonomes et critiques qui puissent prendre une part active à la vie sociale et à son organisation politique...



Et on avait une **problématique sociale** :

l'accès à ces institutions,

autrement dit, est-ce que cet accès doit dépendre du hasard de notre origine sociale (de la capacité des étudiants à payer)



Et là on a pu identifier différents « acteurs ou groupes sociaux ».

D'abord le gouvernement en place, qui lui voulait augmenter ces frais de scolarité de 75% en cinq ans, puis de 82% en sept ans.



Ce qui a déclenché une vive opposition des principaux concerné.e.s, les étudiants et leurs associations.



Ceux-ci ont rapidement reçu l'appui de nombreux autres groupes sociaux, notamment les profs contre la hausse.



Le mouvement social prenant de l'ampleur, on a vu se révéler petit à petit le véritable visage d'un autre groupe social sensé assurer la sécurité publique, le corps policier



...mais qui s'est vite révélé davantage une menace pour la sécurité des gens qui descendaient dans la rue, en blessant plusieurs et en handicapant certains de manière permanente.



Plutôt que d'engager un véritable dialogue, le pouvoir en place leur octroyait bientôt un pouvoir accru par l'entremise d'une loi (la loi 12, projet de loi 78), qui remettait en question les fondements de l'organisation politique que cette société s'était donné au fil du temps.



Une organisation politique qui encourage, du moins théoriquement, à manifester son opposition de manière pacifique (ce qui fut pratiquement toujours le cas pour ceux et celles qui sont descendus dans la rue)



et qui font appel le plus souvent à un attribut proprement humain qu'on appelle le langage.



Il s'ensuit la constitution de nouveaux groupes sociaux, par exemple les arrêtés du printemps québécois, estimé à plus de 3 300 en quelques mois, du jamais vu dans l'histoire de la société québécoise.



Les mère en colère



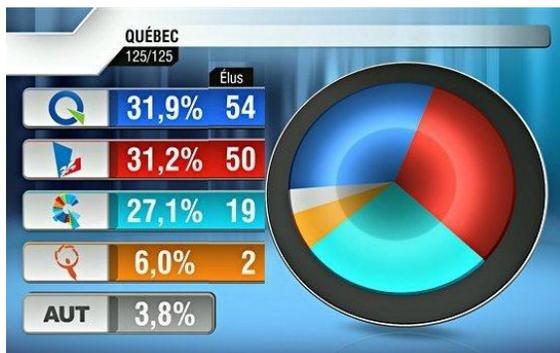
Les associations autonomes de quartier (APAQ)



Les assemblées spontanées de casseroles à 20 heures sur les coins de rue



...et même des groupes qui ne s'affichent pas souvent en tant que groupe : les juristes contre la loi 12 !



Finalement, on connaît la suite, le gouvernement en place a tenté le tout pour le tout en allant en élection et a perdu son pari.



Le gouvernement suivant a abrogé la loi 12 et organisé un sommet sur l'enseignement supérieur d'une journée et demie qui n'a pas fait consensus.



Ce qu'il ne faut jamais perdre de vue dans tout ça, c'est que tous ces gens appartenant à des groupes sociaux divers et variés, ont tous un cerveau humain construits avec les mêmes grands plans d'ensemble et avec les mêmes grandes potentialités dont l'utilisation du langage !



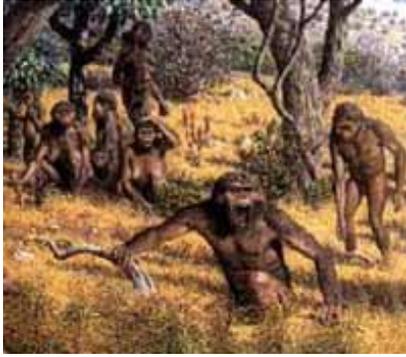
Et si on sort de notre exemple et qu'on considère maintenant la situation géopolitique plus vaste au niveau mondial, si on n'a qu'une image pour la résumer, on pourrait prendre celle-ci et s'étonner devant le même constat :



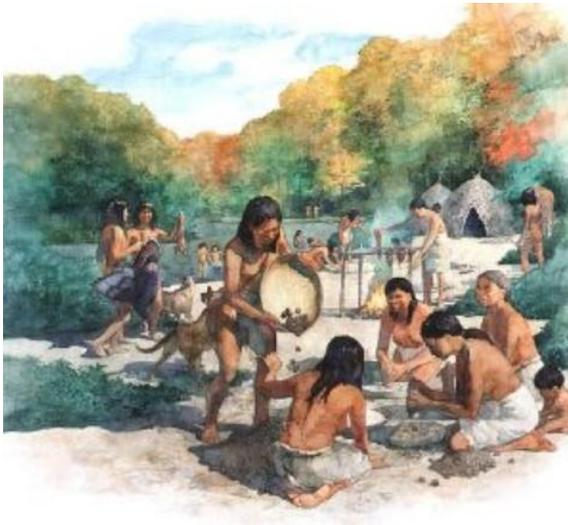
tous ces gens ont un cerveau humain !

Comment cela est-il possible ?

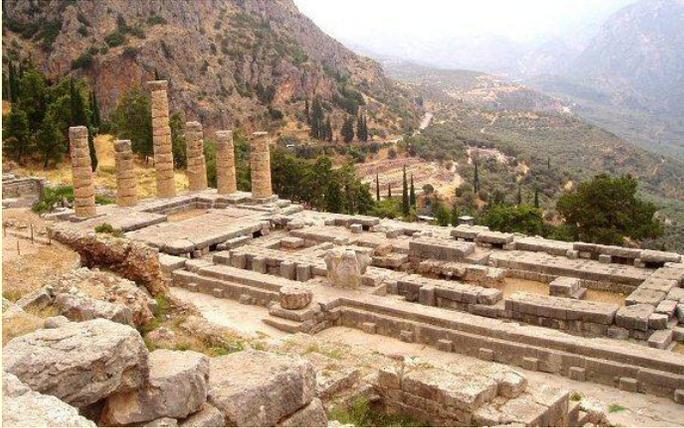
Il faut d'abord se rappeler que l'être humain a depuis toujours vécu en société.



Nos ancêtres chasseurs-cueilleurs ont dû eux aussi se poser ces questions du vivre ensemble et même s'ils ne l'ont sans doute pas articulé dans des livres de philosophie, ils l'ont mis en à l'épreuve de la pratique il y a 1, 2, 3, 4, 5 millions d'années.



durant ce qu'on appelle l'hominisation, c'est-à-dire la longue transformation de la lignée Homo jusqu'à Homo sapiens sapiens, c'est-à-dire nous .



Le temple d'Apollon de la cité antique de Delphes

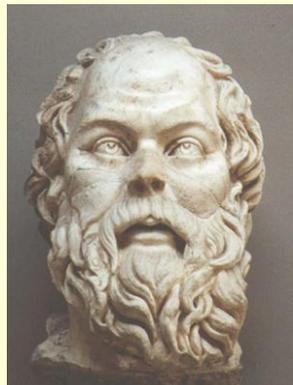
Comment peut-on en arriver à mieux vivre avec soi-même et avec les autres. Voilà des questions que l'on a commencé à se poser plus explicitement depuis au moins la Grèce Antique.

Avec l'une de ses figures emblématique, Socrate. Socrate qui disait...

## Socrate

(Ve siècle av. J.-C.)

« Connais-toi  
toi-même »

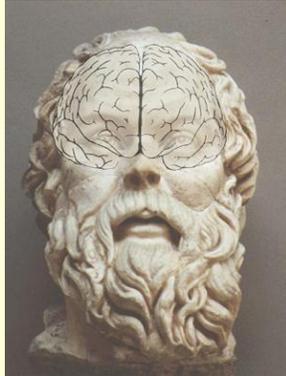


« Je ne sais  
qu'une chose,  
c'est que je  
ne sais rien »

Socrate est donc pour moi l'un des premiers neurobiologistes...

# Socrate neurobiologiste

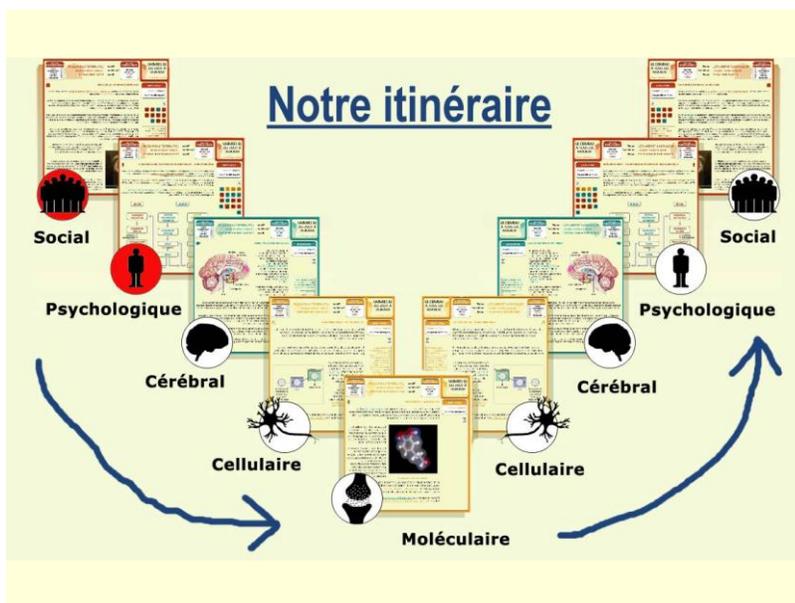
« Connais-toi  
toi-même »



« Je ne sais  
qu'une chose,  
c'est que je  
ne sais rien »

...puisqu'il avait exactement la même posture qu'on les neurobiologistes d'aujourd'hui qui cherchent à mieux comprendre le fonctionnement du cerveau pour mieux comprendre le comportement des humains, d'une part.

Et d'autre part, qui connaissent suffisamment la complexité du cerveau pour savoir que malgré tout ce que les outils modernes comme l'imagerie cérébrale qui permet de voir si des régions du cerveau sont plus ou moins actives lorsqu'on effectue une tâche donnée, eh bien malgré tous ces outils, ils savent que la plus grande partie du fonctionnement du cerveau nous échappe encore...



Nous voilà donc rendu avec Socrate au niveau d'un l'individu particulier, c'est-à-dire ici au niveau de la psychologie et du comportement individuel, selon l'itinéraire que je vous avais présenté

Dans une présentation antérieure que j'avais faite dans un autre cégep, j'avais distribué un petit questionnaire dont une des questions était :

« Qu'aimerais-je explorer, découvrir, comprendre concernant mon cerveau ? »

J'avais regroupé un peu les réponses semblables et j'ai mis la grosseur des caractères proportionnelle à leur fréquence.



Et la première chose qui saute aux yeux, c'est l'importance de la question « Comment fonctionne le cerveau ? ». La question du fonctionnement est vraiment quelque chose qui semblait les préoccuper, et j'imagine que ce n'est pas trop différent ici.

On va avoir l'occasion d'en donner quelques pistes durant la présentation, mais je ne vais certainement pas vous expliquer ici de façon exhaustive et complète comment le cerveau fonctionne, pour la simple et bonne raison que personne encore n'a une explication complète de son fonctionnement.

Pour ma part, j'aimerais plutôt commencer par attirer votre attention sur une question encore plus fondamentale que « Comment ça fonctionne un cerveau », une question qui n'est pas sortie du tout dans les réponses à mon questionnaire, et c'est :

« À quoi sert-il ? »

À quoi ça sert, un cerveau ? Ça a l'air un peu trivial comme ça...



**bouger, voir, entendre, sentir,  
goûter, toucher, se souvenir,  
parler, dormir, rêver, avoir du  
plaisir, avoir mal, avoir peur,  
aimer, haïr, être triste, heureux,  
anxieux ou excité, chanter, rire,  
pleurer, écrire, lire, planifier,  
courir, faire du vélo, de la  
peinture, de la poésie, de la  
philosophie, de la science et  
être conscient de tout cela...**

...parce qu'on sait que le cerveau ça sert à tout, même si on ne s'y arrête pas très souvent pour y penser (sauf quand on a un problème avec lui)...

Mais s'il fallait ramener ça au principe le plus fondamental, et c'est toujours bon de revenir au principe fondamental de quelque chose quand on veut en comprendre le fonctionnement, on pourrait dire, à la suite de plusieurs biologistes, comme Henri Laborit, que « la seule raison d'être d'un être vivant, c'est d'être, c'est-à-dire de maintenir sa structure ».

C'est la chose la plus fondamentale : avant de se reproduire ou d'évoluer, un être vivant doit être capable de se maintenir vivant !



Plantes :

**photosynthèse**  
grâce à l'énergie du soleil

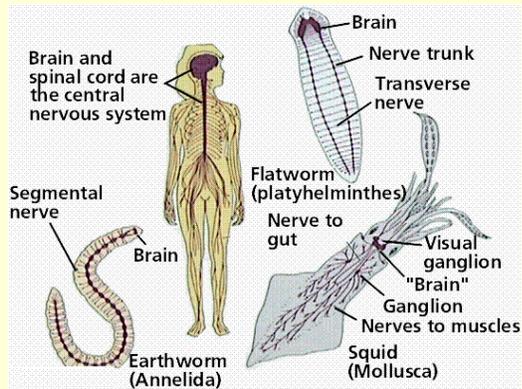
Animaux :

**autonomie motrice**  
pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

Et pour ça, il doit pouvoir se nourrir, trouver l'énergie nécessaire au renouvellement au maintien de cette structure

Les êtres vivants du règne végétal, les plantes, ont trouvé comment faire ça par la photosynthèse grâce à l'énergie du soleil, à l'eau et au gaz carbonique de l'atmosphère.

Mais les êtres vivants du règne animal, les animaux, doivent trouver ces ressources en se déplaçant dans leur environnement, car pour se nourrir, ils doivent trouver des proies, quelque chose à manger.



Et c'est là qu'apparaît le système nerveux ! Parce que ça prend un système nerveux pour bouger rapidement et que la locomotion est donc la nécessité première de l'animal.

Et encore une fois, Laborit résume ça très bien quand il dit :

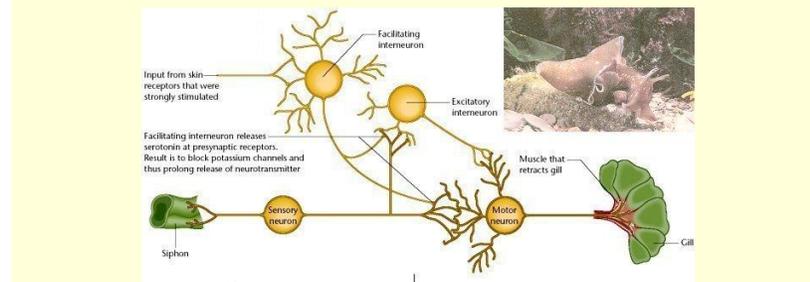
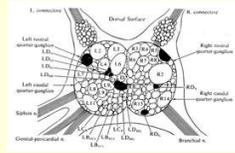
« Un cerveau ça ne sert pas à penser  
mais à agir. »

« Et on pourrait presque dire,  
que c'est une mémoire qui agit. »

- Henri Laborit

Et pour coordonner nos mouvements efficacement, il faut une boucle perception-action reliant des senseurs à des muscles.

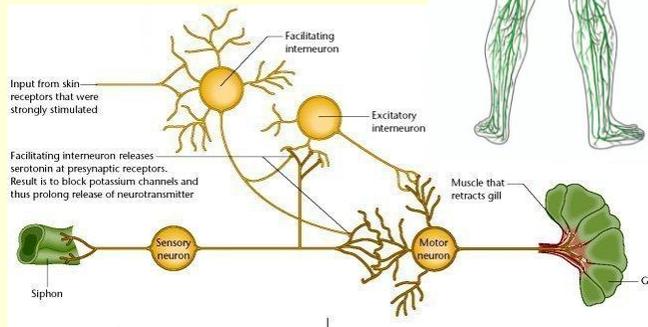
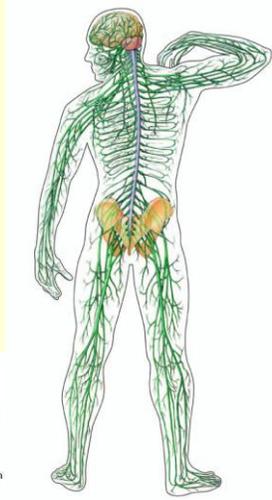
### Aplysie (mollusque marin)



Dans le cas de l'Aplysie par exemple, un mollusque marin qui n'a que quelques milliers de neurones en tout, on retrouve déjà des neurones sensoriels qui communiquent avec des neurones moteurs, et la connexion entre les deux peut même modifier son efficacité, i.e. s'habituer, se sensibiliser, se conditionner...

Donc apprendre, suite à une connaissance de son environnement pour mieux s'y adapter...

Le cerveau humain,  
comme les inter-neurones de l'Aplysie,  
va venir  
**moduler la boucle perception – action.**



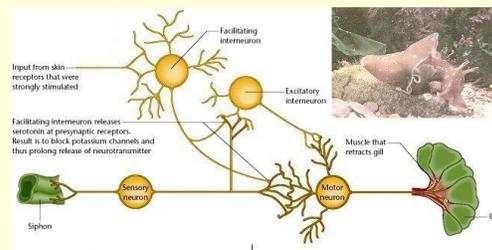
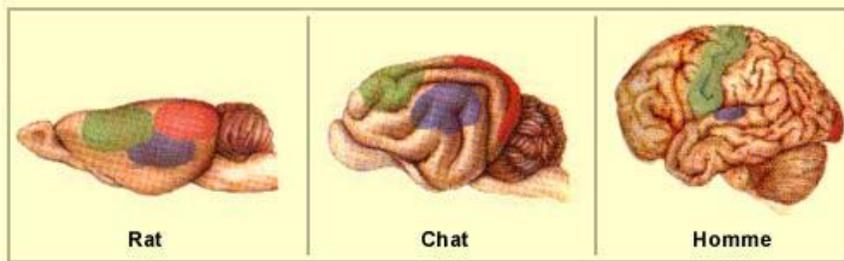
Et c'est ainsi qu'après une longue évolution dont on va parler un peu dans un instant, des liaisons sensori-motrices se sont complexifiées et, en se complexifiant, ont formé notre cerveau. Et c'est sur cette base que des choses plus abstraites vont pouvoir commencer à se greffer.

## Proportion des régions sensorielles primaire

Vert : toucher

Rouge : vision

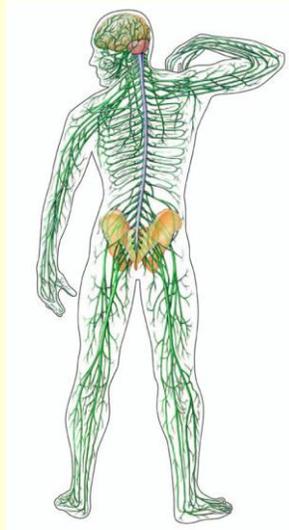
Bleu : audition



Et on va voir apparaître, avec l'évolution, de plus en plus d'aires dites « associatives » qui sont le développement des premiers interneurons.

Des aires associatives qui nous seront bien sûr fort utiles à nous, humains pour penser, parler, imaginer...

Mais qui ne demeurent qu'une interface entre cette boucle sensori-motrice qui nous permet d'agir sur notre environnement.

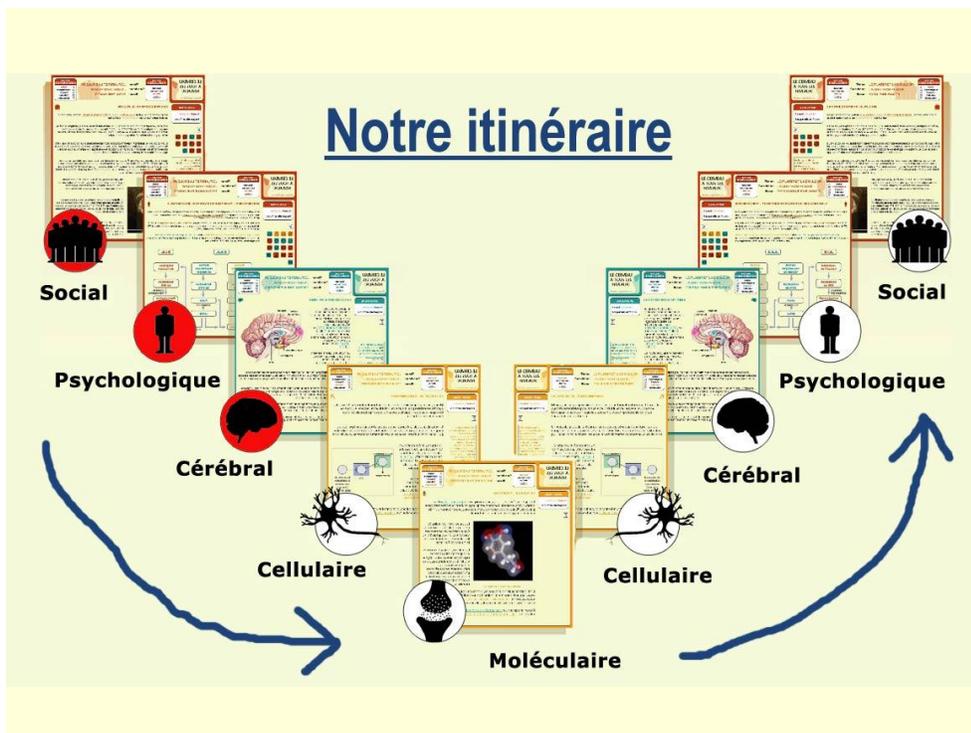


« On peut remplacer le fameux  
« **Je pense, donc je suis** » de Descartes  
par « **Je peux, donc je suis** » car la structure  
de notre subjectivité n'est pas « j'ai certaines pensées »,  
mais bien « **je peux agir** et je bouge effectivement de telle ou telle façon. » »

- Evan Thompson

\*

On arrive au niveau cérébral.



Toujours dans le même questionnaire dont je vous parlais tantôt, l'une des questions demandait :

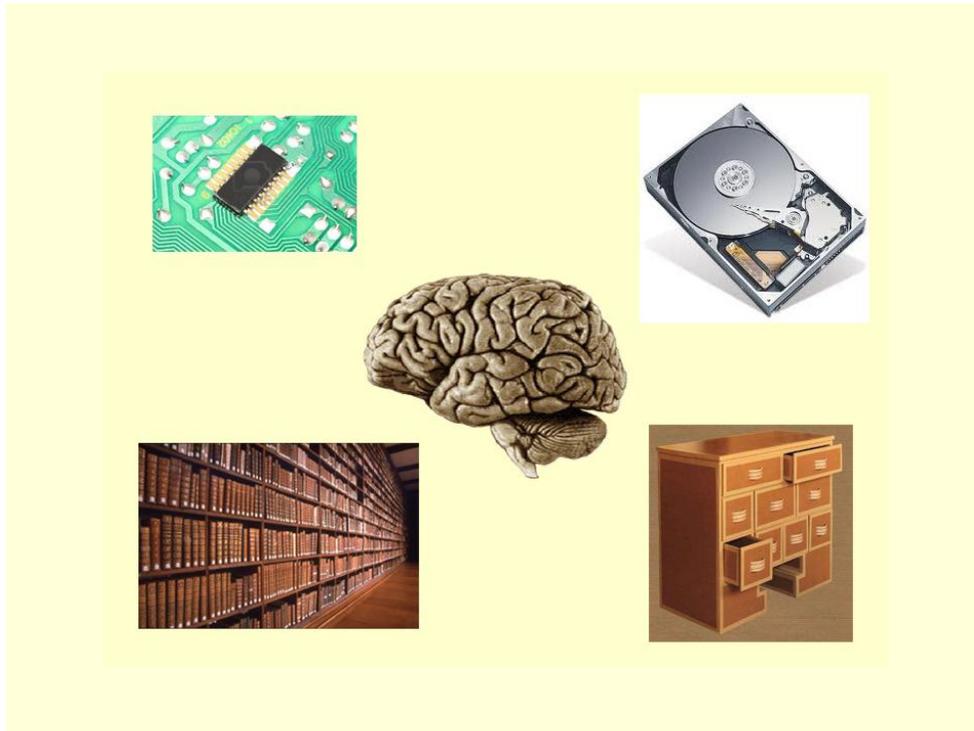
« Quelle image me vient quand je pense à mon cerveau ?  
C'est comme... »



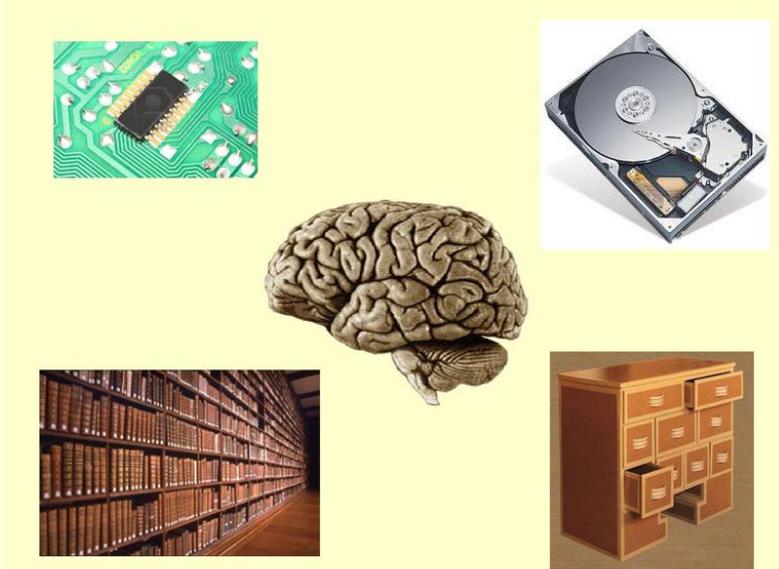
Et ce fut très intéressant de découvrir les réponses. Par exemple, pour certains, un cerveau c'est comme...



...du Jello, de la gomme balloune rose, une assiette de nouilles, de la glu rose, un chou-fleur, de la saucisse ou des balles de laines !



Ou encore que pour d'autres c'est comme un circuit intégré d'ordinateur, un disque dur d'ordinateur, une bibliothèque ou un meuble avec beaucoup de tiroirs!



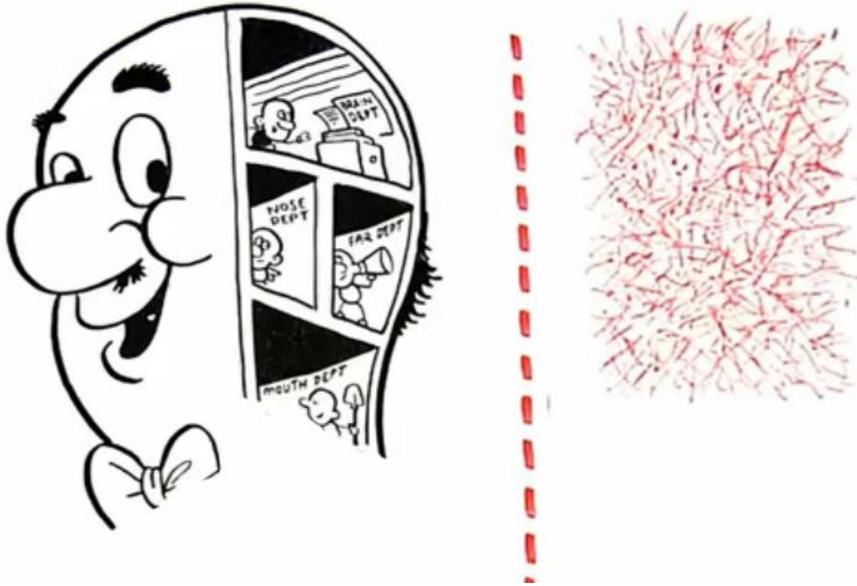
Peut-on imaginer des images plus justes pour le cerveau ? Je crois que oui...

Il y a des raisons derrière le fait que ce soit des images comme celles-ci qui évoque le cerveau, et on va voir dans l'heure qui vient qu'il peut y en avoir d'autres, des plus justes, me semble-t-il...

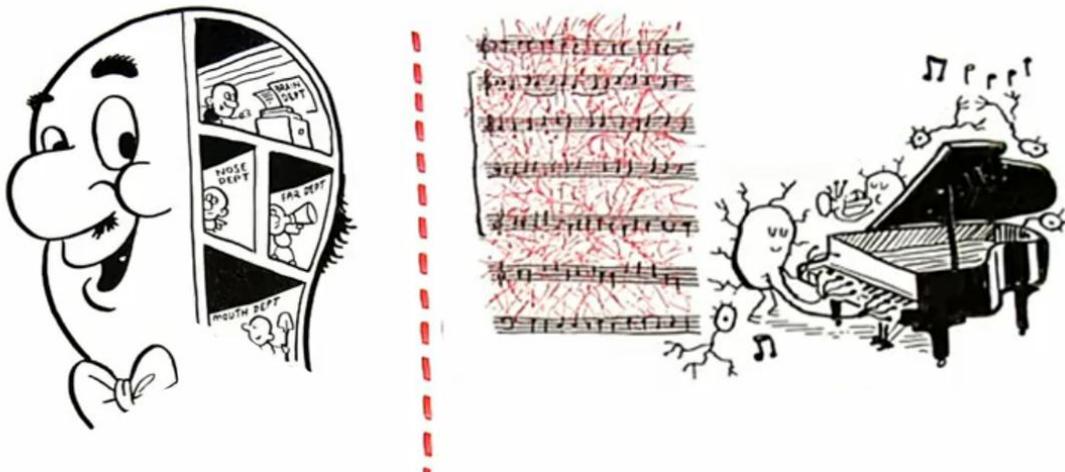
Et l'une de ces images plus juste du cerveau que j'aimerais vous soumettre sans toutefois entrer dans les détails tout de suite, ce serait donc de remplacer cette conception-là...



...celle des compartiments, par celle-ci :



C'est-à dire par un réseau d'éléments interconnectés (qui sont nos cellules nerveuses), et qui communiquent constamment entre elles en émettant ce qu'on appelle des influx nerveux (on verra ce que c'est tantôt) ce qui produit...



...un système dynamique qui évolue ou si vous voulez qui change de forme dans le temps, exactement comme la partition d'une symphonie.

Votre cerveau est donc beaucoup plus proche d'une grande orchestration symphonique que d'une boîte à outils.

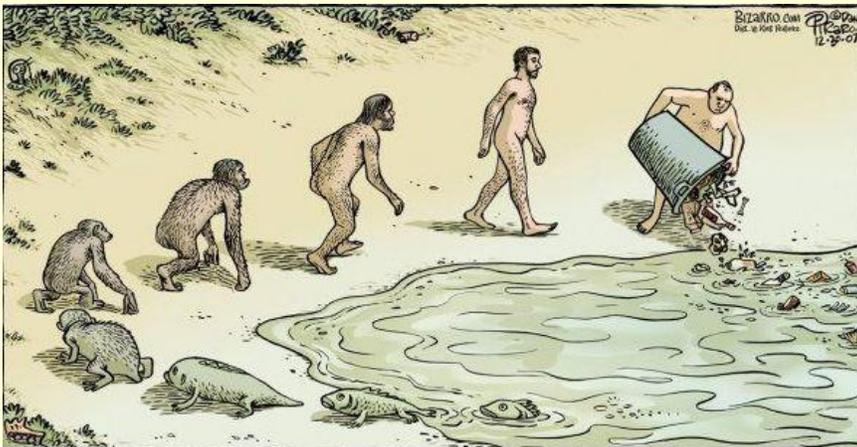
\*

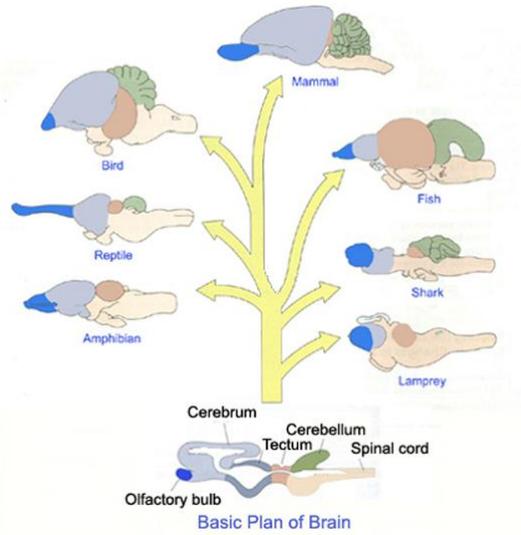
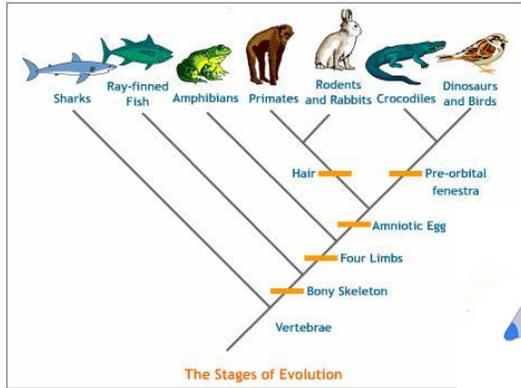
Autre chose que le cerveau n'est pas avant d'aller plus loin :

- le cerveau humain n'est pas né de la dernière pluie

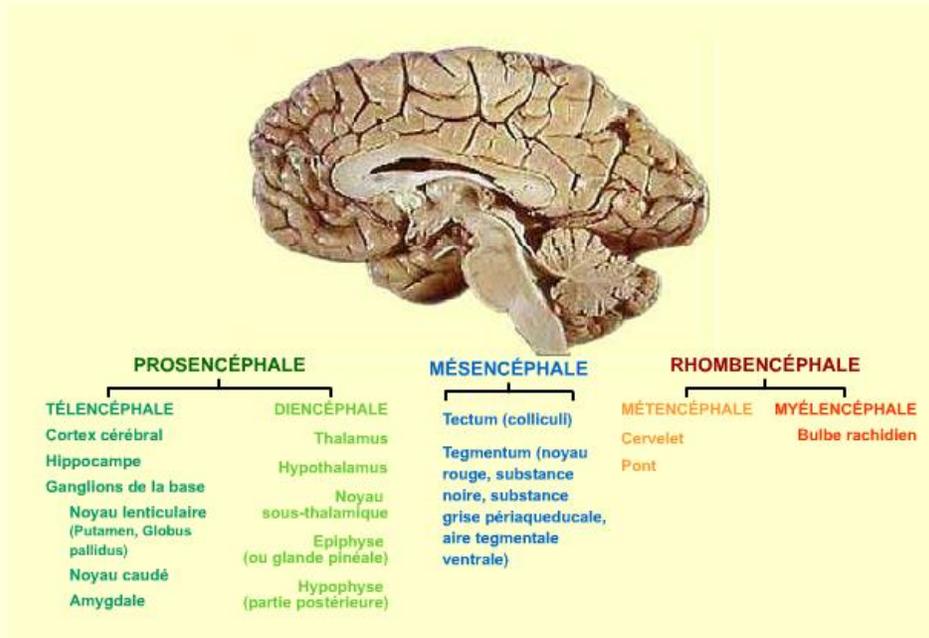


Il faut le replacer **dans la longue évolution** qui a menée jusqu'au cerveau humain, « summum de l'intelligence »...

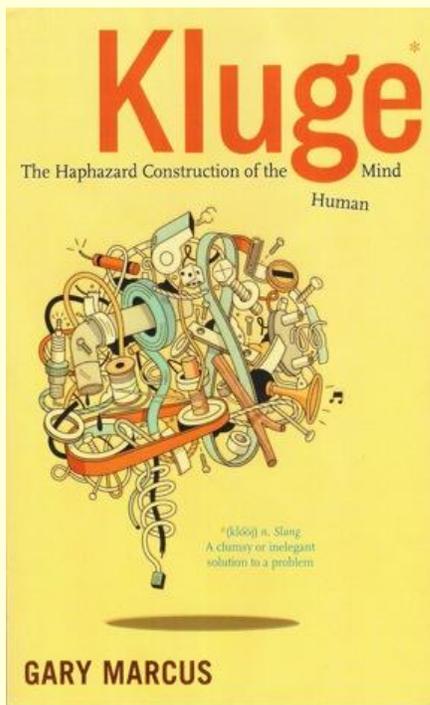




La plupart des structures de notre cerveau, nous les partageons avec les autres vertébrés. Par exemple ici, les 5 grandes subdivisions de l'encéphale. Mais c'est l'importance relative de celles-ci qui va varier d'une espèce à l'autre.



Et ces structures ont des âges différents : certaines sont plus anciennes, évolutivement parlant, que d'autres.



## Le « bricolage » de l'évolution

"L'évolution ne tire pas ses nouveautés du néant. Elle travaille sur ce qui existe déjà. [...] la sélection naturelle opère à la manière non d'un ingénieur, mais d'un bricoleur ; un bricoleur qui ne sait pas encore ce qu'il va produire, mais récupère tout ce qui lui tombe sous la main [...]"

- (François Jacob / né en 1920 / Le jeu des possibles / 1981)

Toutes ces structures qui ont pris de l'importance à différents moments au cours de l'évolution cohabitent aujourd'hui ensemble parce qu'elles ont bien entendu tissé des liens, fait des connexions, mais pas en suivant le plan optimal d'un ingénieur, mais plutôt à la manière d'un bricoleur, un « patenteux » comme on dirait au Québec, qui fait avec ce qui lui tombe sous la main...

C'est en gardant cette perspective évolutive à l'esprit que je vous propose maintenant un petit « tour du propriétaire » de votre cerveau.

Un tour qui a pour but de vous montrer qu'il y a effectivement de nombreuses structures différentes dans le cerveau...



...et qu'il n'est pas un Jello uniforme, pour employer une métaphore suggérée tantôt.



Voici donc la propriété en question, dont l'architecture est fortement inspiré du cerveau...



Je vous propose un « **tour du propriétaire** » de votre cerveau...

...et je vais donc me transformer en agent immobilier pour quelques minutes pour vous faire visiter un immeuble prestigieux où vous trouverez tout ce qu'il faut être heureux et fonder une famille...

Ici je dois faire 2 AVERTISSEMENTS :

Le premier c'est que notre agent immobilier, vous allez voir, il parle vite, parce que le but ici c'est de vous donner un aperçu impressionniste de votre immeuble cérébral (pour mieux vous hypnotiser et mieux vous le vendre), donc n'essayez surtout pas de tout retenir...



## AVERTISSEMENT !

**Les analogies qui suivent sont des MÉTAPHORES.**

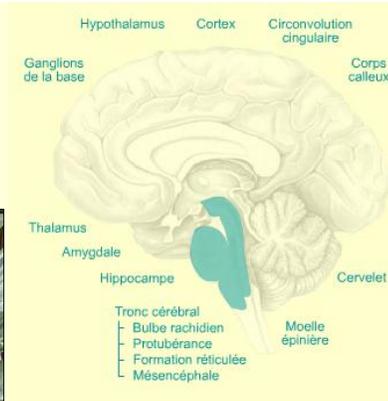
**Notre cerveau n'est pas fait de salles distinctes,  
mais plutôt de circuits richement interconnectés !**

Et le 2<sup>e</sup>, c'est que je vais donc faire des analogies entre les pièces de cet immeuble et des structures cérébrales qu'elles m'inspirent, mais il faut vraiment ne pas oublier qu'il s'agit de métaphores un peu grossières parce que notre cerveau n'est pas fait justement de salles distinctes comme on l'a dit tantôt !

Nos structures cérébrales forment des circuits richement connectés, et la moindre tâche implique l'activation de plusieurs régions cérébrales.

Mais disons que ça va au moins donner une petite idée de la diversité de ses principales régions pour ceux qui n'en auraient jamais entendu parler...

Les fondations...



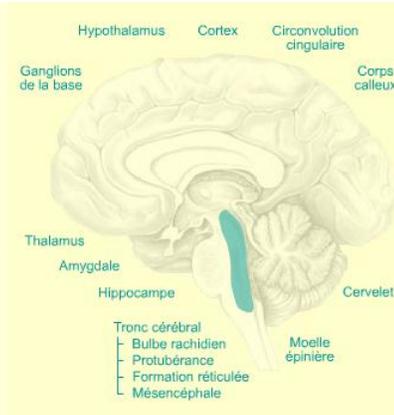
...le tronc cérébral

Commençons donc d'abord notre visite comme il se doit, c'est-à-dire en allant voir les fondations de l'édifice, autrement dit le tronc cérébral.

Dans cette vieille partie de notre édifice cérébral, il est question de fonctions fondamentales liées à la survie de tout le bâtiment corporel : régulation de la respiration, du rythme cardiaque, de la pression sanguine, etc.

C'est là aussi que l'on retrouve les centres de réflexe comme ceux du vomissement, de la déglutition, de l'éternuement, qui nous empêchent par exemple de respirer quand on avale.

Le centre de surveillance...

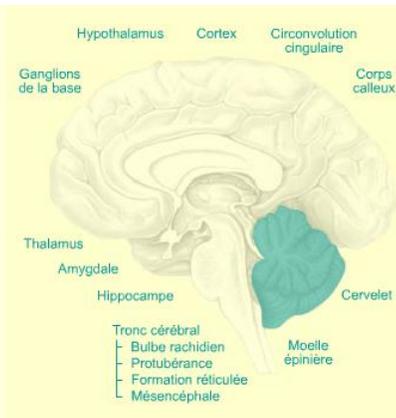


...la formation réticulée

Une partie importante du tronc cérébral, c'est la formation réticulée, que l'on peut comparer un peu à un centre de surveillance puisqu'elle est mise au courant de tout ce qui entre et sort du cerveau par la moelle épinière...

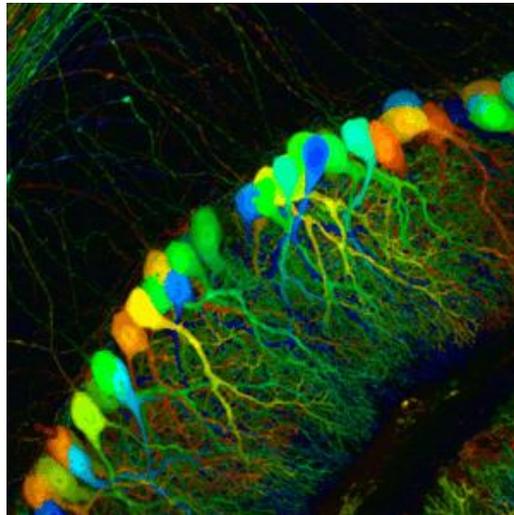
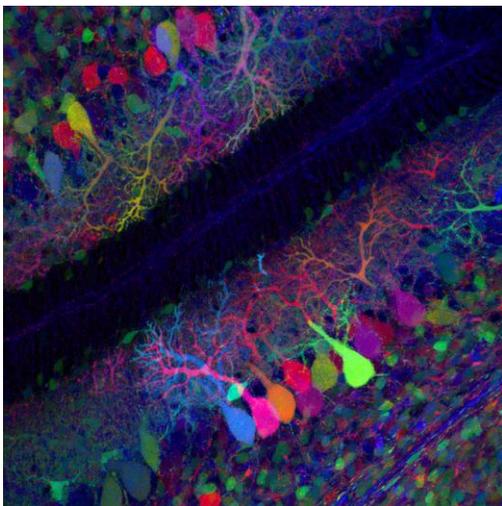
Cela la met en très bonne position pour gérer notre sommeil, notre attention et pour nous permettre de nous concentrer au milieu des distractions.

Le gymnase...



...du cervelet

Toujours au sous-sol dans les sous-bassement de l'édifice, on a le grand gymnase du cervelet ! Comme vous le voyez c'est une structure très importante pour l'équilibre et la coordination des mouvements.

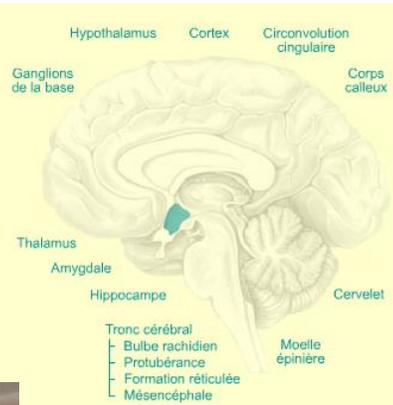


Coloration « Brainbow » de la structure cellulaire particulière du cervelet, extrêmement riche en neurones (contrairement au tronc cérébral de tantôt, par exemple)..

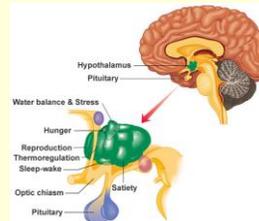
[on anticipe un peu sur le niveau cellulaire, mais c'est juste pour pas perdre de vue ce qu'il y a dans un vrai cerveau...]

En fait, le cervelet ne représente que 10% du volume total du cerveau mais contient plus de neurones que toutes les autres parties du cerveau mises ensemble !

La cuisine et la chambre à coucher...



...de l'hypothalamus

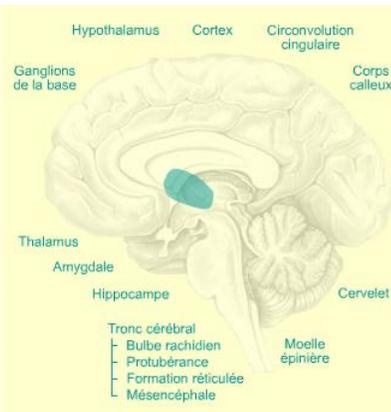


Au rez-de-chaussée maintenant nous avons la cuisine et la chambre à coucher qui forment ce qu'on pourrait appeler les services essentiels de l'hypothalamus.

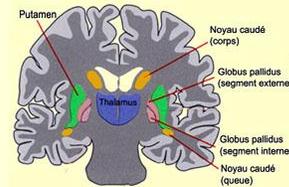
Avec ses multiples noyaux, celui-ci est en effet en charge du maintien de l'équilibre interne de l'organisme, et donc il gère la faim, la soif, la température et les comportements associés à la reproduction.



La salle de jeu...



...des noyaux gris centraux

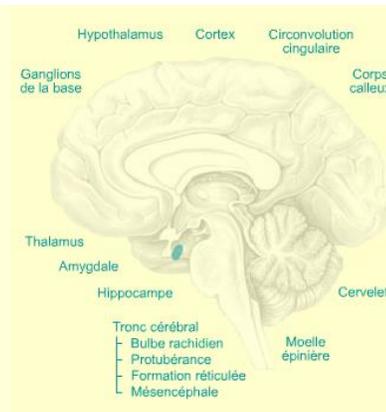


Sur le même palier que le thalamus, mais situé plus latéralement, on retrouve la salle de jeux des noyaux gris centraux (on dit aussi parfois les ganglions de la base).

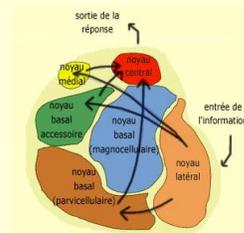
Ce sont des régions (comme le putamen, le noyau caudé ou le globus pallidus) qui sont impliquées dans les habiletés motrices et les sensations de plaisir.

Et ce n'est pas par hasard que la sensation de plaisir est intimement liée aux structure impliquées dans la recherche active d'une récompense par l'activité motrice, considérant l'importance évolutive du mouvement comme on l'a dit au début tantôt...

Le système d'alarme...



...de l'amygdale

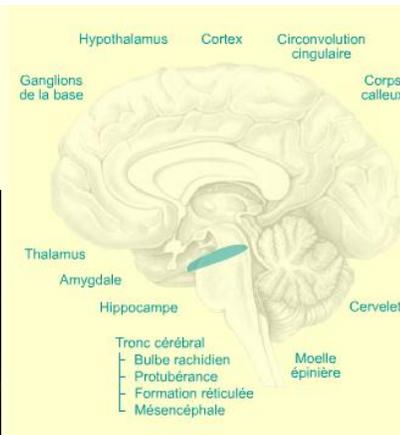


C'est dans l'une des salles de jeux des noyaux gris centraux, que l'on appelle l'amygdale, que l'on peut armer le système d'alarme de tout l'édifice cérébral.

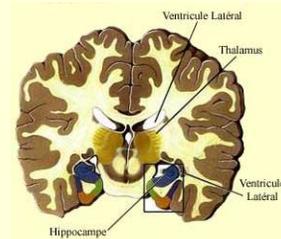
L'amygdale est donc fortement sollicitée par certaines émotions et peut faire entendre sa sonnerie dans tout l'édifice cérébral et corporel.

Encore ici, l'amygdale possède elle-même plusieurs noyaux

Le grenier...



...de l'hippocampe

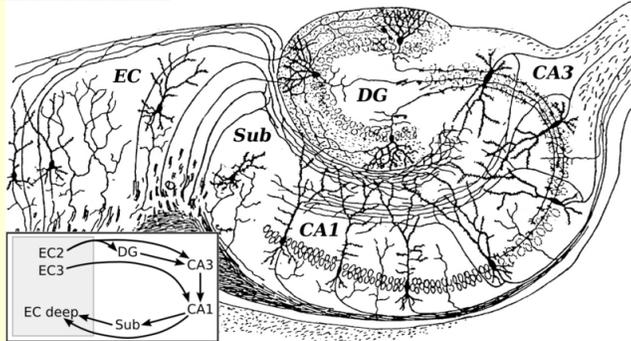
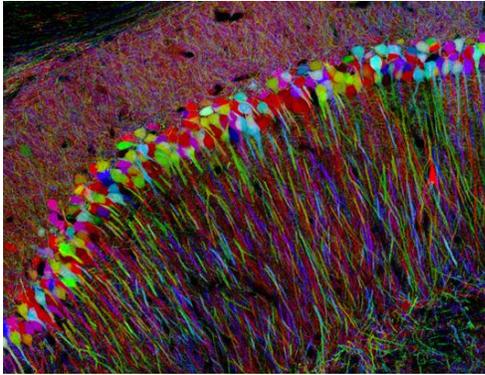


On approche maintenant du dernier étage, le plus récent à avoir été construit, i.e. le cortex.

Mais juste avant, vous pouvez jeter un coup d'œil au grenier de l'hippocampe.

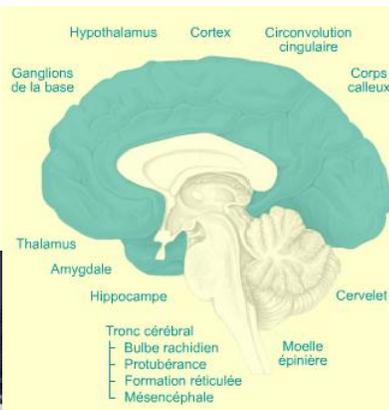
L'hippocampe est en effet une vieille partie du cortex qui joue un rôle crucial dans la mémoire

(nos vieux souvenirs ne sont cependant pas stockés directement dans l'hippocampe comme l'indique cette photo, c'est un peu plus compliqué que ça...)



Encore ici, on a une structure cérébrale où les neurones sont ordonnées d'une manière très caractéristique.

La terrasse sur le toit...



...de notre cortex

Et finalement appréciez la vue imprenable du plus récent annexe à notre bâtiment : cette merveilleuse terrasse sur le toit appelé cortex

qui est responsable de notre langage, notre perception, notre imagination qui nous permet de faire de l'art, de la science, de l'architecture, et qui nous permet finalement d'avoir conscience de la beauté de tout cela.

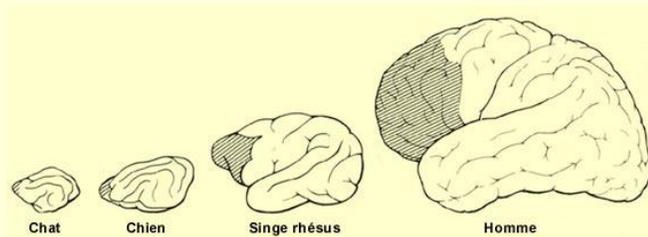
Il est intéressant ici de rappeler que notre bâtiment fonctionnait tout à fait bien avant la construction de cette terrasse comme toutes les maisons plus simples appelée oiseaux, reptiles, amphibiens ou poissons sont là pour nous le rappeler.

Mais cet ajout, qui a plusieurs connexions et voies d'accès avec les parties plus anciennes de notre édifice cérébral humain, permet d'élargir les horizons avec cette vue superbe.

Le voisin d'en avant...



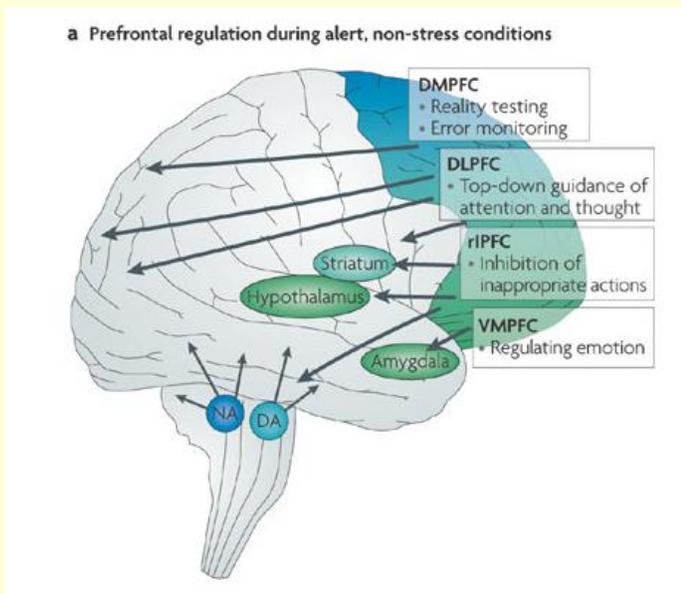
...du cortex préfrontal



En terminant pour être honnête, je dois vous parler du locataire d'en avant et vous dire qu'il est un petit peut contrôlant !

Il est jeune, mais quelle place il occupe : 29% du cortex humain ! Alors que chez le chimpanzé il n'occupe que 17 %, chez le chien 7 % et chez le chat 3,5 %.

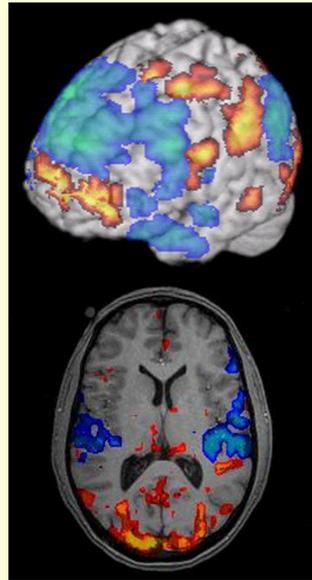
## Quel contrôle il a !



Et surtout quel contrôle il a !

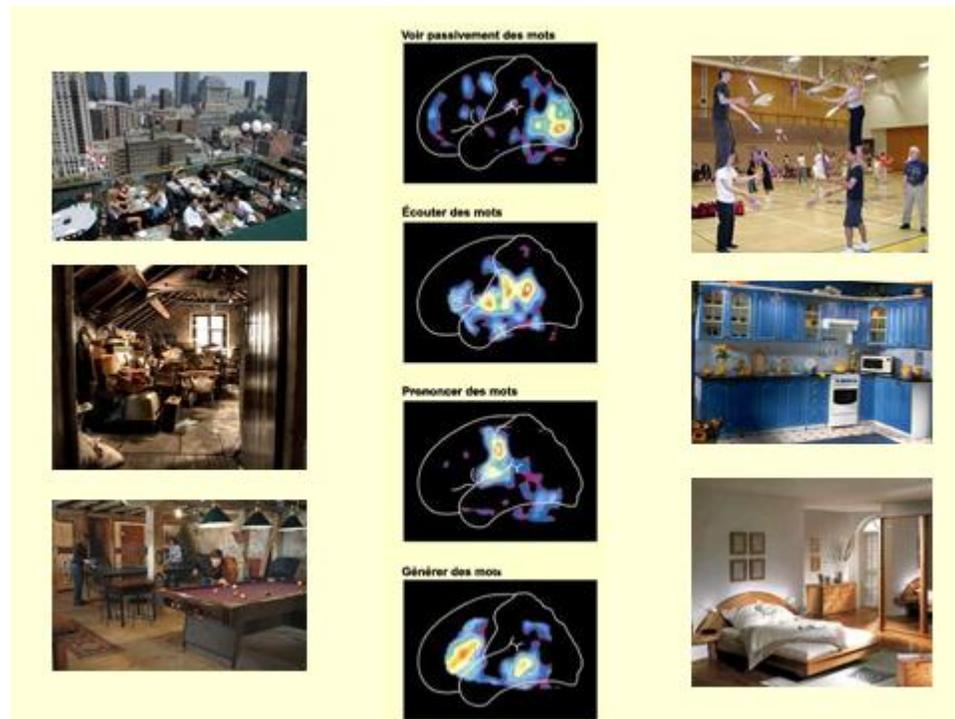
Vous êtes médecin et vous ne devez pas être trop affecté émotionnellement par vos patients en mauvais état sous peine de ne pas prendre les bonnes décisions pour bien les soigner ?

C'est lui, le cortex préfrontal, qui va vous aider à garder le contrôle de vos émotions.



Ce qui nous amène au dernier point de notre visite que je dois vous avouer, et non le moindre,

i.e. qu'il y a beaucoup d'activité dans cet immeuble, et que pour la moindre tâche, à tout moment de la journée, il y a toujours de l'activité simultanément dans de multiples pièces de notre édifice cérébral.

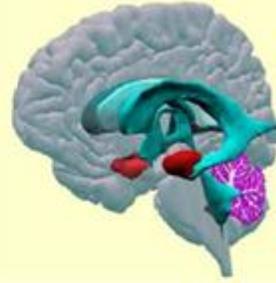


Comme ici, pour différents aspects du langage.

Bon, alors j'enlève ici mon masque d'agent immobilier...

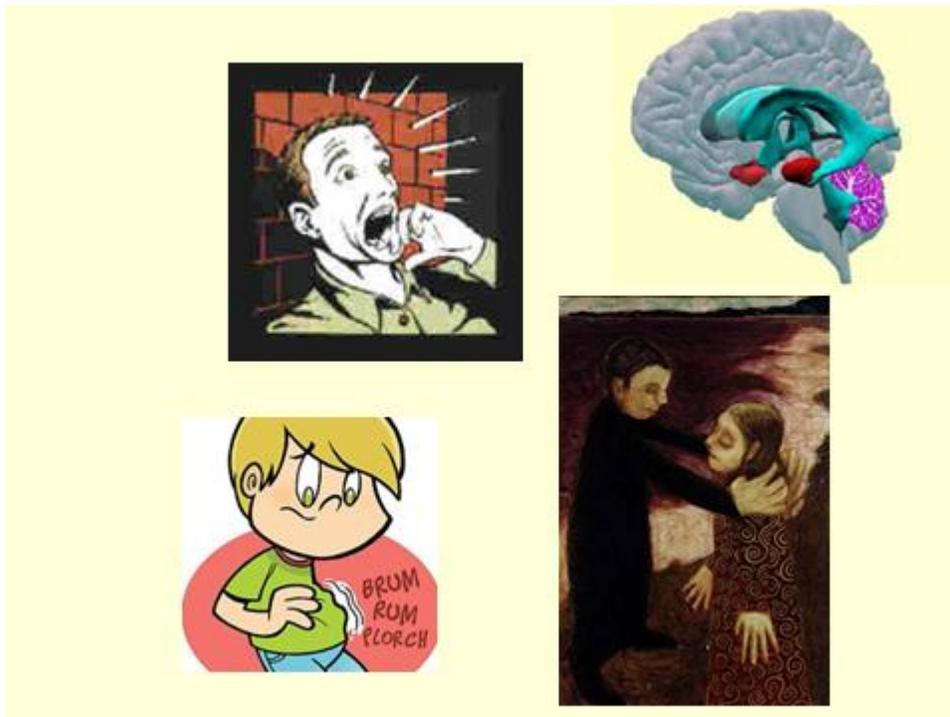
-

Mais je voudrais terminer ce niveau cérébral par un exemple qui incite à se méfier des associations rapides que l'on peut faire ainsi entre des structures cérébrales et de fonctions. L'idée de faire des « centres de » la peur, la douleur, etc.



Car s'il est certain que l'amygdale devient très active quand une personne a peur de quelque chose, comme l'ont montré nombre d'expériences d'imagerie cérébrale, c'est loin d'être la seule situation où elle « s'enflamme ».

Le rôle de l'amygdale est beaucoup plus subtil. Elle semble en effet s'activer en relation avec tout événement qui peut préoccuper quelqu'un à un instant donné.



Se retrouver face à face avec un ours est effectivement une situation préoccupante, et dans ce cas qui provoque la peur.

Mais chercher de la nourriture pour une personne qui a faim,

ou un individu en détresse pour une personne empathique, ça aussi ça peut préoccuper quelqu'un, mais différemment.

Et des études montrent que l'amygdale est aussi très active dans ces situations.

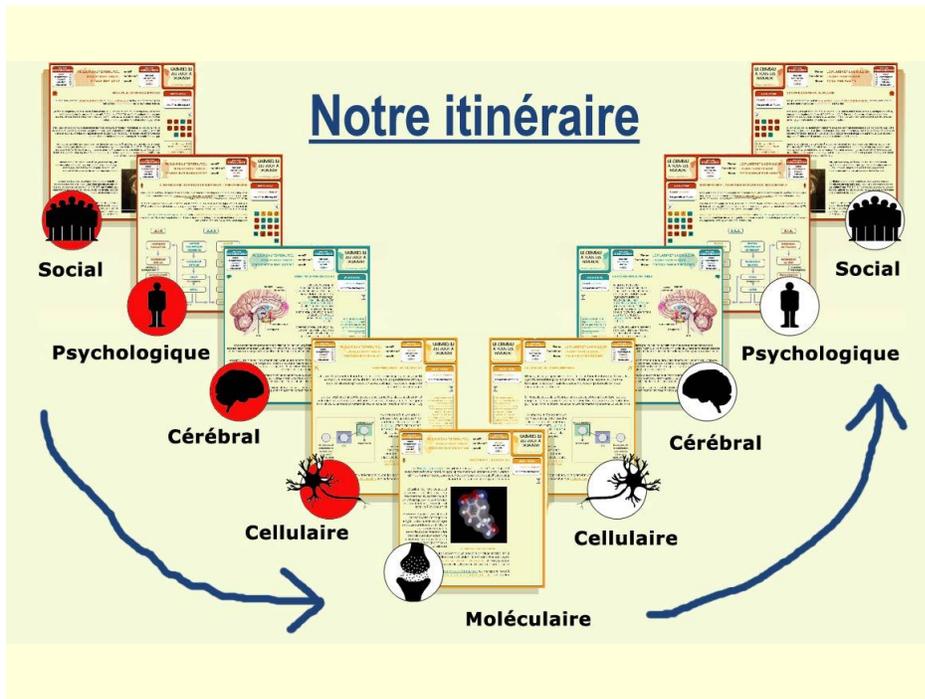
Si l'amygdale peut être active dans des situations si différentes, c'est qu'elle n'agit jamais seule. En effet, le cerveau forme un vaste réseau de structures richement interconnectées et pour la moindre émotion ou tâche cognitive ce n'est jamais une seule région qui s'active, mais plusieurs.

On parle alors de circuits cérébraux reliant deux, cinq, dix, quinze régions cérébrales différentes.

\*

Autre raison de ne pas prendre au pied de la lettre la petite visite guidée que je viens de vous faire : le consensus assez récent à l'effet que le tronc cérébral jouerait un rôle important dans la conscience...

\*



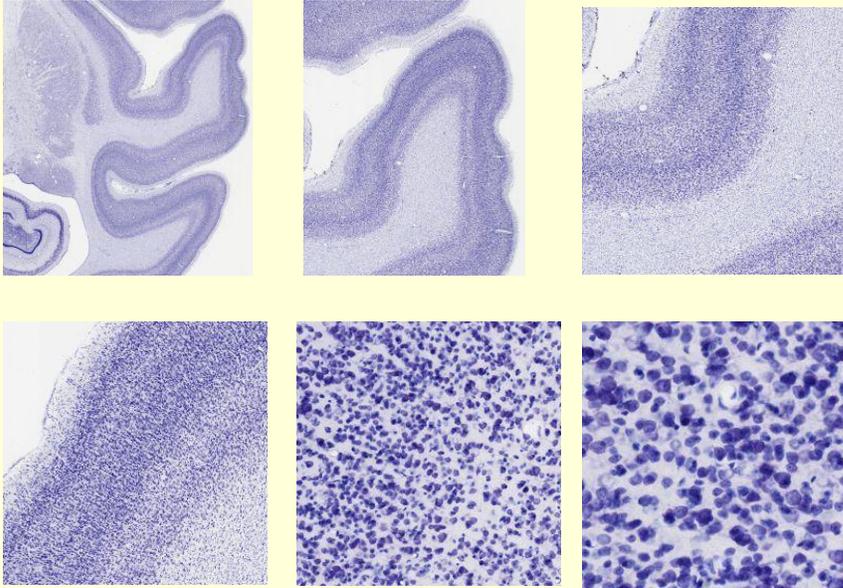
Et ce concept circuits cérébraux nous amène directement au niveau suivant, le niveau des neurones ou niveau cellulaire. Car ce sont bien des neurones, ou plutôt des « assemblées de neurones » qui vont se connecter ensemble pour former ces circuits cérébraux.



Où trouve-t-on ces fameux neurones ? À l'intérieur du cerveau, bien sûr. Eh bien allons voir ce qu'il y a à l'intérieur de ce cerveau !

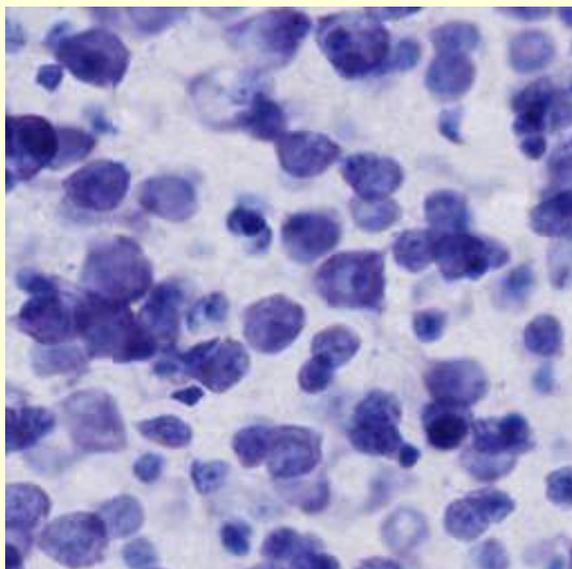
On remarque tout de suite des régions plus blanchâtres et d'autre plus roses-grises, et on va aller voir à quoi ça correspond.

zoom in sur sa région foncée, aussi appelée matière grise...

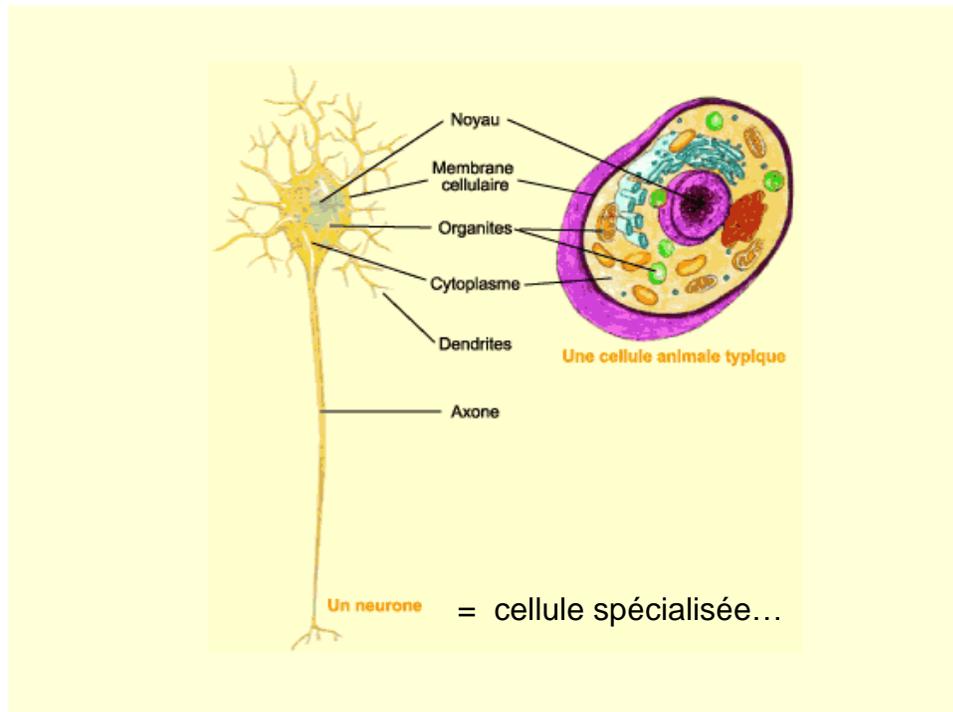


Si on fait un zoom in de plus en plus puissant avec un microscope...

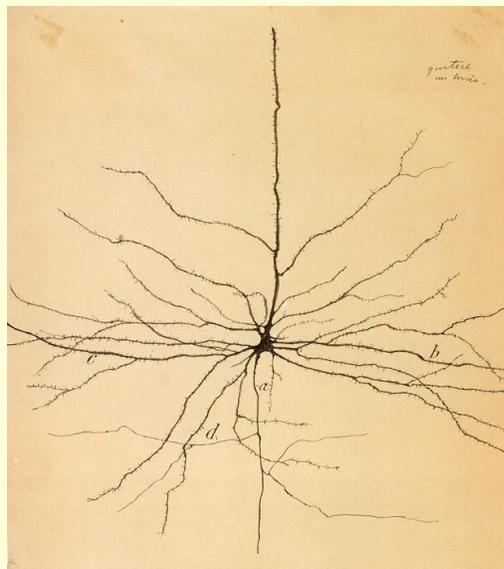
matière grise : corps cellulaires des cellules du cerveau, les neurones



On s'aperçoit que la matière grise est formée des corps cellulaires des neurones.

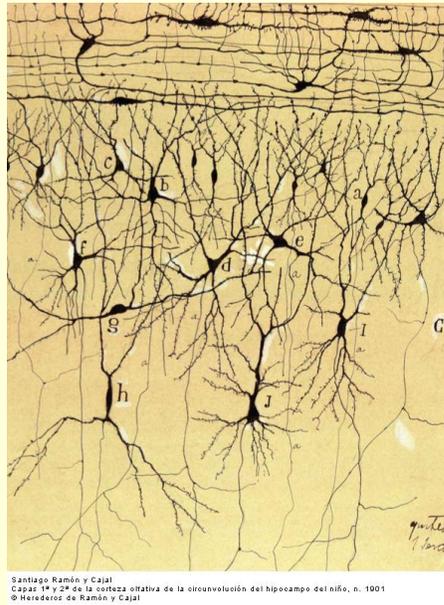


une des plus anciennes techniques de coloration, la coloration de Golgi, permettait déjà de voir ces prolongements au début du XXe siècle

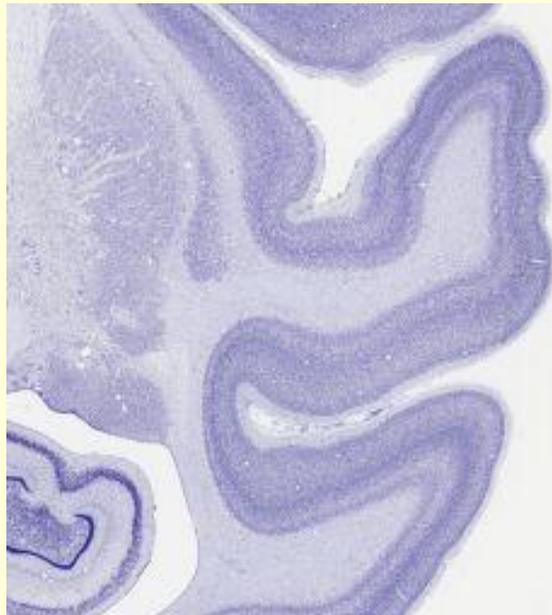
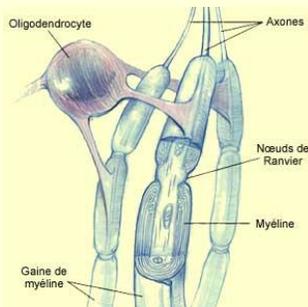


Neurone pyramidal du cortex moteur

permettait aussi d'observer que ces cellules nerveuses sont organisées en **couches** d'épaisseur variables selon les différentes régions du **cortex**



« Cortex olfactif de la région de l'hippocampe, 1901



Si l'on reprend cette coupe du cortex maintenant, les corps cellulaires des neurones se retrouvent donc dans la partie foncée, la matière grise,

alors que la matière blanche correspond à des régions où passent essentiellement les axones de ces neurones, qui sont recouverts d'une gaine grasseuse blanchâtre qu'on

appelle la gaine de myéline qui leur est fourni par certaines cellules gliales et qui accélère la conduction nerveuse.

\*

Si je répondais maintenant à mon tour à la question « Quelle image vous vient en tête quand vous pensez au mot cerveau ? », je dirais que le cerveau me fait spontanément penser à une forêt...



Parce qu'il est constitué d'une quantité astronomique de neurones...



85 milliards de neurones en fait (et autant de cellules gliales) dont les prolongements s'enchevêtrent comme les branches des arbres dans une forêt, et qui peuvent faire ainsi contact avec parfois plus de 10 000 autres neurones.

Et cette forêt de neurones, ce réseau de neurone (on va y revenir tantôt), il est unique pour chacun d'entre nous : il n'y pas deux cerveau pareils sur la Terre...



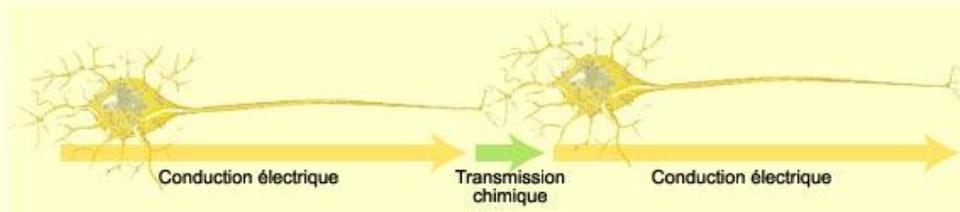
...même pas ceux de jumeaux identiques qui ont pourtant les mêmes gènes, parce que chacun va être soumis à des influences différentes de son environnement qui vont modeler de façon unique les connexions entre ses neurones.

Et c'est à cause de cette plasticité de notre cerveau que tous les êtres humains sont uniques et ont tous te toutes des personnalités différentes.

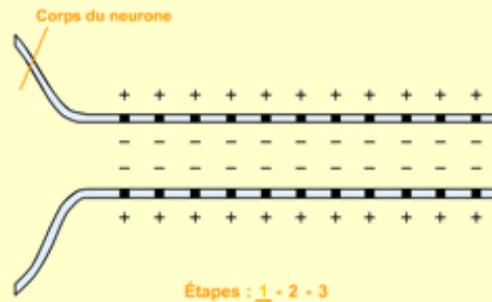
Et si on peut modifier ainsi notre cerveau par des apprentissages, c'est grâce aux propriétés particulières de nos cellules nerveuses, les neurones. Et on va voir ça à l'instant.

Car les neurones, on l'a vue, ont développé 2 spécialisations qui les distinguent des autres cellules de notre corps, l'axone et les dendrites,

... pour communiquer avec d'autres neurones



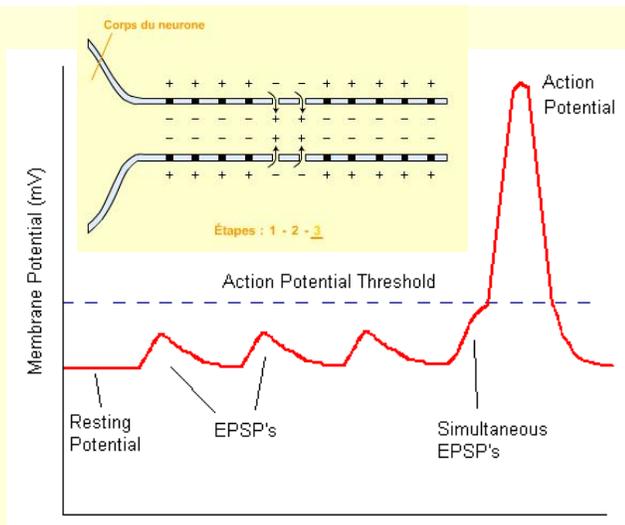
1. À l'état de repos, les canaux de la membrane du neurone créent une répartition inégale des charges : davantage de charges négatives à l'intérieur et plus de charges positives à l'extérieur.



conduction **électrique**, ou plutôt **électrochimique**

a lieu le long de l'axone

consiste en une **dépolarisation locale** de la membrane qui se transmet de proche en proche et qui se régénère sans perte d'amplitude



le « **potentiel d'action** », que l'on visualise ainsi sur un oscilloscope, se déclenche de manière « **tout ou rien** » quand l'excitation atteint un certain **seuil**

neurone = véritable **intégrateur** en temps réel de toutes les excitations et inhibitions reçues

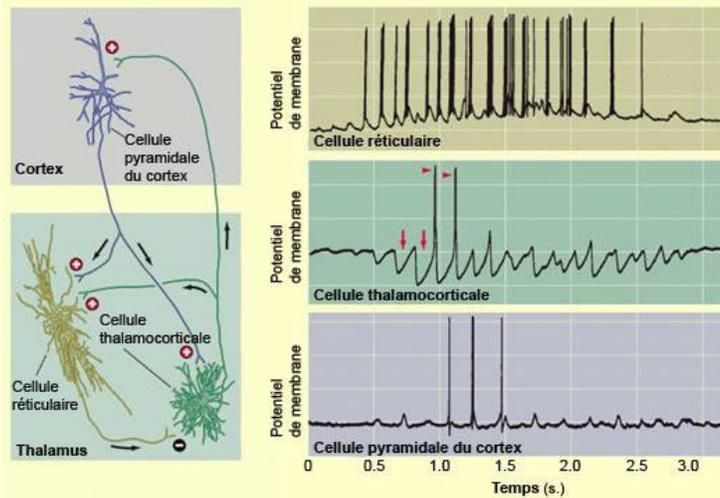
si plus d'excitations : possibilité de sommation pour régénérer des influx nerveux dans l'axone

si plus d'inhibitions : peut empêcher la transmission

A) le neurone reçoit un potentiel excitateur qui n'est pas assez fort pour déclencher un nouvel influx nerveux;

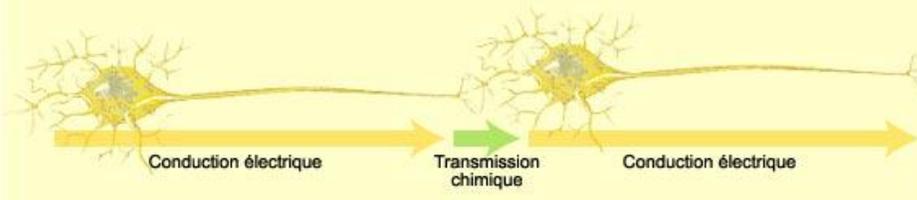


Étapes : A - B - C



grâce à leurs prolongements, ces différents types de neurones vont former de nombreuses synapses entre eux

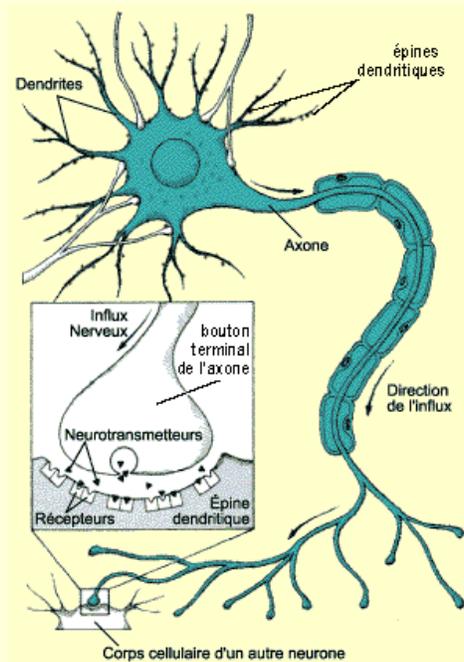
création de **réseaux très interconnectés** où l'activité d'un neurone peut influencer l'activité de plusieurs autres

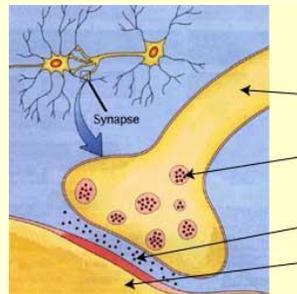
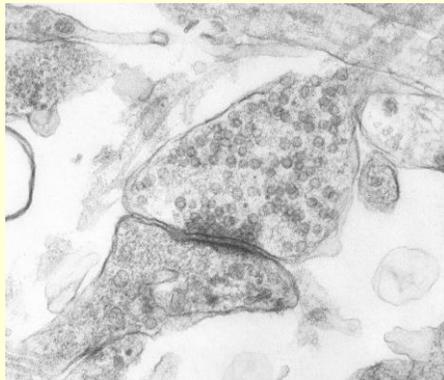
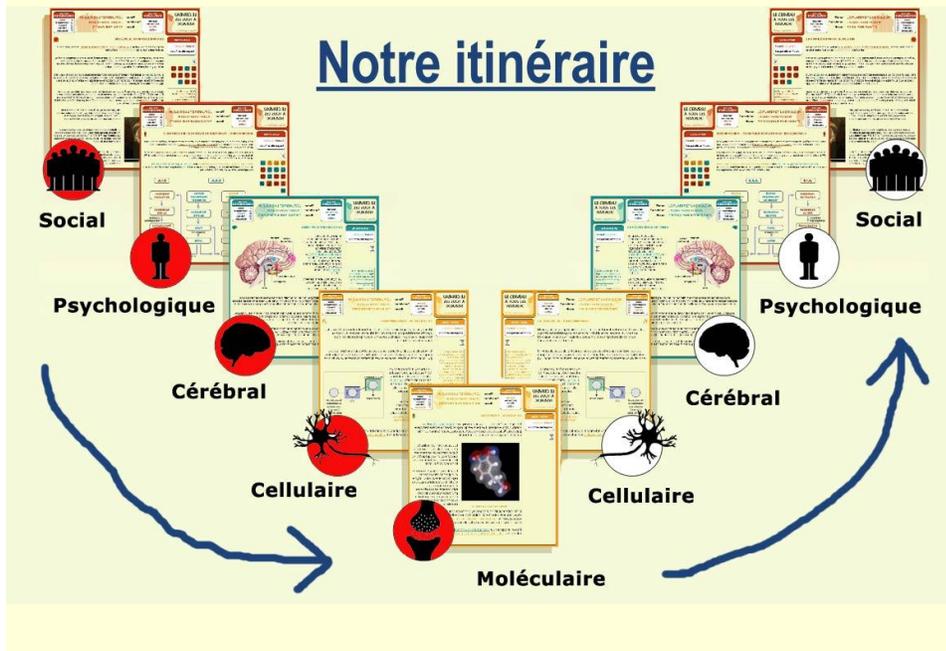


la transmission **chimique**

survient entre le bout de l'axone du premier neurone et les dendrites ou le corps cellulaire du second neurone,

que l'on voit agrandi ici et qui forme ce qu'on appelle une **synapse**





synapse au microscope électronique

juxtaposition sans contact d'un axone et d'un dendrite  
où des molécules chimiques vont être relâchées du premier vers le second  
pour assurer le passage de l'influx nerveux.

molécules chimiques =  
**neurotransmetteurs**  
(ici le glutamate)

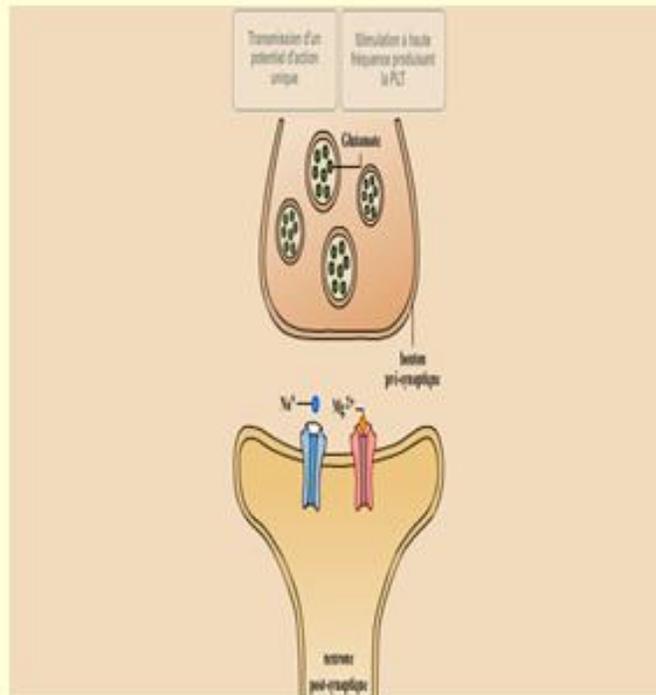
stockés dans des  
vésicules

quand l'influx nerveux  
électrique arrive,  
provoque la libération du  
glutamate dans la fente  
synaptique

ce glutamate va se fixer  
sur d'autres molécules  
qu'on appelle les  
récepteurs

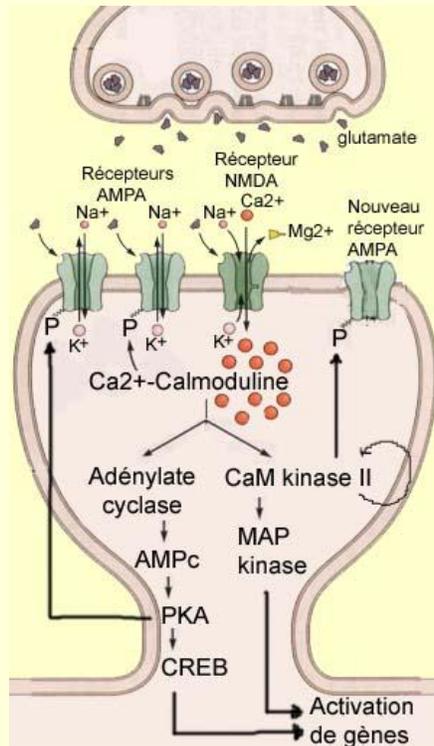
qui vont alors laisser  
entrer des ions chargés

qui vont modifier le  
potentiel électrique de la  
membrane



Et ces récepteurs sont très importants d'un point de vue clinique puisque c'est sur eux que vont agir la plupart de médicaments, et aussi les drogues...

Voici un schéma un peu plus complexe...

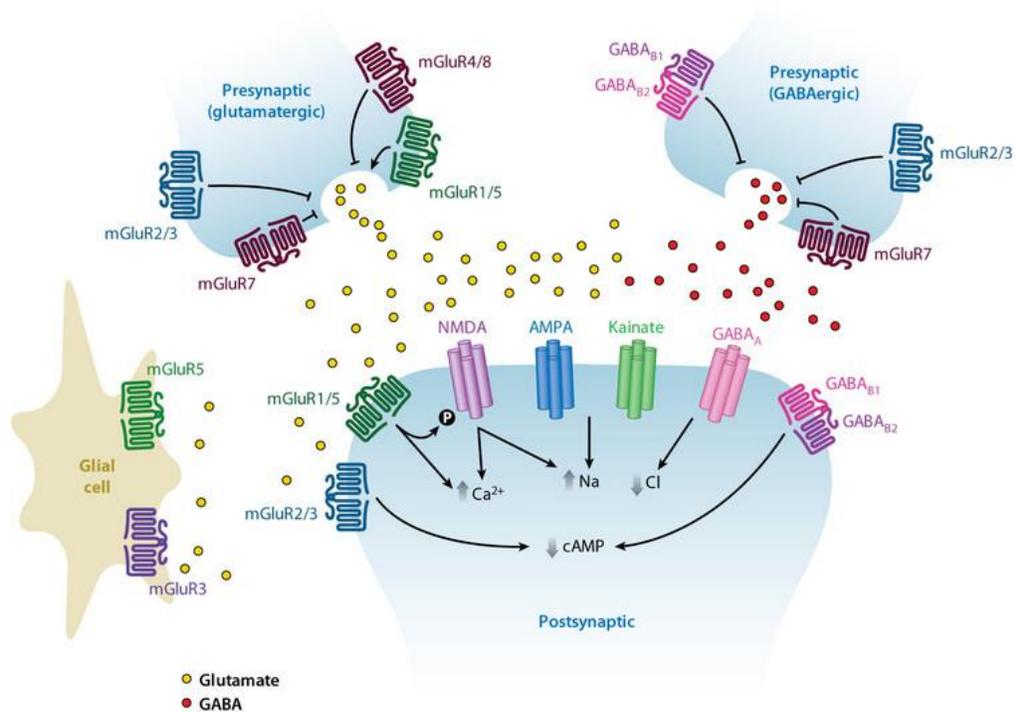


Cette plasticité est rendue possible grâce à des mécanismes cellulaires comme la potentialisation à long terme = cascades de réactions biochimiques impliquant des récepteur particulier perméables au calcium.

Calcium qui va ensuite activer d'autres enzymes, et même activer de gènes dans le noyau des neurones.

Résultat : des récepteurs plus sensibles ou plus nombreux au niveau de la synapse, ce qui va faciliter le passage de l'influx nerveux.

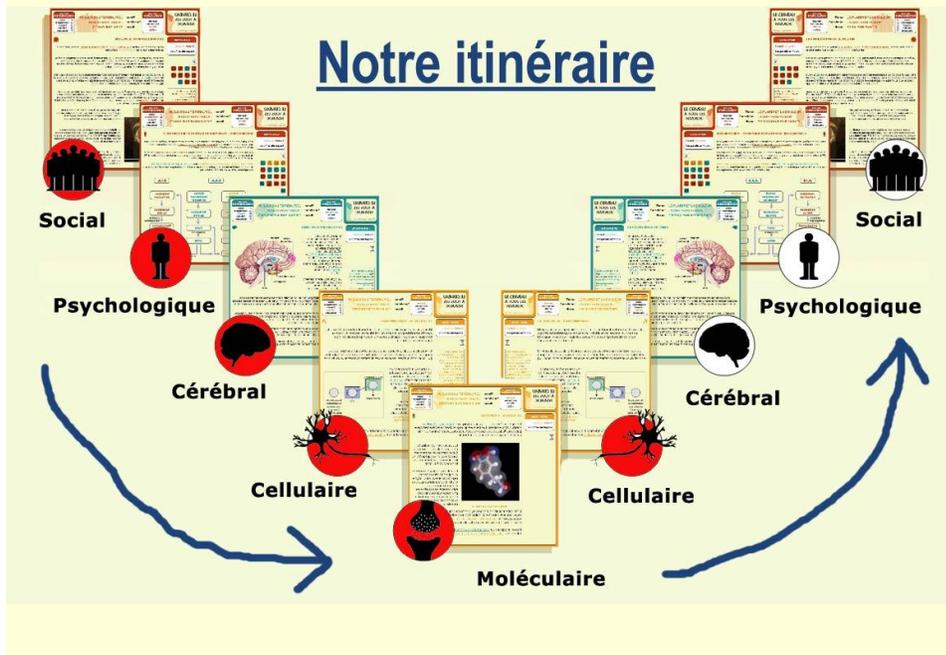
C'est un peu ce qui se passe quand on apprend quelque chose de nouveau.



 Niswender CM, Conn PJ. 2010. Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol. 50:295–322

Ici, c'est seulement pour montrer que pour chaque neurotransmetteur, il y a de nombreux sous-types de récepteur qui peuvent produire des effets différents sur le neurone quand le neurotransmetteur s'y fixe. Donc ce sont des mécanismes d'une grande complexité qui peuvent être modulés de différentes façons, par différentes molécules.

\*



On va maintenant revenir au niveau cellulaire, celui du neurone, ou plutôt des circuits de neurones...

Réseau de neurones sélectionné

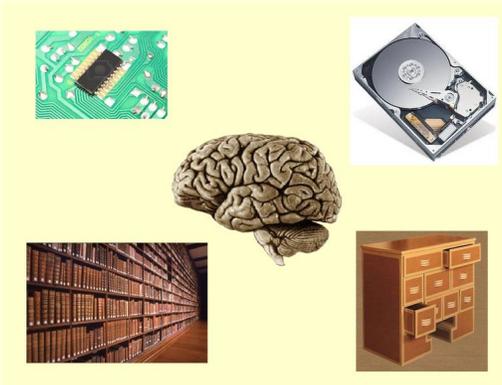
La structure de ce réseau est plastique, **elle peut se modifier elle-même;**

de nouvelles associations entre certains neurones peuvent ainsi se former, et ce, à tout moment durant toute notre vie;

c'est ce qu'on appelle la **plasticité neuronale.**

En ce moment par exemple, votre cerveau est en train de modifier sa structure...

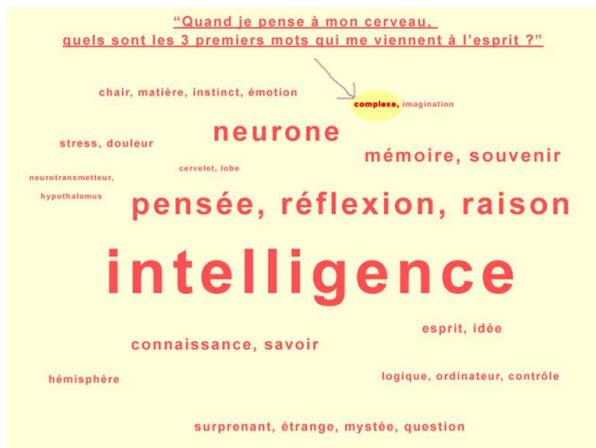
Notre cerveau n'est donc jamais exactement le même jour après jour...



Notre cerveau n'est donc jamais exactement le même jour après jour...

La mémoire humaine est une **reconstruction**.

On vient de voir au niveau moléculaire la grande complexité du cerveau avec ses neurotransmetteurs et ses sous-types de récepteurs...

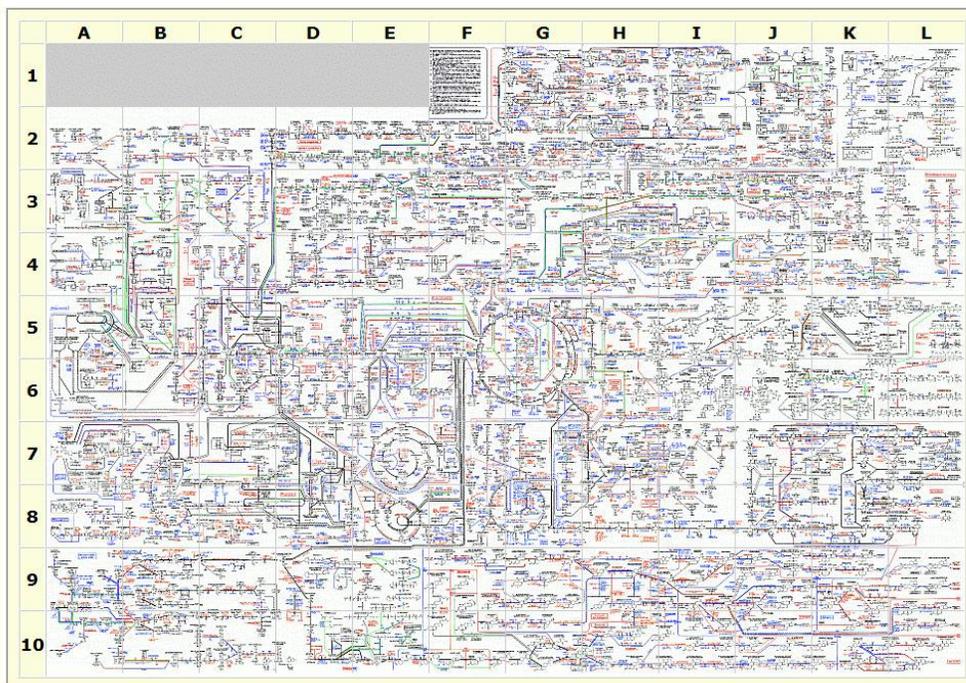


Mais le moins qu'on puisse dire, c'est que la complexité du cerveau est généralement grandement sous-estimée... du moins si l'on se fie aux mots qui vous viennent spontanément à l'esprit quand vous pensez au mot cerveau.

On pense à surprenant, étrange, mystère, mais moins à la complexité. Et c'est justement à cause de cette complexité, dont on vient de parler à propos de la synapse, que le cerveau nous paraît surprenant, étrange ou mystérieux.

### Réseau complexe d'une cellule = cascades de réactions biochimiques

Biochemical Pathways - Metabolic Pathways

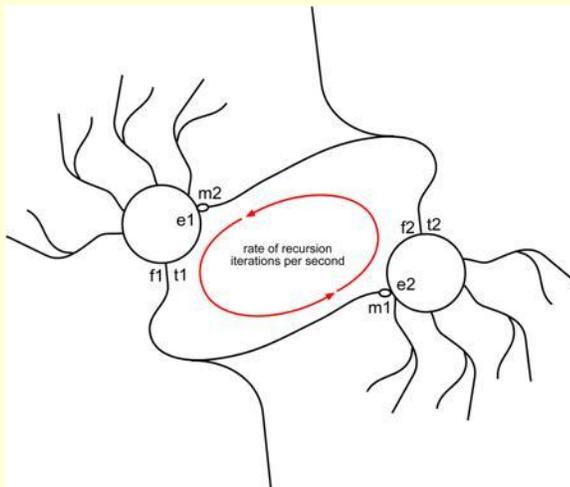


Mais qu'est-ce que la complexité ? Pour rappeler un peu le sens de ce mot, voici une carte qui représente les réactions biochimiques connues dans chacune de vos cellules... Voilà des relations complexes, de la complexité... avec d'innombrables boucles intriquées les unes dans les autres...

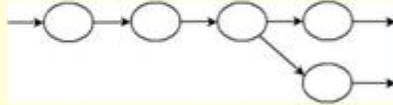
C'est donc très difficile d'appréhender avec notre langage qui se déploie linéairement, les mots les uns à la suite des autres, un réseau rempli de boucles de rétroaction comme ici ou comme dans les circuits de notre cerveau (on y reviendra dans un instant).

Et comme les neurones sont des cellules, ils ont toute cette complexité interne au niveau moléculaire. Mais ils ont aussi une très grande complexité dans leur relation est leur connexion les uns avec les autres.

Et notre cerveau doit sa complexité, entre autres, à un pattern particulier de connexion qui est omniprésent dans toutes les structures cérébrales, c'est-à-dire les connexions réciproques.

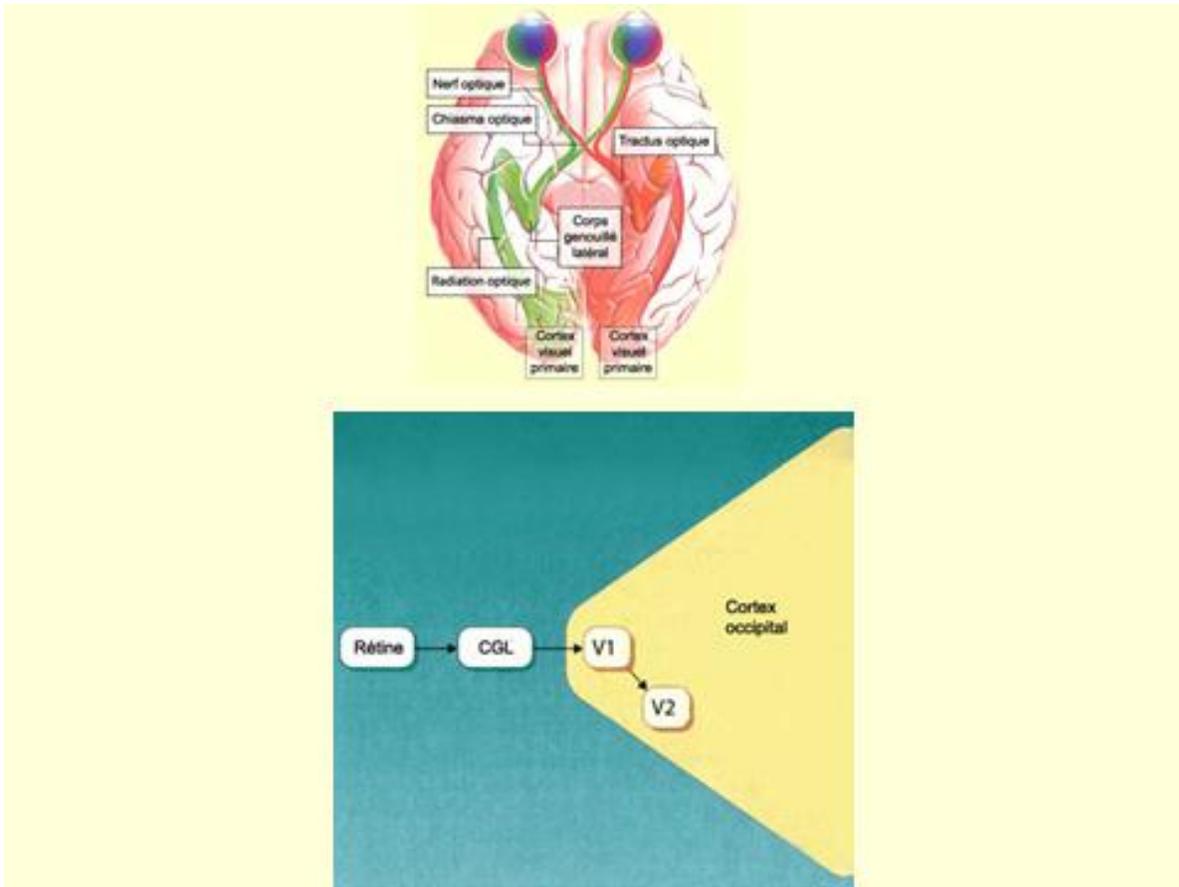


Autrement dit, le fait qu'une région A qui connecte à une région B reçoit presque tout le temps en retour une connexion de la région B.

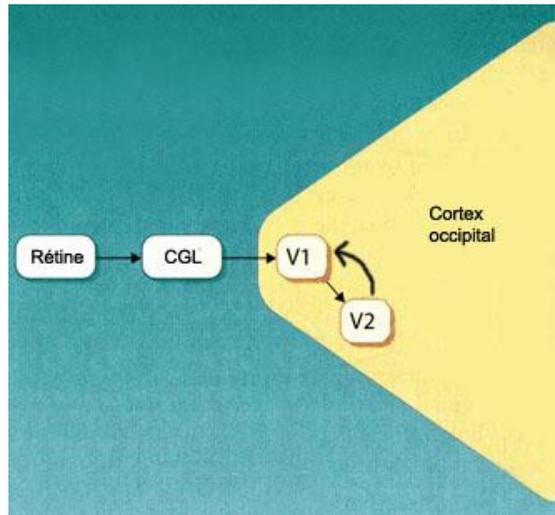


Il faut dire que depuis Newton, on est habitué de raisonner par défaut pour ainsi dire selon cette logique causale linéaire : A a un effet sur B, qui ensuite influence C, qui cause D, etc. Un effet peut avoir plusieurs causes, comme l'avant dernier ici, mais ça ne revient pas en arrière.

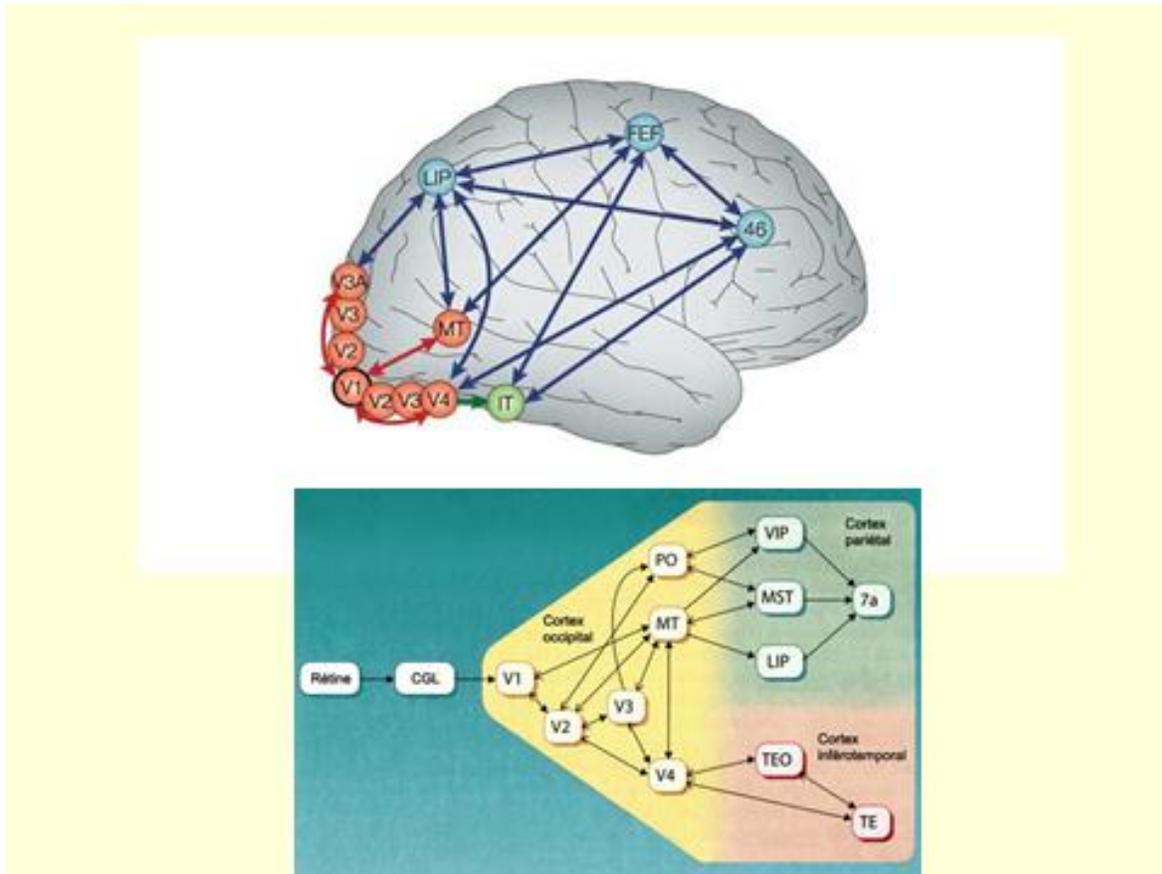
Et dans l'histoire de la découverte des voies cérébrales, on a d'abord découvert des voies qui allaient d'une structure, vers une autre, puis vers une autre... Comme ici dans le cas du système visuel :



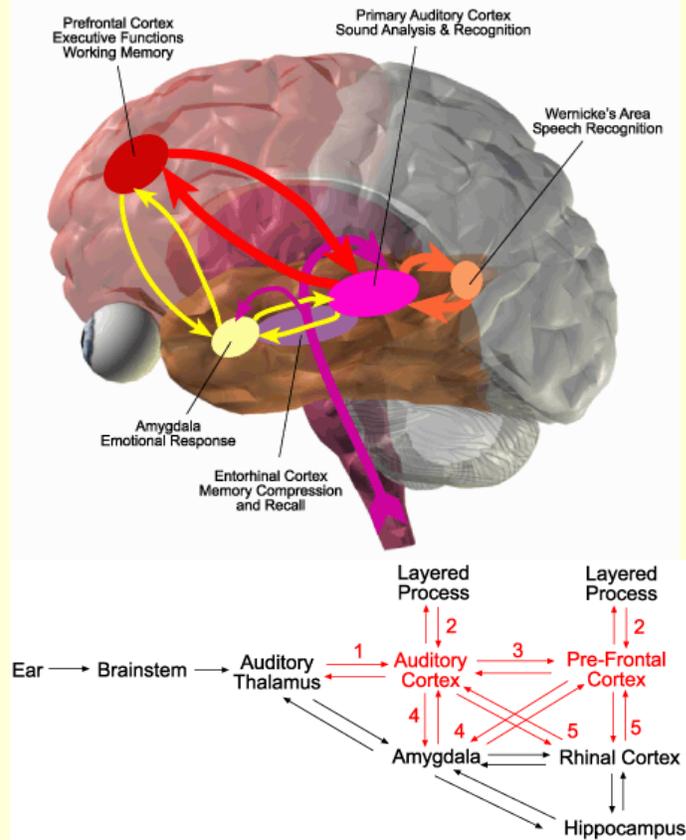
Puis on a découvert des connexions qui revenaient en arrière.



Au début, on a trouvé ça étrange. Et on s'est progressivement rendu compte que ce n'était pas des exceptions, mais plutôt la règle dans notre cerveau

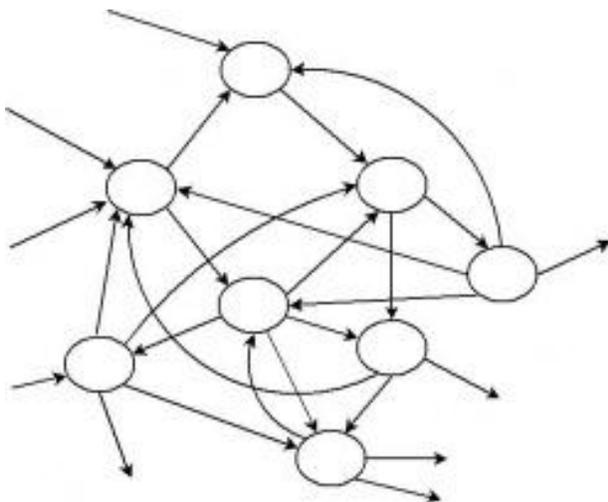


Carte simplifiée des aires visuelles : pas beaucoup de flèches qui vont dans un seul sens...



Ni dans le système auditif...

Et donc ce qu'on a découvert progressivement au cours des dernières décennies, c'est que la causalité dans le cerveau n'est non pas linéaire, mais circulaire,

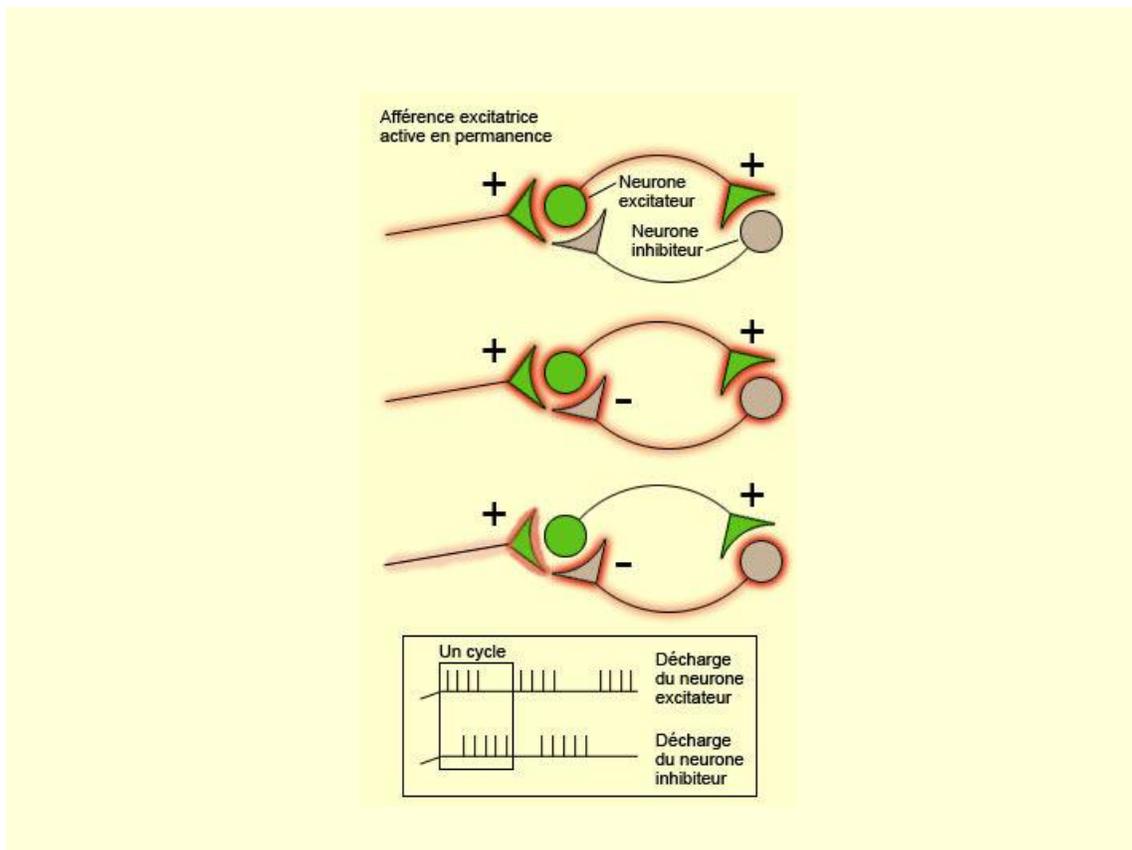


c'est-à-dire une causalité qui se boucle sur elle-même.

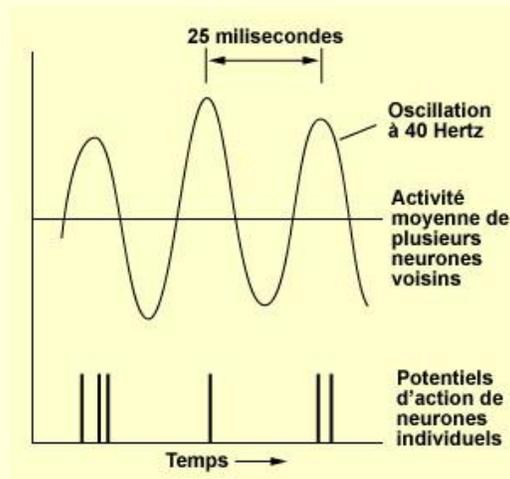
Et dès que l'on a ce type de connexion réciproque on sort immédiatement de la causalité linéaire pour entrer dans le monde de la causalité circulaire, ce qu'on appelle aussi les systèmes dynamiques.

Dynamiques parce qu'il n'y a pas un « temps 0 » dans le système où il y aurait un état initial, puis un « temps 1 » qui se situerait après la relation causale linéaire. Plutôt, à chaque instant, chaque neurone envoie ou non un potentiel d'action et est influencé dans cette « décision » par sa propre activité l'instant d'avant.

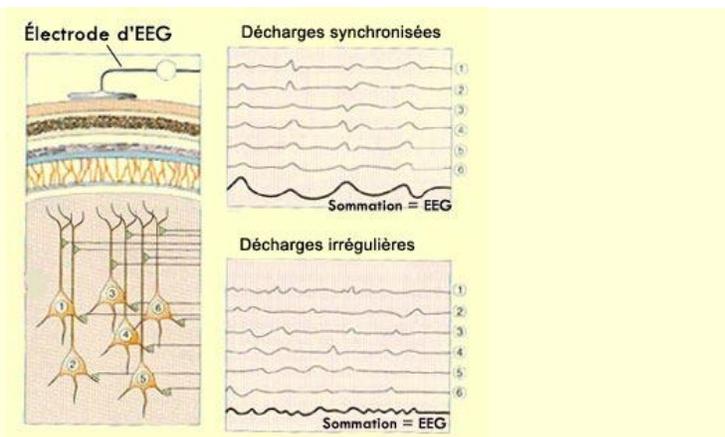
Et donc penser le cerveau selon notre gros bon sens de causalité linéaire, c'est tout simplement passer à côté de sa nature essentiellement dynamique.



Cela permet un phénomène très répandu en biologie : la rétroaction négative, i.e. le fait que le signal de B qui est renvoyé vers A ne va pas stimuler encore davantage A mais bien réduire son activité.



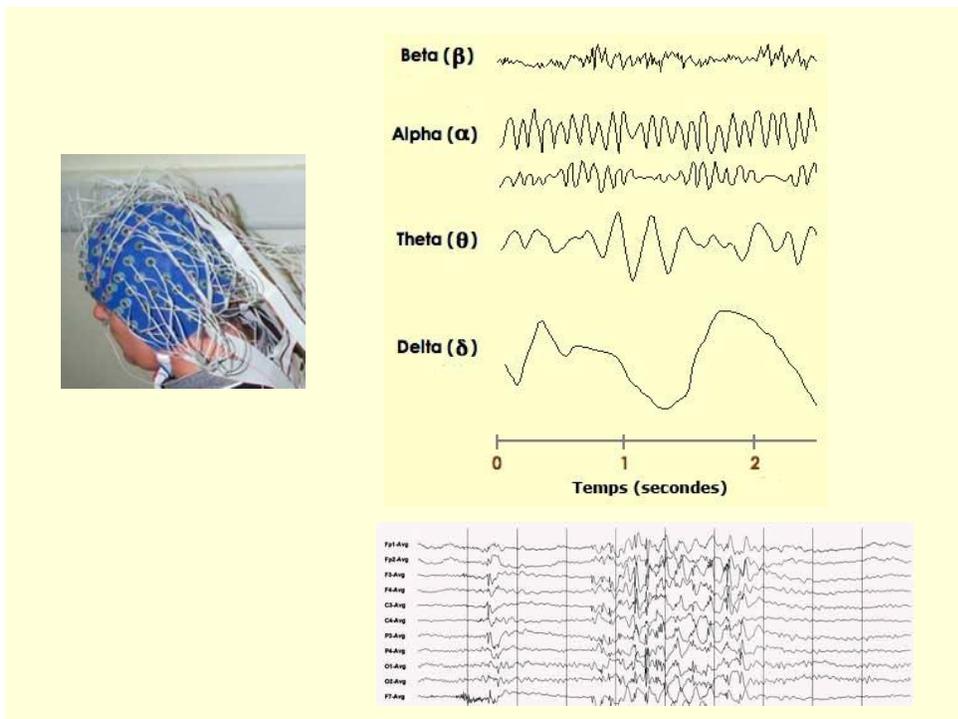
Et cela donne très souvent naissance à des rythmes d'oscillation dans le cerveau...



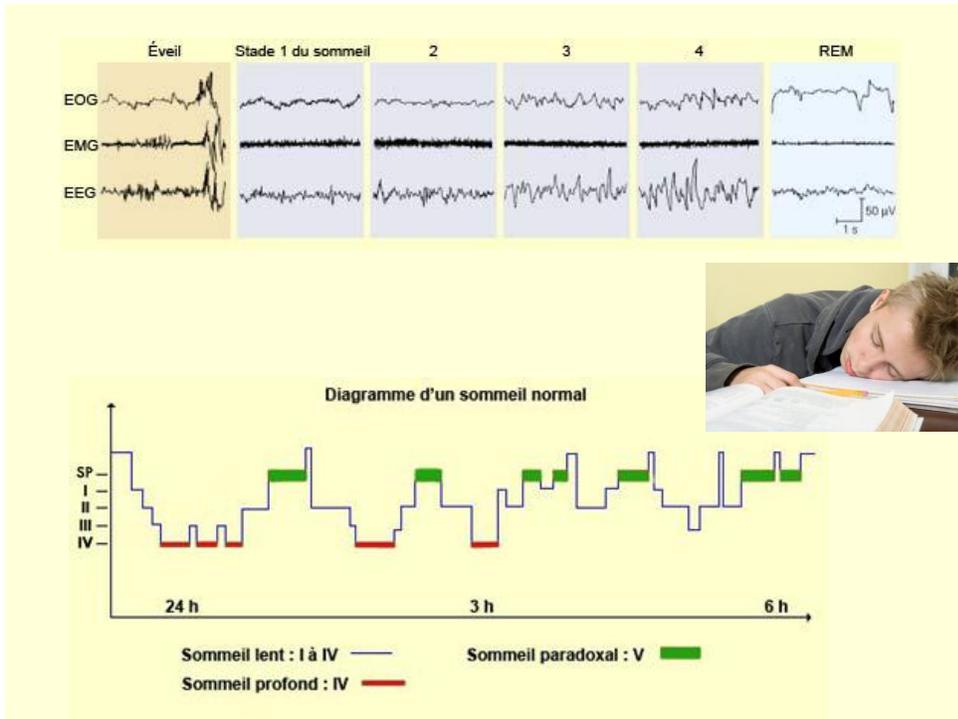
c'est la **fréquence** des potentiels d'action, donc dans la dimension temporelle, qui est la « langue officielle », parlée dans le cerveau

c'est cette activité coordonnée dans le temps d'un grand nombre de ces neurones qu'on peut recueillir avec l'électroencéphalogramme (**EEG**) qui permet de suivre les changements rapides dans l'activité de grands ensembles neuronaux

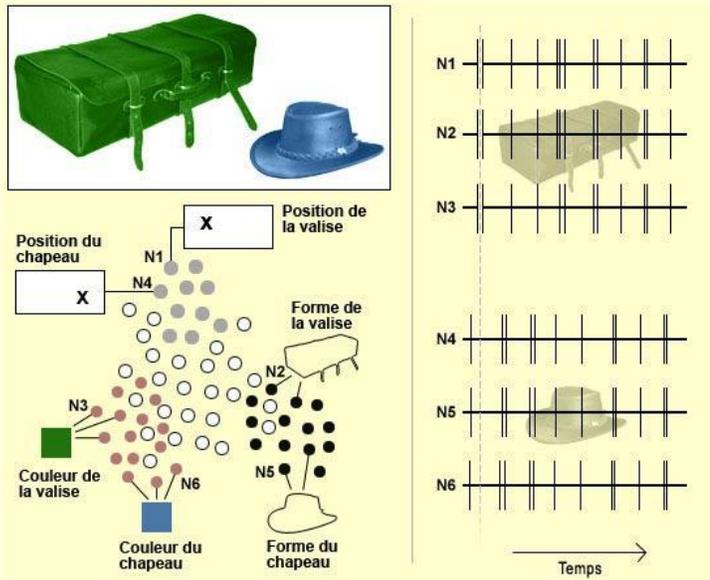
...les fameuses ondes cérébrales détectées par l'EEG.



...et l'on a donné des noms à ces rythmes en fonction de leur fréquence.



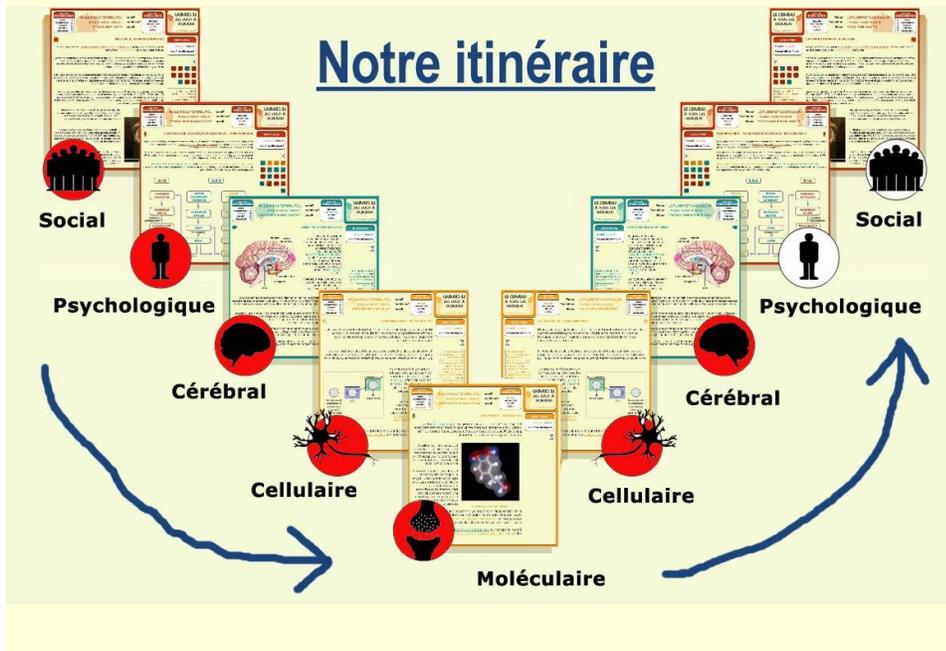
Ces rythmes sont très importants. Ce sont eux qui vous font perdre conscience la nuit et vous entraîne dans un sommeil profond et réparateur.



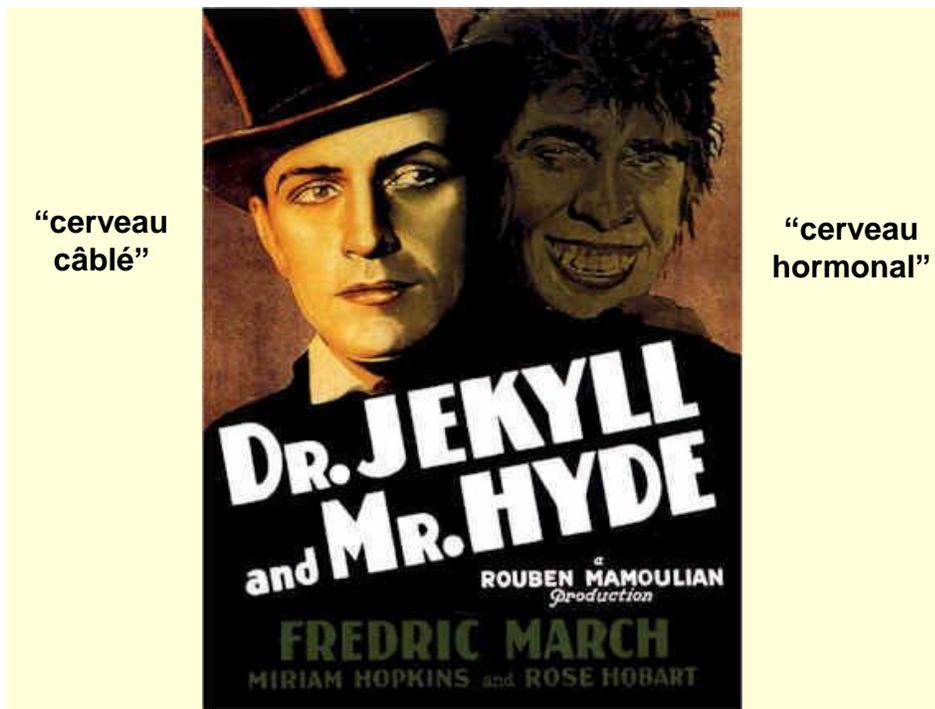
Ce sont aussi eux qui facilitent la synchronisation de l'activité de de populations entières de neurones, un phénomène qui semble utilisé par le cerveau pour « attacher » ensemble les différentes propriétés d'un même objet perçu,

alors que ces propriétés (couleur, forme, mouvement...) sont traitées dans des régions différentes du cerveau.

\*



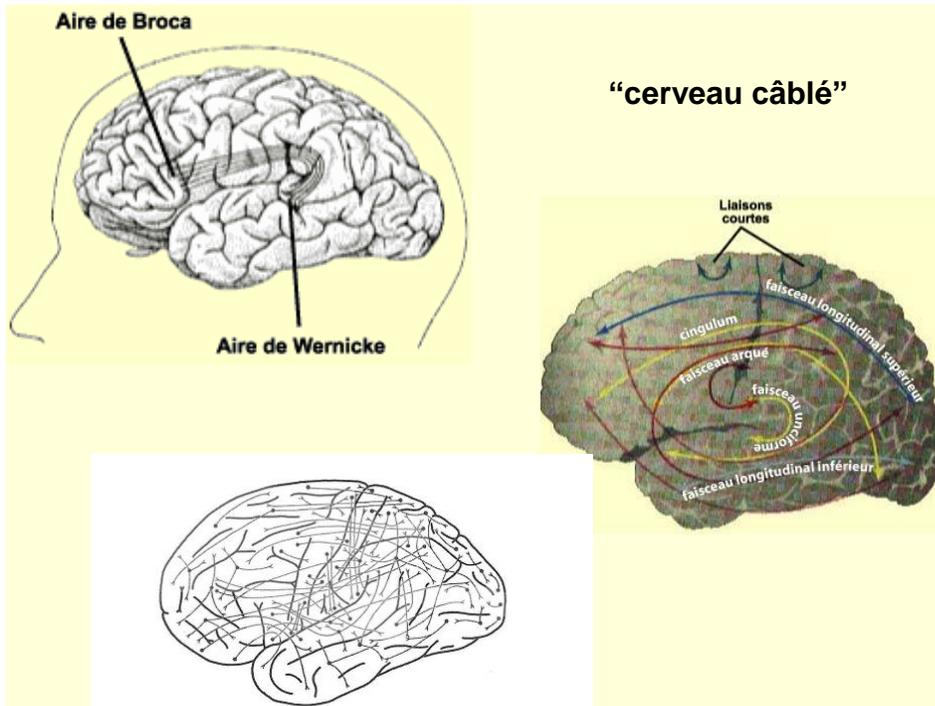
Si l'on résume ce que l'on a vu jusqu'ici, on peut dire que le cerveau a une double personnalité, un peu comme docteur Jekyll avec sa double personnalité de M. Hyde.



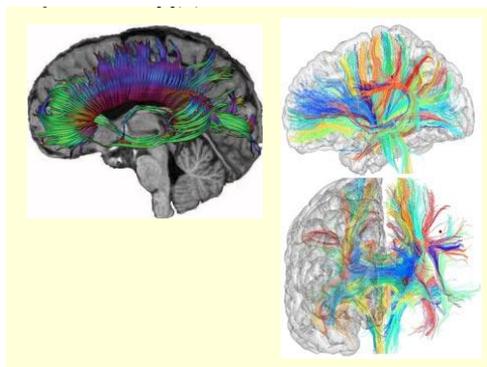
On peut presque dire, en effet, que le cerveau comprend 2 systèmes imbriqués l'un dans l'autre. Et cela va contribuer à augmenter énormément sa complexité.

On utilise parfois les expressions “cerveau câblé” (fait de circuits de neurones) et “cerveau hormonal” (constitué d’innombrables molécules, neurotransmetteurs, récepteurs, etc.) pour décrire cette double personnalité du cerveau.

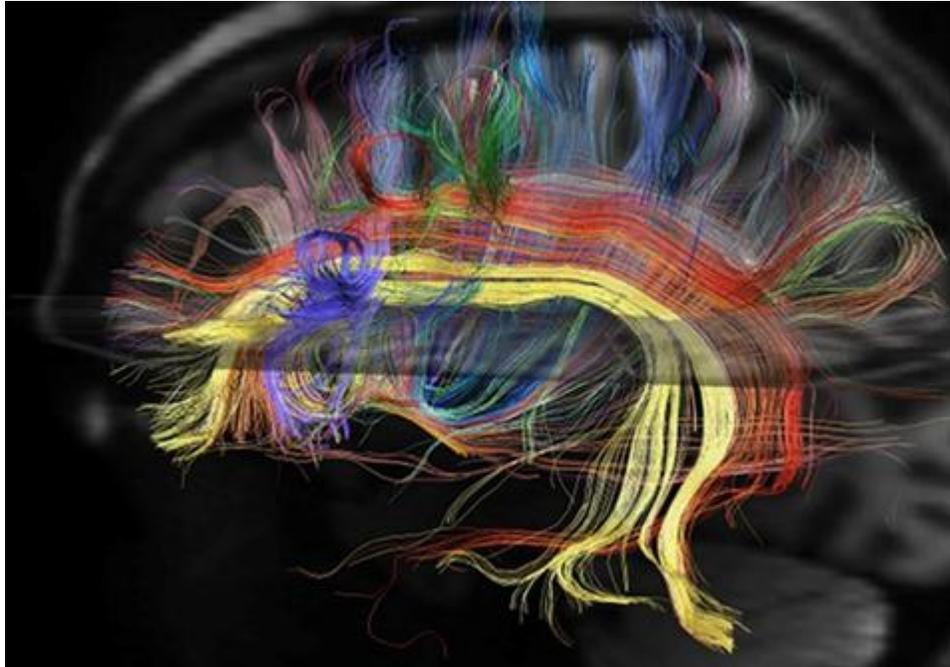
Prenons d’abord le “cerveau câblé”. Ce qu’on entend par cette expression...



Durant le dernier siècle, on a découvert progressivement des grandes voies nerveuses qui relient différentes parties du cerveau.

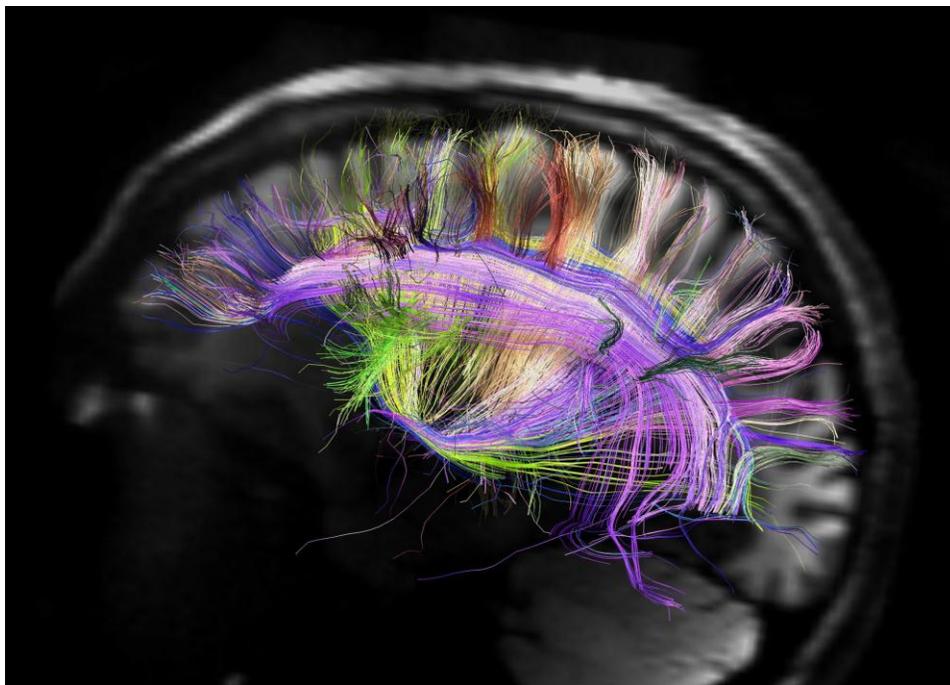


Un câblage que des techniques modernes comme l’IRM de diffusion permettent de visualiser très joliment aujourd’hui.



Courtesy of V.J. Wedeen and L.L. Wald, Martinos Center, Harvard Medical School, Human Connectome Project

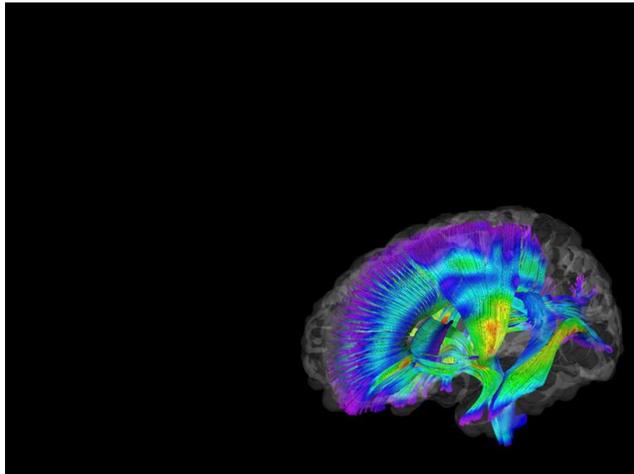
Ou encore, avec des images encore plus récentes comme celle-ci, où l'on voit en jaune le faisceau nerveux reliant l'aire de Wernicke à l'aire de Broca.



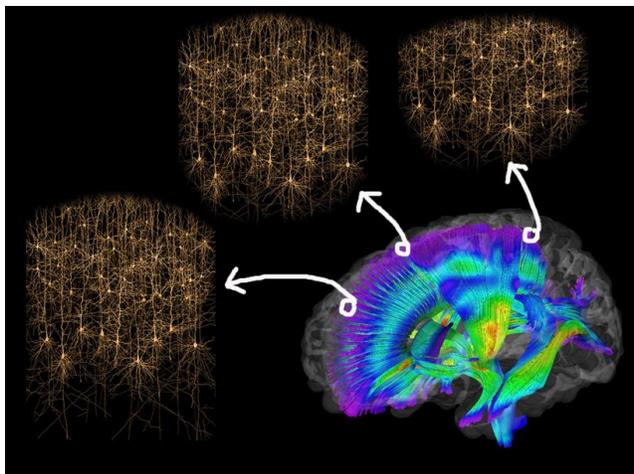
Or, ces grandes voies sont la partie la plus apparente de l'organisation en réseau de notre cerveau. Pas un réseau où chaque neurone communique avec tous les 85

milliards d'autres neurones, ce qui, on l'a calculé, ferait un cerveau physiquement bien trop gros pour tenir dans notre boîte crânienne.

Mais un type de réseau particulier : les neurones ont tendance à établir des connexions avec deux types bien distincts de ses semblables : avec ses nombreux voisins immédiats, mais aussi avec d'autres neurones très éloignés.



Il y a donc ces grandes voies, dont la technique d'IRM de diffusion permet d'en obtenir des images spectaculaires.

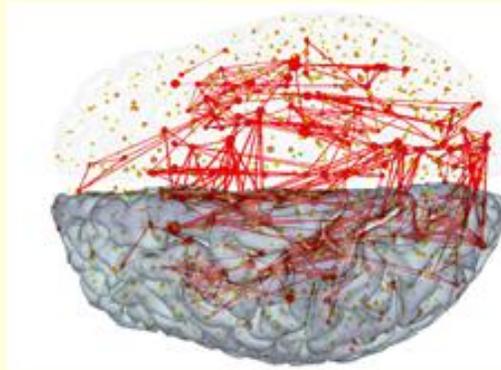
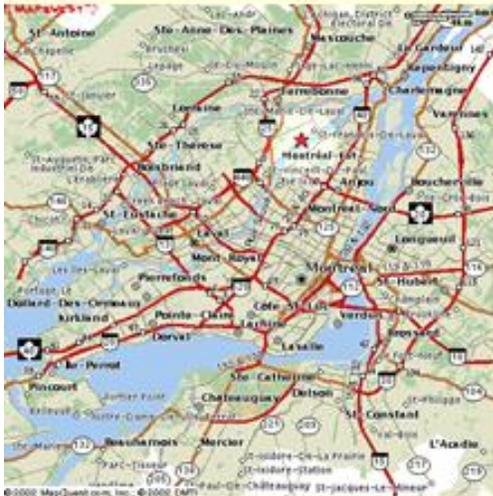


Mais, par ailleurs, comme on l'a dit, la plupart des neurones font des connexions surtout à leurs voisins, sur de petites distances, formant ainsi des réseaux locaux pouvant être mis assez rapidement en relation avec d'autres réseaux locaux éloignés par l'entremise des « autoroutes », des axones longs d'autres neurones.

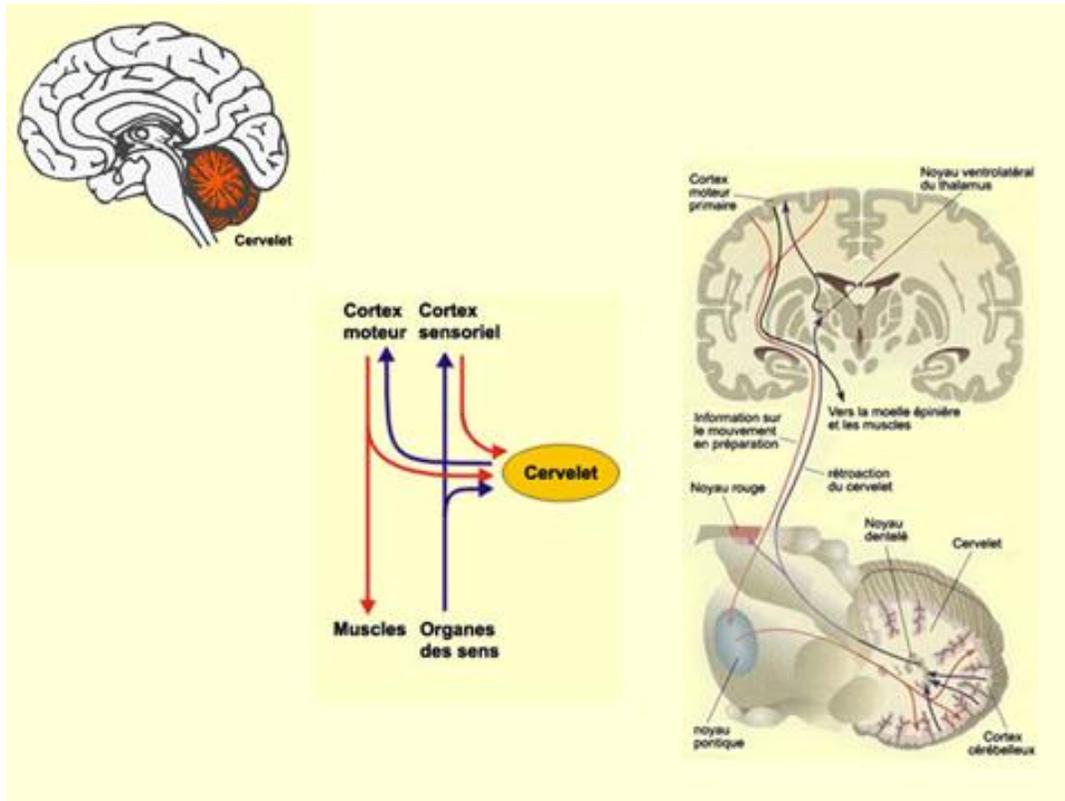
Ce pattern de connexion particulier a reçu l'appellation anglaise du « small world » qui permettrait à chaque personne d'être tout au plus à environ six degrés de séparation de n'importe qui sur la Terre par l'intermédiaire d'un ami qui connaît un ami qui connaît...

etc. Donc la métaphore ici, c'est qu'on connaît surtout des gens qui habitent près de chez nous, mais qu'on connaît tous quelques personnes qui habitent très loin, et par leur entremise on peut avoir accès à des réseaux locaux très éloignés.

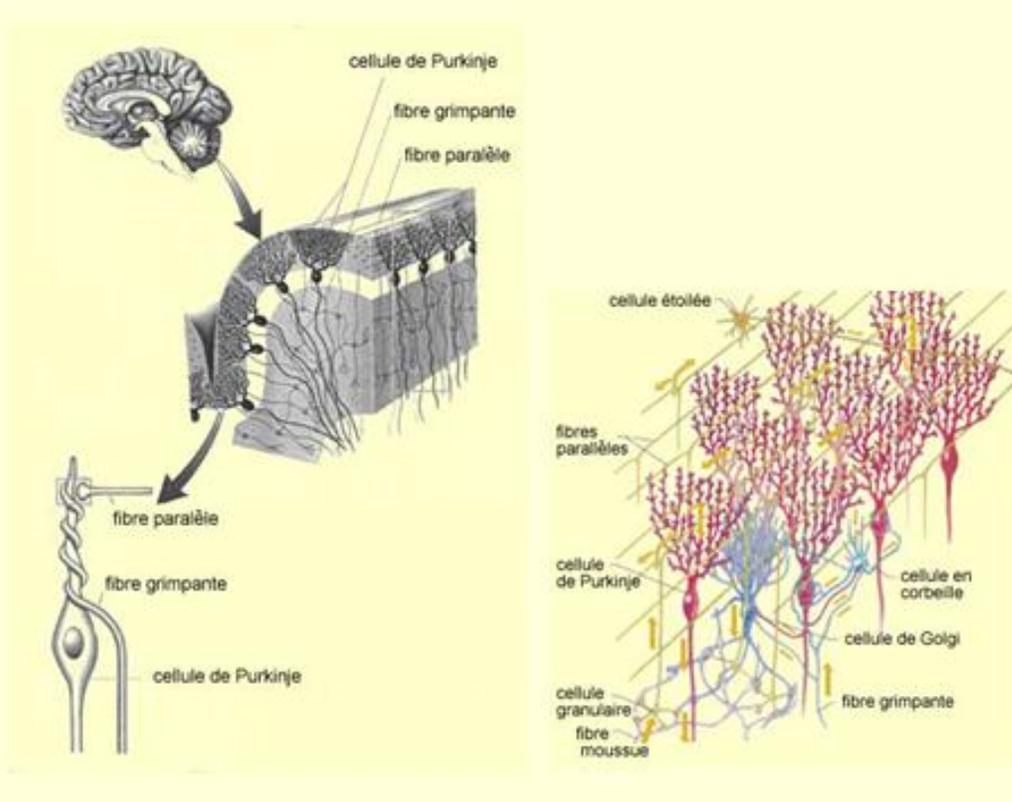
Ou alors c'est un peu comme on prend une autoroute pour changer de ville, puis des petites rues locales pour arriver à destination.



Si on prend le cervelet par exemple :



On a tous ces axones qui arrivent d'autres structures plus ou moins éloignées comme le noyau pontique, et tous ces axones qui sortent du cervelet pour rejoindre d'autres structures, notamment le cortex moteur.



Mais vous avez aussi toute une circuiterie locale, très complexe et très dense dans le cas du cervelet, avec des neurones aux morphologies très différentes qui font des connexions avec leurs voisins.

\*

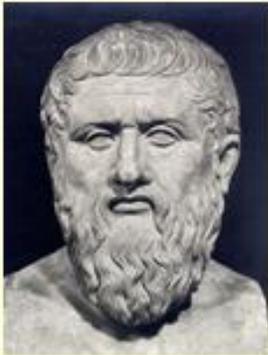
On peut aussi se demander si le câblage du cerveau est rigide ou souple.

## Cerveau « câblé », mais câblé...

**rigide**  
(position « innéiste »)

ou

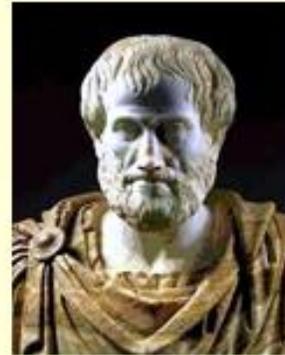
**souple**  
(position « empiriste »)



Platon



Le temple d'Apollon de la cité antique de Delphes



Aristote

C'est un débat qui remonte à fort longtemps...

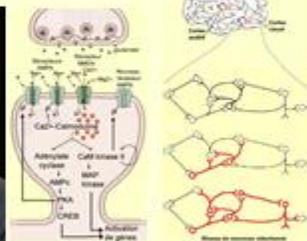
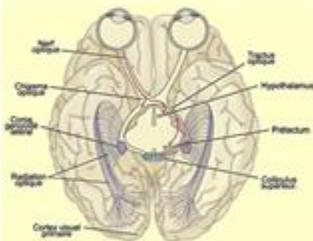
## Cerveau « câblé », mais câblé...

rigide

**et**

souple

Jean-Pierre Changeux

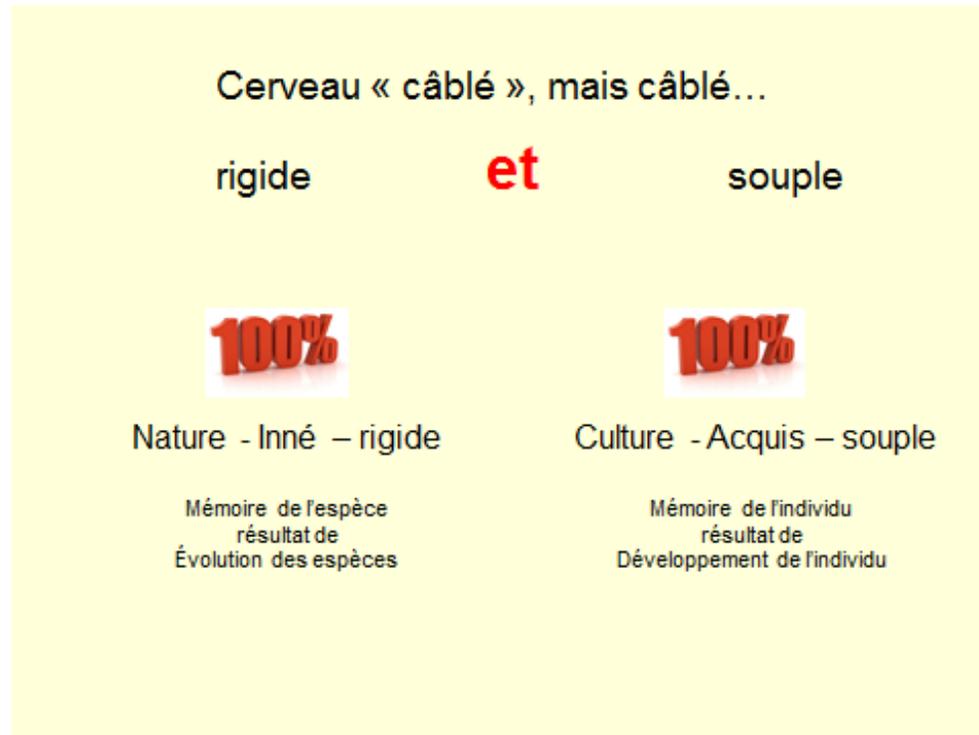


« une grande part de l'organisation du cerveau est innée : les axones venant de la rétine vont toujours au corps genouillé latéral, etc... »

**Début du  
XXI<sup>e</sup> siècle**

« ... mais des processus de plasticité génèrent de la variabilité à plusieurs niveaux (molécule, réseaux neurones) »

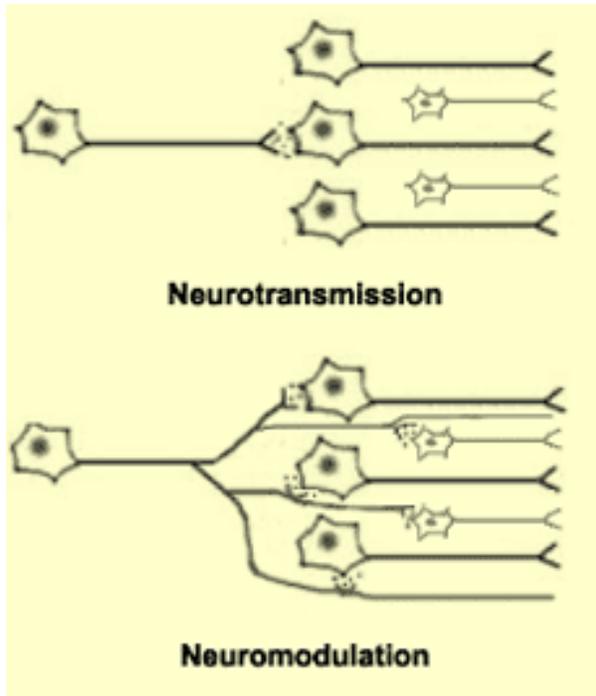
Mais l'on sait aujourd'hui que ce n'est pas « l'un ou l'autre », mais plutôt « l'un ET l'autre ».



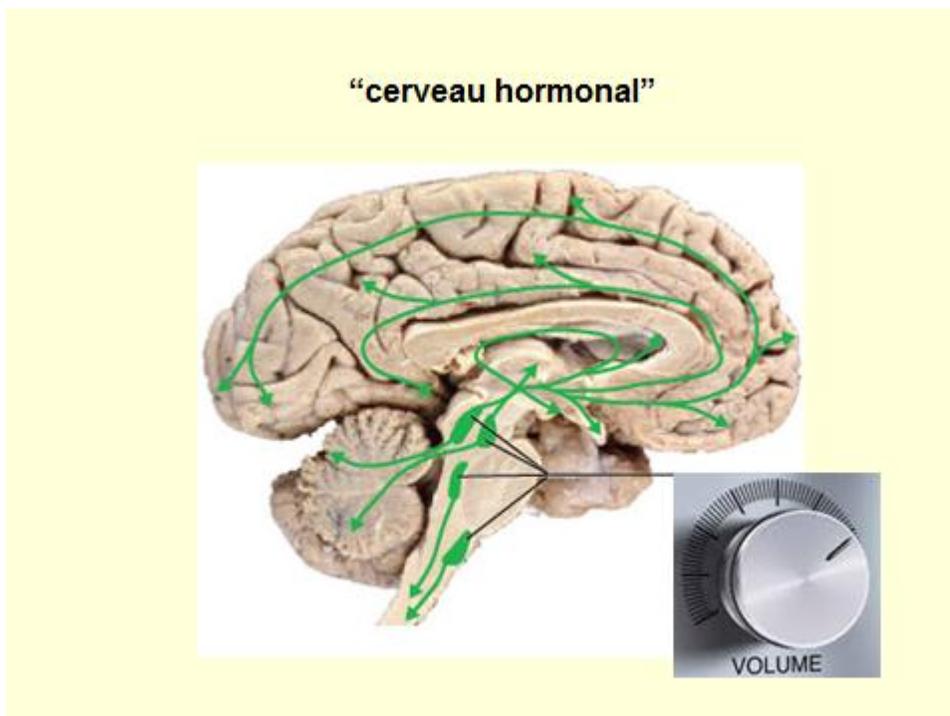
Et donc à part quelques maladies génétiques causées par la mutation d'un ou de quelques gènes, tous nos comportements sont toujours à la fois innés et acquis. Le moindre apprentissage à long terme nécessitant par exemple l'expression de gènes dont les protéines vont renforcer des voies synaptiques...

\*

L'autre personnalité, le Mr. Hyde, c'est le "cerveau hormonal".

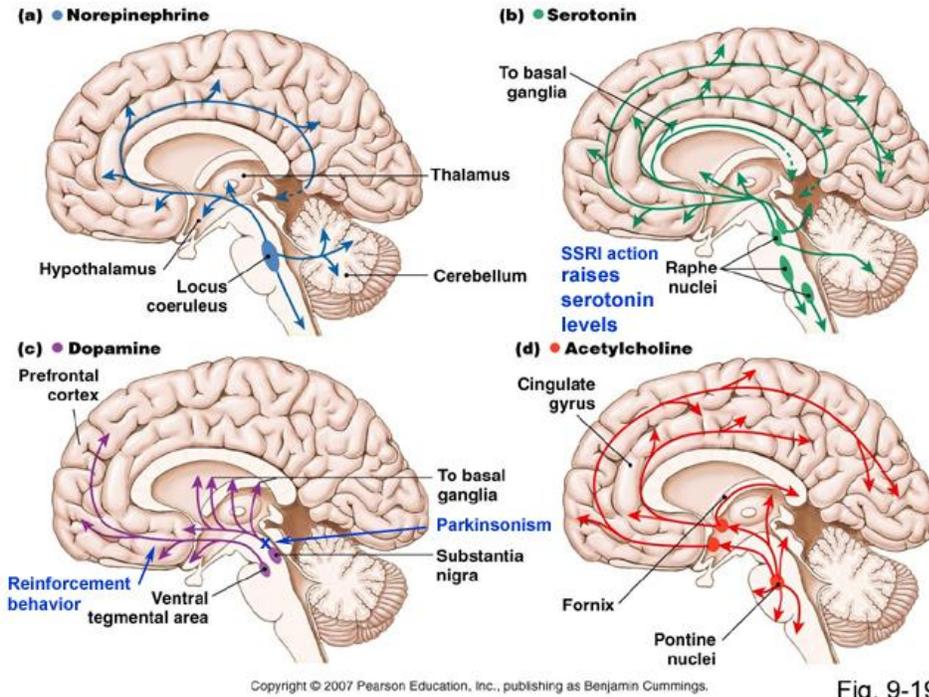


C'est qu'en plus de la communication précise d'un neurone à l'autre, d'une zone cérébrale précise à une autre, qu'on vient de décrire, il y a d'autres neurones qui font ce qu'on peut appeler de la neuromodulation, c'est-à-dire qu'un neurone va influencer des milliers de neurones à la fois...



... répartis sur de vastes régions du cerveau.

C'est un peu comme le volume d'un appareil pour écouter de la musique : le volume ne change pas la nature du signal, il ne fait qu'amplifier ou diminuer son amplitude, la force du signal...

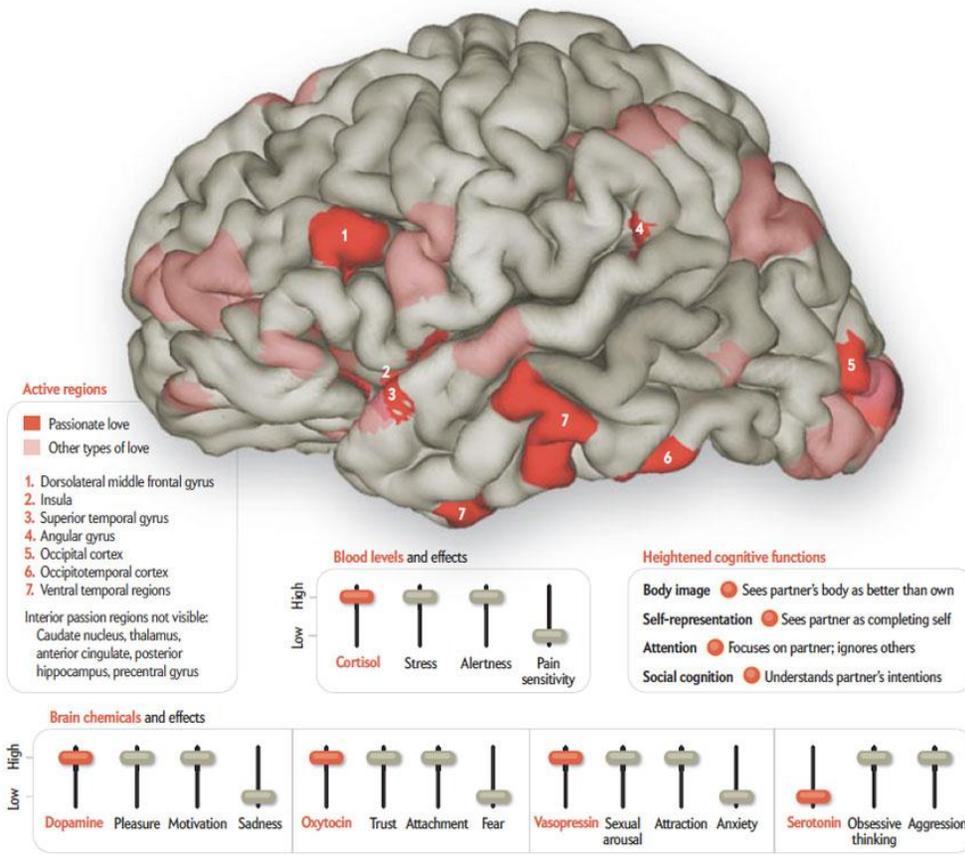


Différentes molécules qu'on appelle les neurotransmetteurs (par exemple ici la norépinéphrine, la dopamine, la sérotonine et l'acétylcholine) vont ainsi moduler certaines régions du cerveau et pas d'autres.

Et vous remarquerez que les neurones qui fabriquent ces substances neuromodulatrices sont pour la majorité situés dans le tronc cérébral, i.e. la partie très ancienne du cerveau que l'on voit ici. Et de là les axones très longs de ces neurones vont aller rejoindre de vastes régions du cerveau.

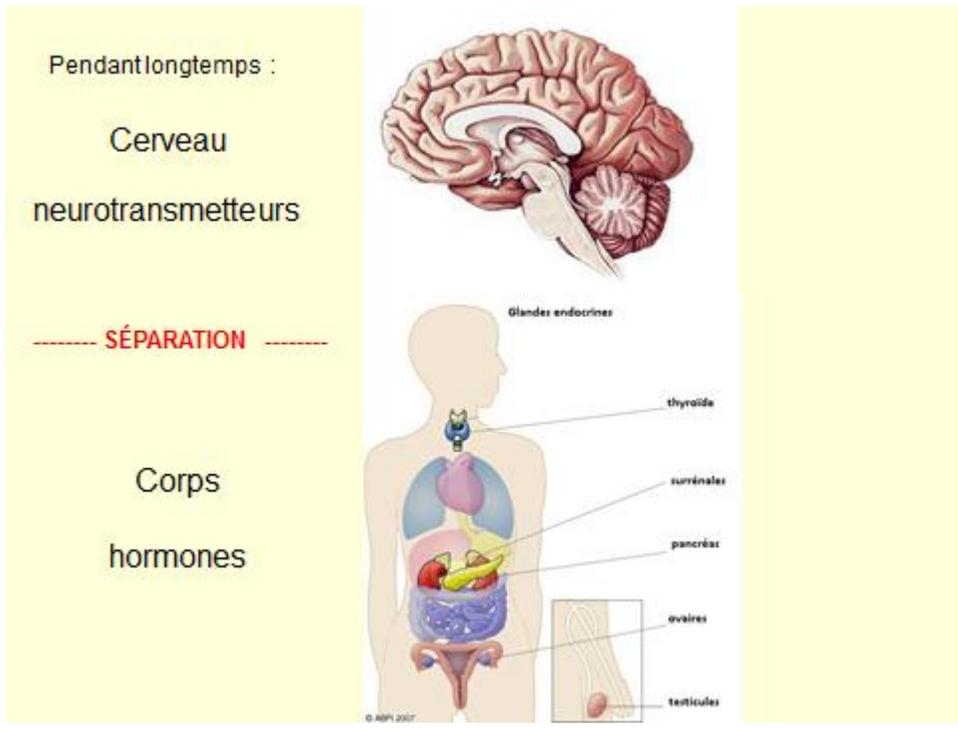
Ces neuromodulations, elles sont importantes pour comprendre des choses comme notre état de vigilance (le fait qu'on soit éveillé, somnolent, endormi...), nos émotions ou nos motivations.

\*

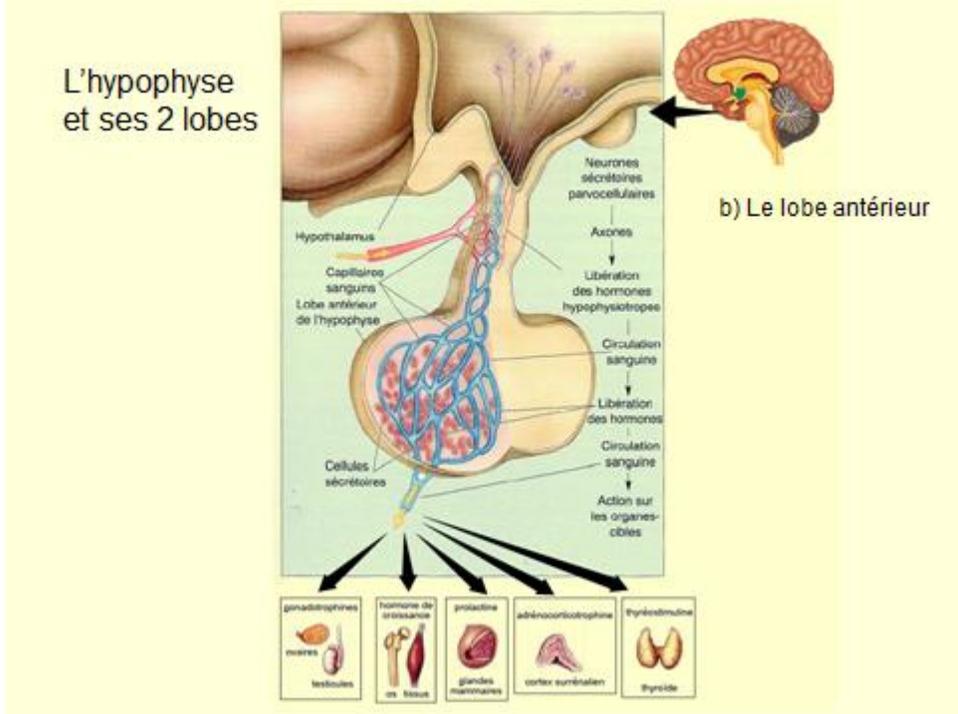


Par exemple ici, on a des régions du cerveau dont l'activité est amplifiée ou diminuée par ces neuromodulateurs lorsqu'on est vient de tomber en amour depuis quelque temps.

On retrouve ici en bas la dopamine, l'ocytocine, la vasopressine ou la sérotonine dont les taux vont varier en fonction de cet état affectif. Et encore une fois on évoque l'idée de variation de volume avec l'image d'une console de mixage.



On a longtemps cru que ce qui se passait dans le cerveau et dans le corps ne communiquait pas.



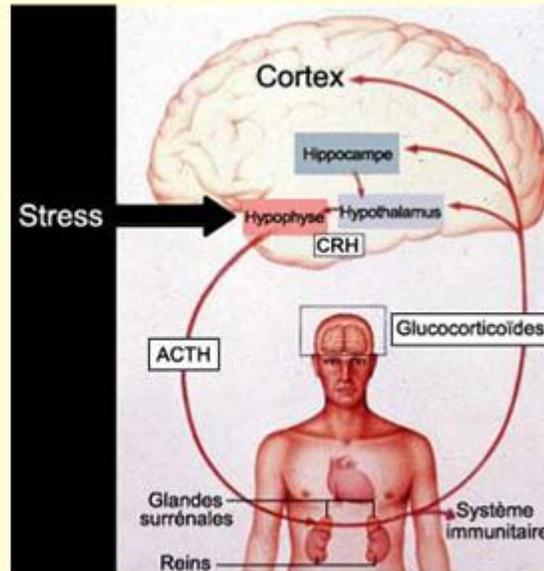
Mais la neuroendocrinologie est venue montrer, à partir des années 1970, que ce n'était pas vrai. Que le cerveau, par exemple, communique avec le corps par l'entremise de l'hypophyse qui reçoit des signaux chimiques de l'hypothalamus.

Durant les années 1970:  
**Neuroendocrinologie**

- se situe à l'intersection de deux grandes disciplines, la **neurobiologie** et l'**endocrinologie**.

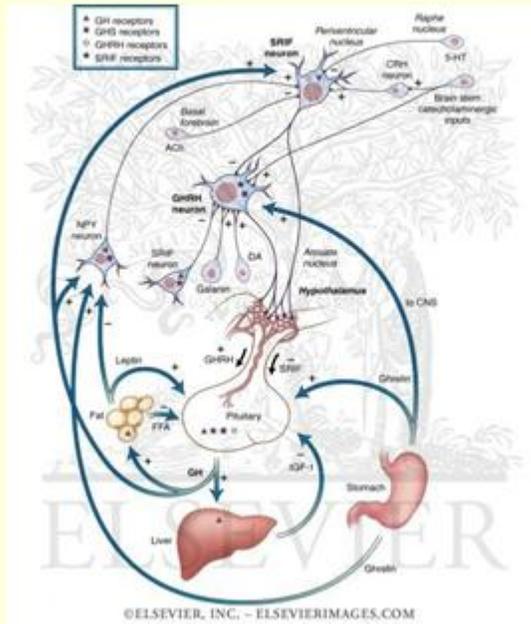
- étudie les interactions entre le **système nerveux** et le **système endocrinien**

- et aussi la capacité qu'a le système nerveux à produire des **hormones**



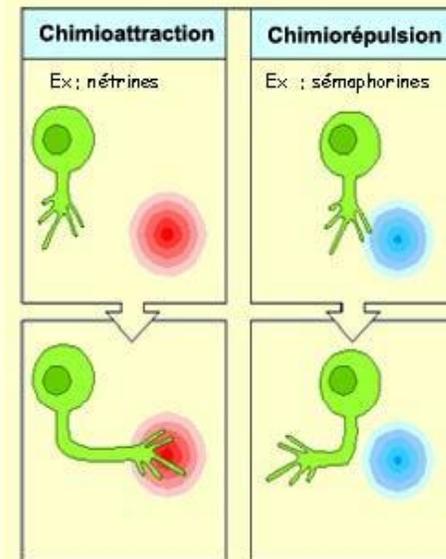
Et en retour, les glandes stimulées par les hormones hypophysaires produisent à leur tour des hormones dont certaines pénètrent dans le cerveau et se fixent sur certaines populations de neurones pour en réguler l'activité.

Autre exemple : l'hormone de croissance



Ce qui donne des boucles de rétroactions complexes entre le cerveau et le corps.

\*

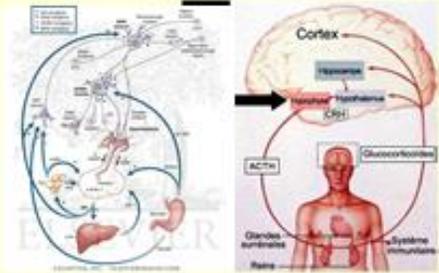
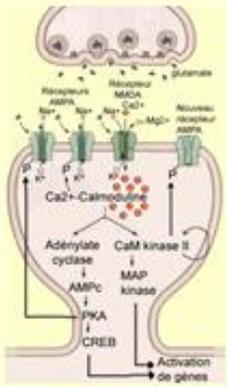
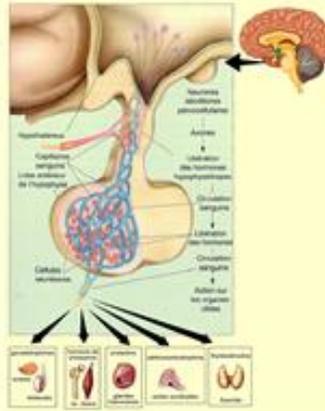
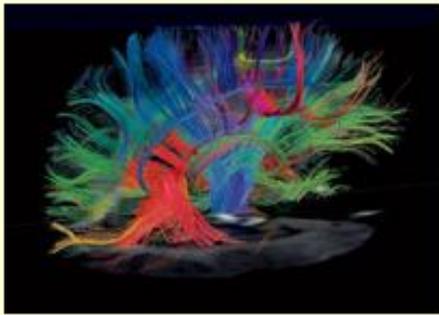


Mais les deux, cerveau câblé et cerveau hormonal cohabitent ensemble sous la même boîte crânienne et vont interagir.

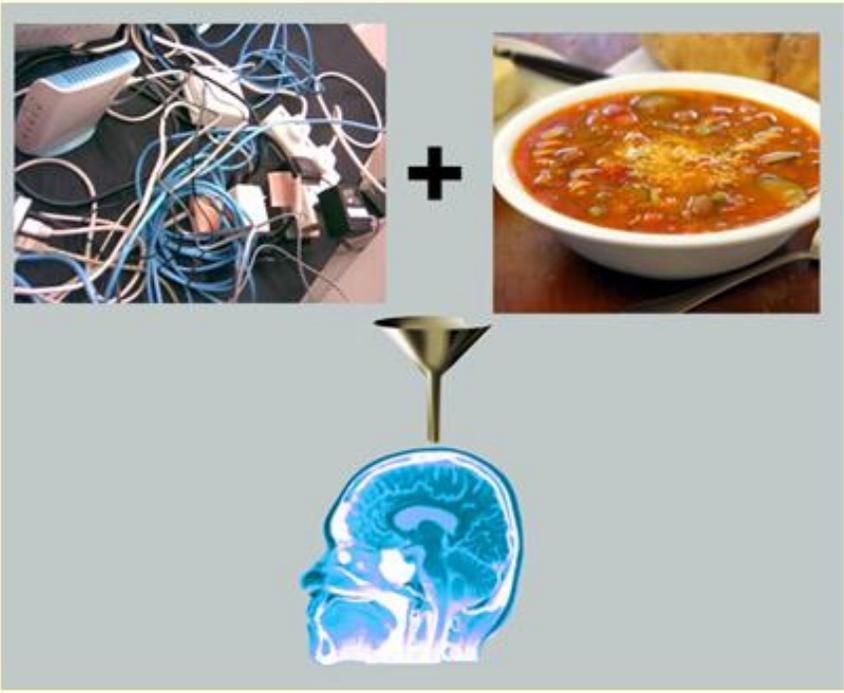
Durant le développement, les circuits du cerveau câblé du fœtus, puis du nourrisson, ce qui va guider l'élongation de l'axone du neurone qui cherche sa cible spécifique, c'est souvent des molécules attractives ou répulsives qui sont relâchées par certains neurones. Cerveau flou et câblé interagissent donc dès le début de la formation du cerveau, des gradients de concentration se créant dans le cerveau, ce qui va attirer ou repousser l'axone en croissance à la recherche de l'endroit précis où il doit aller se connecter.



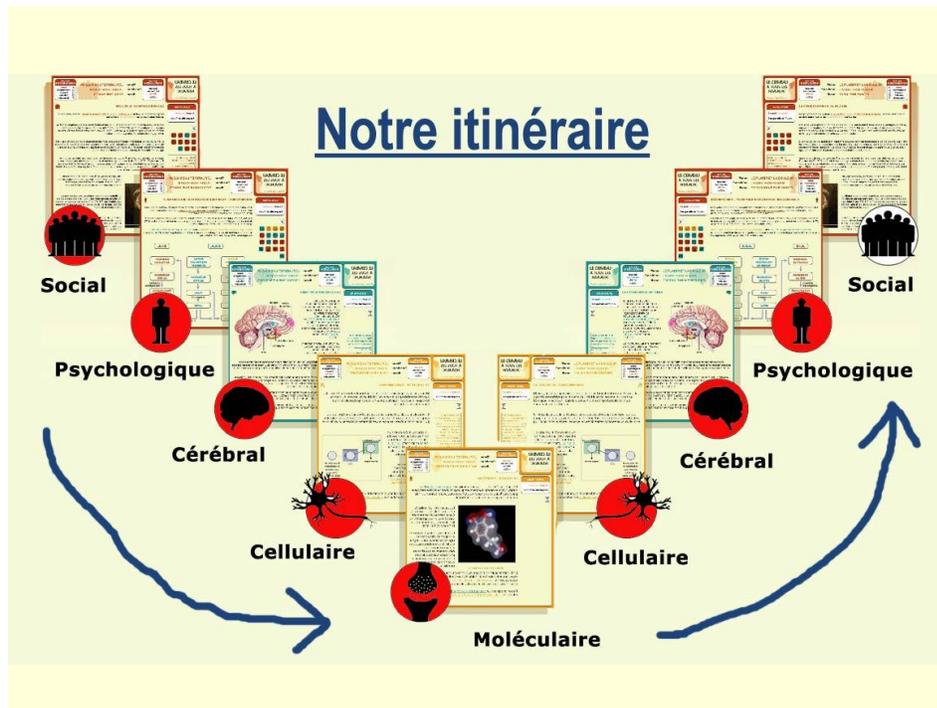
Donc dans la “vraie vie”, comme on dit, le câblage électrique du cerveau câblé se superpose toujours à la soupe moléculaire du cerveau hormonal, les deux interagissent constamment, et c'est ce qui contribue, entre autres, à la complexité du cerveau.



On a donc d'un côté (ici le gauche) quelque chose d'extrêmement câblé, et de l'autre (à droite) quelque chose de flou avec de multiples rétroactions.

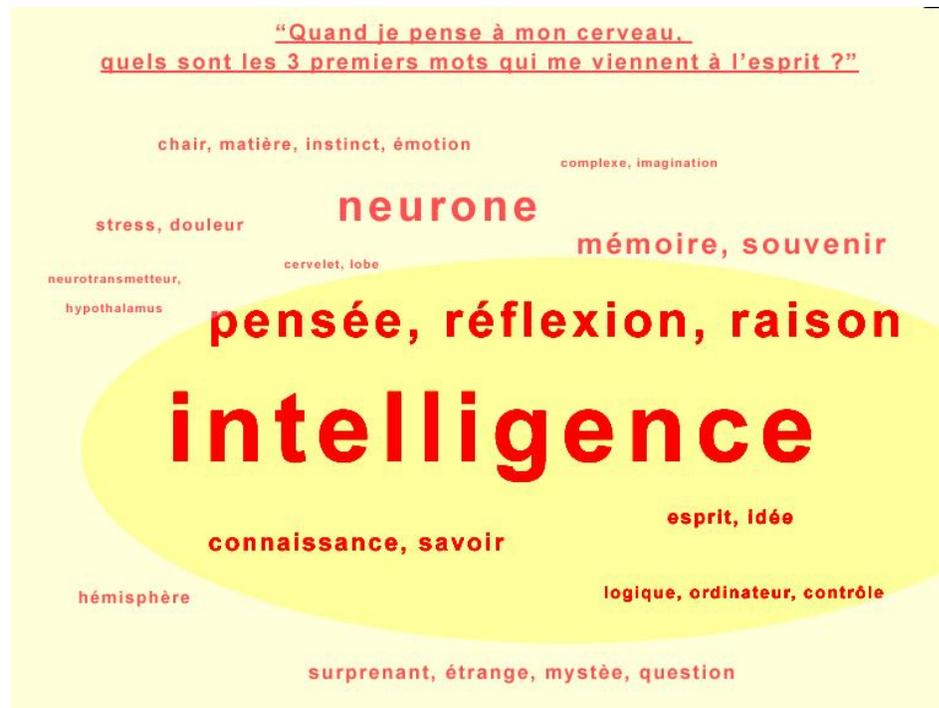


Donc toujours à la fois des fils ET de la soupe !



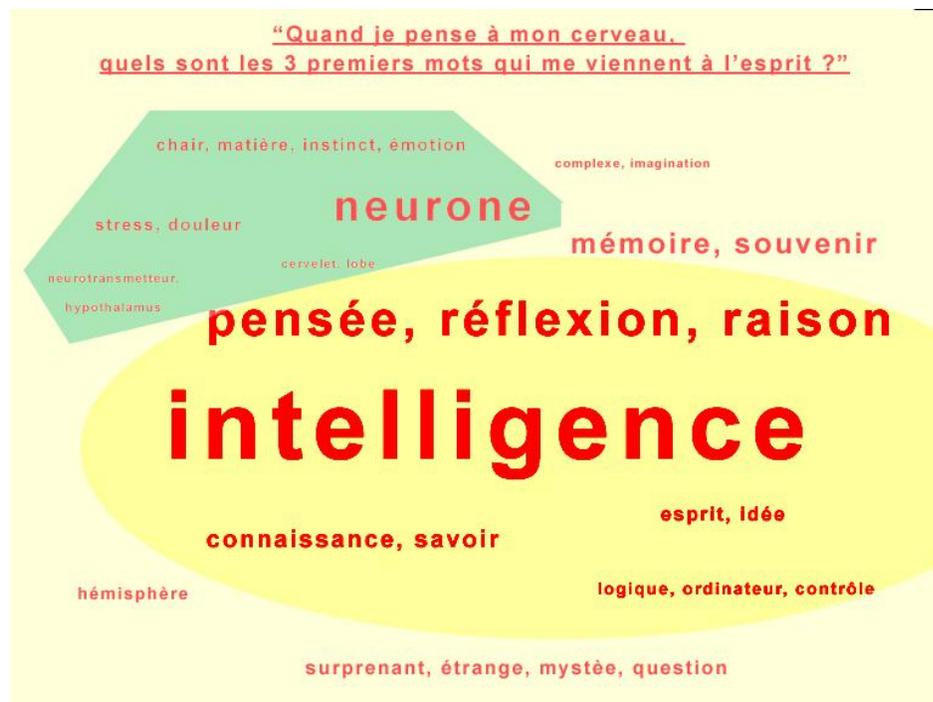
Nous voici donc de retour au niveau de la psychologie individuelle et des comportements qu'elle génère.

Quand j'ai demandé, sur mon petit questionnaire, « quels sont les 3 premiers mots qui vous viennent à l'esprit quand vous entendez le mot cerveau ? », j'ai obtenu ces réponses (la taille des caractères étant toujours proportionnelle à la fréquence des réponses) :



Mais comme on vient de le voir, c’est la complexité de notre système nerveux qui est derrière notre psychologie, c’est-à-dire la pensée, la réflexion, la raison et l’intelligence humaine que l’on associe si fortement et spontanément au cerveau.

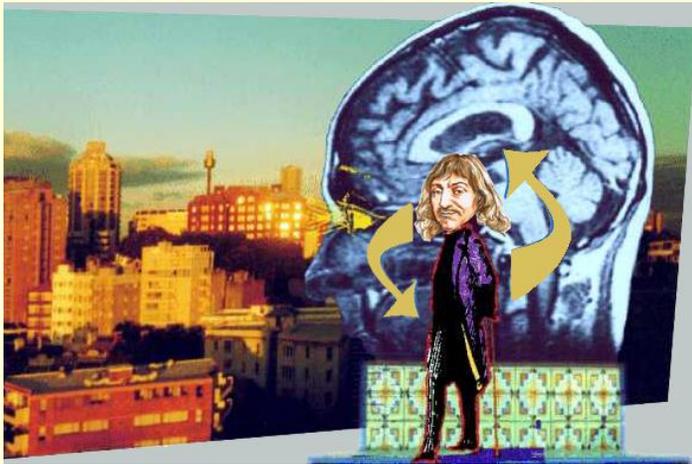
Par conséquent, derrière ces termes très abstraits, très désincarnés, vous commencez à voir qu’il y a une réalité biologiques...



...qui elle est faite, comme on vient de le voir, de chair, de matière, d'instinct, d'émotions, de neurones, de stress, de douleur, de neurotransmetteurs, d'hypothalamus, etc.

Des mots beaucoup plus « incarnés » que les gens associent spontanément beaucoup moins au mot « cerveau ».

Et pourtant, depuis 20 ou 30 ans les neurosciences ne cessent d'accumuler les données montrant à quel point notre pensée est incarnée,

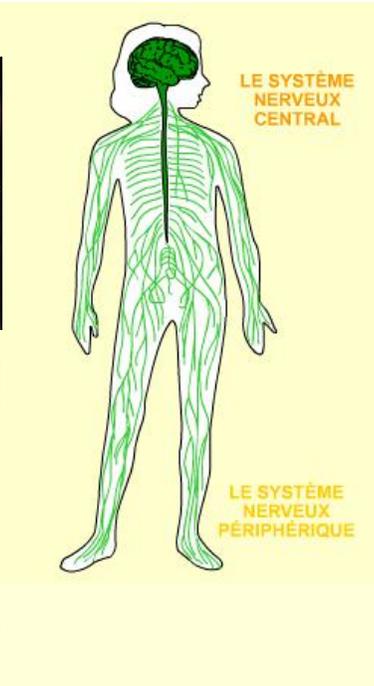
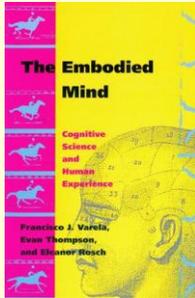
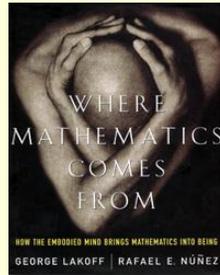
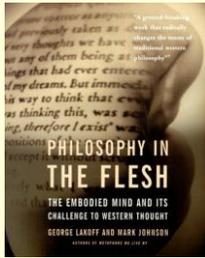


et à quel point elle dépend des neurones de notre cerveau, qui lui a un rapport intime avec le reste du corps,

qui lui est à tout moment entièrement immergé dans son environnement.

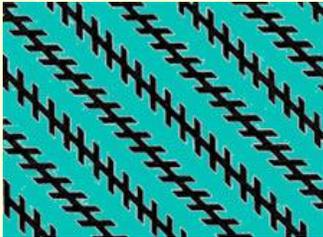
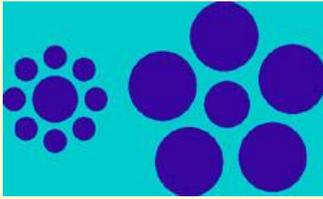
Car notre cerveau est informé à tout moment de tout ce qui se passe dans le corps et dans l'environnement et « pense », pour ainsi dire, de concert avec le corps et l'environnement,

n'en déplaise à notre bon ami Descartes, que l'on voit ici, pour qui la matière et la pensée étaient de nature différente...



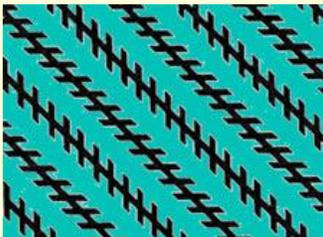
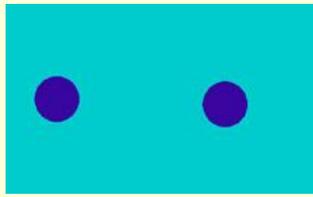
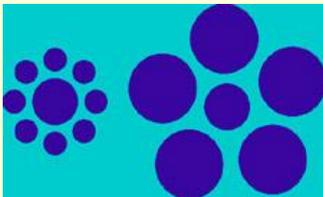
Et depuis 10 ou 15 ans, on ne compte plus les livres et les articles scientifiques qui montrent à quel point tous les aspects de notre pensée, du langage jusqu'aux mathématique, en passant par la prise de décision et bien d'autres fonctions cognitives, comment tout ça est influencé par le corps que nous avons et l'environnement dans lequel nous nous trouvons.

Et j'aimerais vous donner quelques exemples de cela dans différents domaines,

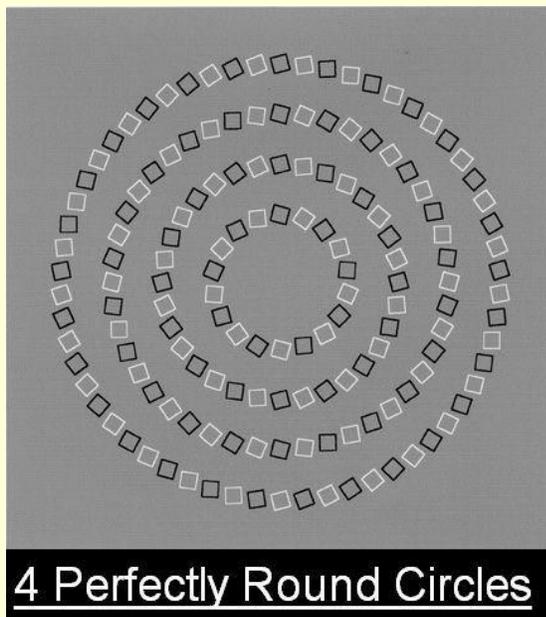


à commencer par quelque chose de très simple que vous connaissez tous et toutes, les illusions d'optiques.

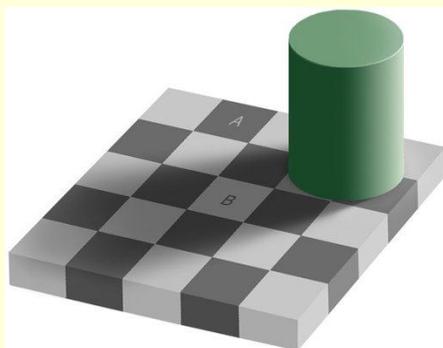
Il nous semble par exemple que ce cercle ici est plus gros que celui-là, et que les grandes lignes ici ne sont pas parallèles...

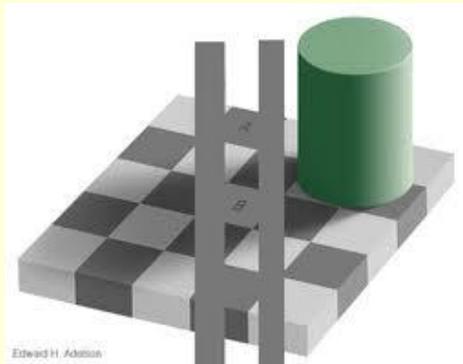


Et pourtant elles le sont, et les deux cercles sont aussi de la même taille.



Même chose pour ces 4 cercles concentriques.

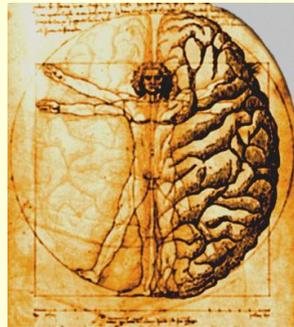
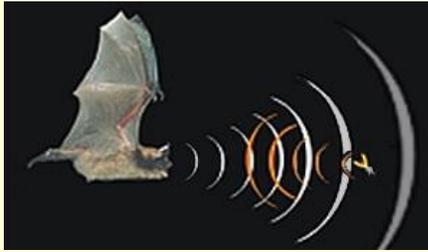




Ou encore pour les case A et B du même gris du célèbre échiquier d'Adelson.

Ce qui se passe, c'est que les circuits du système visuel humain sont câblés de telle façon qu'ils utilisent beaucoup le contexte que fournit l'environnement pour s'aider à discerner et à percevoir les objets dans la multitude de stimuli visuels désordonnés qui parviennent à notre rétine.

Voilà donc comment un attribut particulier de notre corps (le type de système visuel particulier que l'on a) peut avoir une influence sur un aspect élémentaire de notre pensée, la simple perception visuelle du monde.



Parce qu'il ne faut pas oublier que d'autres animaux, avec des corps bien différents du nôtre, ont aussi des systèmes sensoriels bien différents.

L'abeille, par exemple, voit dans l'ultraviolet, et la chauve-souris s'oriente dans l'obscurité par écholocation, i.e. en captant l'écho des sons qu'elle émet que renvoient les objets.

Leur « monde » perceptif est donc forcément très différent du nôtre, parce qu'ils n'ont pas le même corps et les mêmes appareils sensoriels.

**L'idée d'une raison qui fonctionnerait  
de façon indépendante du corps  
ne tient plus la route.**

Je n'ai pas le temps de trop les détailler, mais je vous présente 4 petites expériences très rapidement, qui montrent comment corps et pensée peuvent être liés.



Un expérimentateur qui tient une tasse de café chaud ou de thé glacé dans une main et des feuilles dans l'autre demande à des gens de bien vouloir tenir la tasse pendant qu'il

les identifie sur les feuilles pour l'expérience. Celle-ci est simple : la personne doit lire une brève description du comportement d'un personnage fictif et doit tenter d'évaluer sa personnalité à partir de ces indices.

Ceux qui ont tenu la tasse chaude évaluent comme beaucoup plus chaleureux le personnage fictif que ceux qui ont tenu le thé glacé qui le perçoivent comme quelqu'un de plus froid...



On demande à des sujets d'évaluer combien valent des devises étrangères comme le yen japonais ou le peso mexicain et d'écrire leurs réponses sur un « pad » qu'ils doivent tenir à la main. Or certains pads sont légers alors que d'autres sont lourds. Ceux qui ont le pad plus lourd ont tendance à évaluer les monnaies comme étant plus élevées par rapport à ceux qui tenaient les pads légers.

Le concept abstrait « d'importance » est donc directement influencé par « l'importance » de l'expérience corporelle de l'effort à fournir pour soutenir un poids.

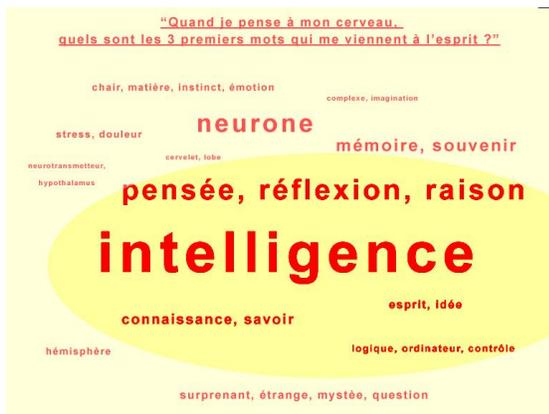


On a demandé à des sujets d'imaginer une journée typique de leur vie il y a 4 ans, et une journée typique de leur vie comme il l'imagine dans 4 ans. Les sujets avaient les yeux bandés et avaient des capteurs sur les muscles des jambes. On a ainsi pu observer que lorsqu'un sujet pense au passé, il tend à se pencher légèrement par en arrière, et quand il pense au futur, il tend à se pencher légèrement en avant.

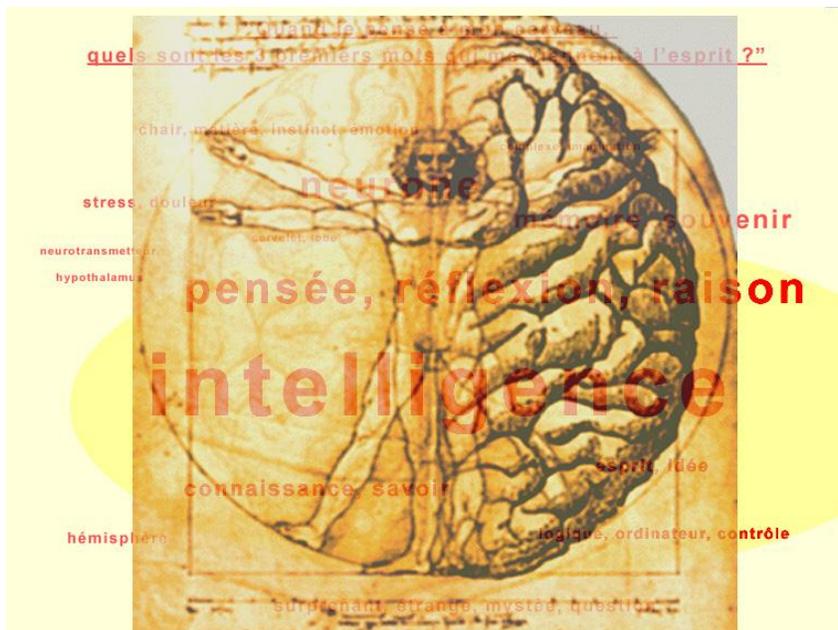


On montre à des sujets des photos de personnes dont le sexe est ambigu et on leur demande de déterminer s'ils sont des hommes ou des femmes. Pendant qu'ils s'exécutent, ils doivent presser une balle dans l'une de leur main, balle qui est plutôt dure pour certains participants, et plutôt molle pour les autres.

Ceux qui pressaient la balle plus dure percevaient davantage les visages comme étant masculins, et ceux qui pressaient la balle molle comme des visages féminins. Donc encore ici, l'expérience corporelle de la dureté ou de la « tendreté » de la sensation tactile influence quelque chose d'abstrait comme la catégorisation du genre des personnes.



Ce type d'expérience, et elles sont nombreuses, appuient toute l'idée que notre raisonnement, notre réflexion et nos concepts les plus abstraits sont influencés, et peut-être même construits,

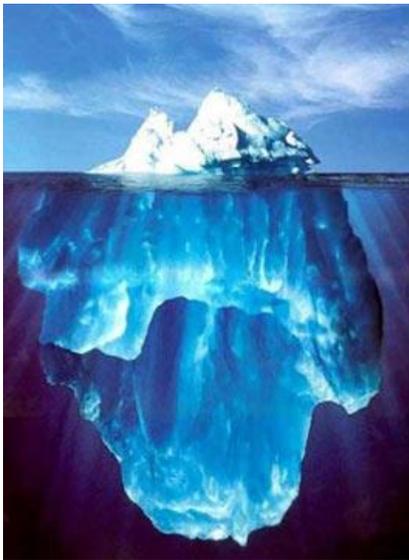


par notre expérience corporelle avec le monde !

C'est donc notre corps tout entier et ses modifications physiologiques, qui sont intimement liées à nos émotions, qui sont à la base de nos décisions bien plus que la raison.

Et cette raison s'apparente très souvent à une rationalisation qui arrive après-coup, à des alibis langagiers pour la plupart inconscients qui viennent justifier des comportements qui se font pour la plupart à notre insu.

De sorte que l'image la plus juste pour représenter le rapport entre la raison consciente et tous les mécanismes qui guident nos raisonnements et nos comportements inconsciemment est sans doute celle-ci :



...le bon vieux iceberg, où la pointe émergée représente les processus mentaux dont on a conscience, notre langage par exemple, et l'immense partie immergée représente tous les processus inconscients qui se passent dans notre cerveau sans qu'on s'en aperçoive.

Et même pour ce qui est de notre langage, toute la syntaxe en est inconsciente ! Est-on conscient de choisir l'ordre des mots que nous utilisons quand nous formulons une phrase dans notre langue maternelle ? Non, cela « sort tout seul », cela se fait par des processus qui sont tout à fait inconscients.

**Dans la vie de tous les jours,**  
ce qu'on fait surtout,

c'est agir spontanément et efficacement  
sur le monde qui nous entoure,  
sans délibération ou réflexion.



On ouvre la porte, salue un ami, fait du thé, répond au téléphone, nettoie la table, etc.  
Et les choses peuvent s'enchaîner pendant un bon bout de temps comme ça, sans  
qu'on ait besoin de réfléchir, d'y penser consciemment.

Il est possible qu'un événement nouveau ou imprévu nous force à prendre une **décision consciente**.

Mais très vite, nous allons nous remettre à cette nouvelle tâche sans y penser...



Malgré tout, ce sont de vastes régions de notre cerveau qui sont sollicitées par la moindre tâche consciente, et même inconsciente, puisque par exemple beaucoup de neurones ont une activité spontanée, c'est-à-dire qu'ils émettent des influx nerveux spontanément et que c'est plutôt la fréquence de ces influx qui sera augmentée ou diminuée par des tâches cognitives.

Donc l'activité du cerveau est très « dynamique » et globale. Cela signifie que c'est complètement faux de dire, comme on l'entend encore souvent et comme j'ai pu le lire dans les réponses à mon questionnaire, que le cerveau n'utilise que 10 % de ses capacités. Le cerveau fonctionne toujours à 100%... à moins de faire un ACV !

S'il est vrai que certaines régions et pas d'autres modifient leur activité pour une tâche donnée, dès qu'on explore différentes tâches on se rend compte que toutes les régions du cerveau sont utilisées, et une même région peut même très souvent être sollicitée pour de nombreuses tâches.

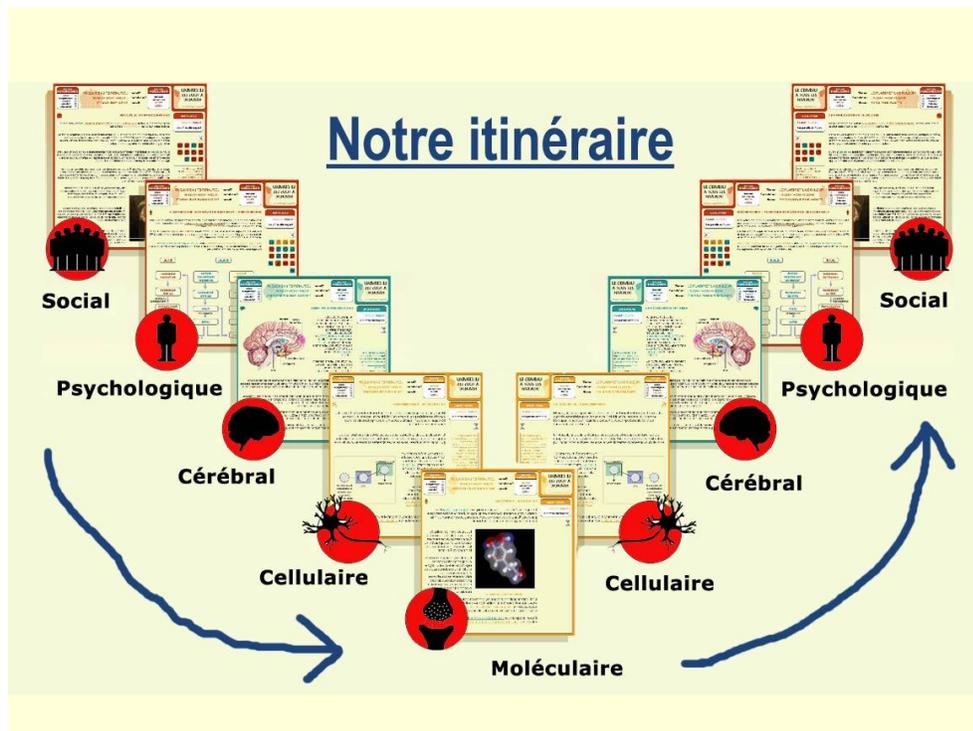
Que le processus soit conscient ou inconscient :

**cela n'implique pas 10 % mais toujours 100 %**

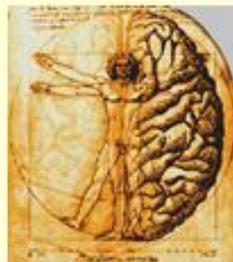
du système dynamique global que constitue notre cerveau !



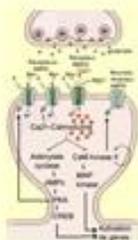
Ces « préconceptions sociales », ces « légendes urbaines » comme celle du 10% qui circulent sur le cerveau, nous ramènent à notre itinéraire et à sa dernière étape, au niveau social justement...



Qu'est-ce que la connaissance de quelques-unes de ces grandes caractéristiques du cerveau...



...peut nous apporter dans nos interactions sociales avec les autres ?



Je voudrais terminer en défendant l'idée que l'accès à l'éducation, les connaissances en général, en sciences dites « humaines » (histoire, science politique, philo, etc), mais aussi et peut-être surtout (parce qu'on ne l'enseigne pas assez) les connaissances sur le fonctionnement de son cerveau et de son système nerveux, que cela permet non seulement de mieux comprendre le monde complexe qui vit en nous et dans lequel on vit, mais aussi d'agir en connaissance de cause sur celui-ci afin d'éviter par exemple les dérives auxquelles on a assisté au Québec le printemps dernier. .

Et pour cela, je prendrai 3 exemples.

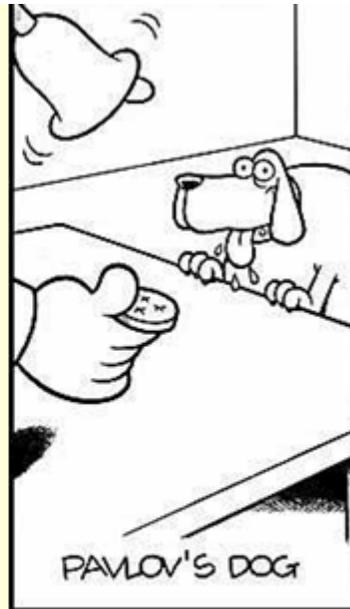
### 3 exemples :

1)

conditionnement

propagande

endoctrinement



Les conditionnements sont les plus efficaces lorsqu'ils font appel à un phénomène bien connu chez les animaux qui s'appelle « la peur conditionnée ».

C'est par exemple la gazelle qui va retenir toute sa vie que tel point d'eau est dangereux si elle s'est déjà faite attaquer par un lion à cet endroit.

Ou encore ce sont les personnes qui vont avoir peur des chiens toute leur vie parce qu'elles se sont fait mordre une fois quand elles étaient jeunes.



## Culture de la peur - Peur conditionnée

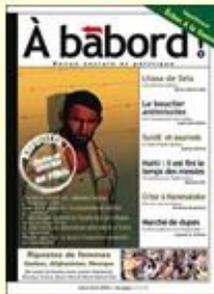
Et cette peur conditionnée est aussi très répandue et utilisée à grande échelle dans les sociétés humaines pour générer des cultures de la peur ...

Il n'est donc pas surprenant que les dominants ou les privilégiés dans une société, qui sont ceux qui contrôlent habituellement les grands médias, utilisent beaucoup la peur pour exercer leur contrôle sur les populations.

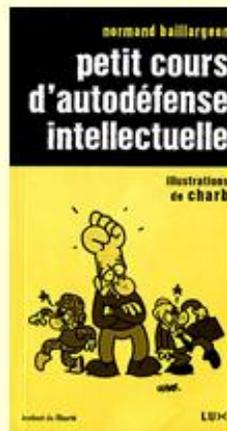


Simple rappel :

au Québec, uniquement deux conglomérats médiatiques, Gesca (Power Corporation) et Quebecor se partagent 97% du lectorat des quotidiens (le Devoir se retrouve avec le 3% restant)



Donc toujours rechercher les moyens de généraliser et diversifier les informations et leurs sources.



2)

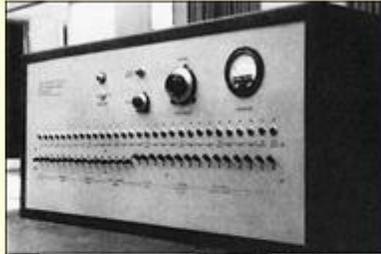
Les expériences de Milgram sur  
la soumission à l'autorité



Un deuxième exemple d'expérience qu'il faudrait enseigner partout dans les cégeps si ce n'est pas déjà fait, et même au secondaire. Ce sont les expériences classiques de Milgram sur la soumission à l'autorité, lui qui a montré que bon nombre d'individus étaient prêts à infliger des chocs électriques mortels à un inconnu si, dans un contexte d'autorité, on lui en donnait l'ordre.

2)

Les expériences de Milgram sur  
la soumission à l'autorité



Et alors ça permet de comprendre beaucoup mieux par exemple toute cette brutalité policière. Car c'est sûr que si t'es conditionné à respecter aveuglément l'autorité (ce qu'on semble tous prédisposé à faire comme le montre l'expérience de Milgram) et qu'en plus on se fait dire que les étudiants ne sont que des bébé gatés buvant de la sangria sur des terrasses, c'est facile de les déshumaniser et de les frapper...

Le troisième exemple d'un savoir de base sur le comportement humain que tout le monde devrait posséder (grâce à un système d'éducation accessible à tous et toutes...), ce sont les 3 options qui s'offrent toujours à nous pour maintenir notre intégrité physique et psychologique lorsque celle-ci est menacée.

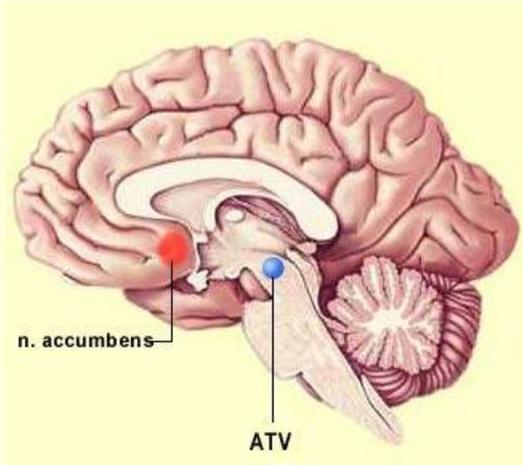
Et ça boucle la boucle avec ce qu'on avait dit au début, comme vous allez le voir, à savoir qu'un cerveau ça sert d'abord à agir.

Alors quelles sont donc ces 3 options ?

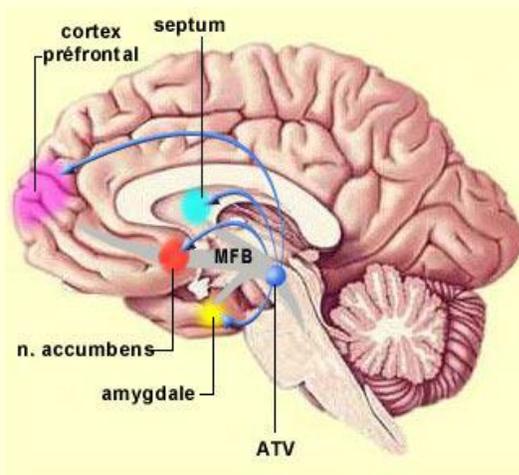


D'abord il faut savoir que le comportement de base d'un animal est le comportement d'approche, c'est-à-dire la curiosité, le désir, qui mène à l'action et à la satisfaction de ce désir.

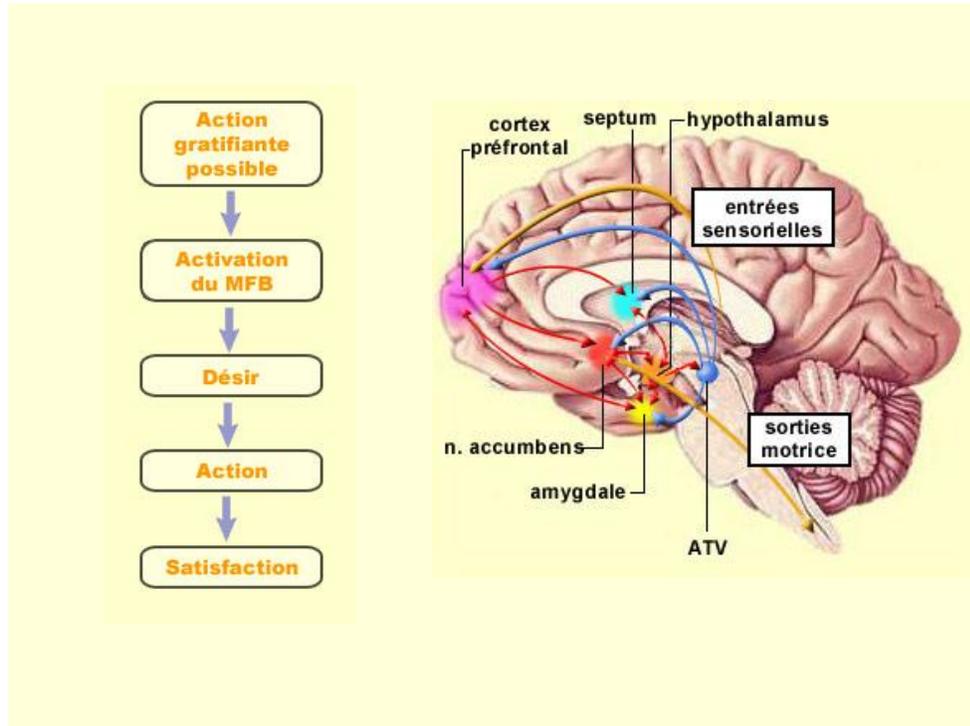
Mettez un rat dans une nouvelle cage : au début il a peur et reste dans un coin, mais très vite il commence à explorer la cage, car un nouvel environnement est promesse de nouvelles ressources...



Et ce désir qui le pousse à l'action vers une ressource potentiellement intéressante, on l'a vu, il est appuyé par des mécanismes évolutivement très anciens, qui utilisent la dopamine comme neurotransmetteur dans un circuit dit « de la récompense »...



...qui, comme on l'a vu, implique plusieurs autres régions cérébrales en plus de son circuit principal...



...et de nombreuses boucles de rétroaction, toujours omniprésentes comme on l'a dit, dans le cerveau.

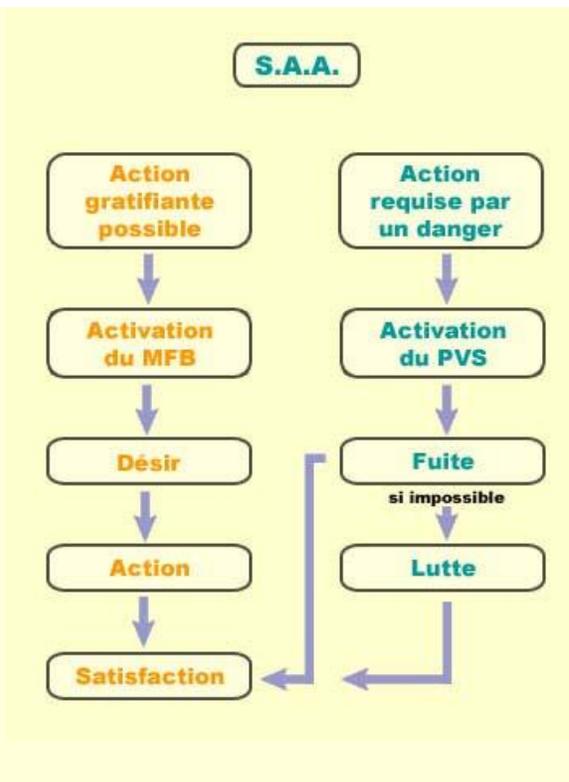
Mais les choses ne vont pas toujours bien, et l'intégrité de notre organisme est parfois **menacé**.

Directement par un fauve comme au temps de nos lointains ancêtres.

Ou ces jours-ci par exemple si des choix du gouvernement ont pour conséquences de nous empêcher d'avoir accès aux études pour faire un métier qu'on aime...

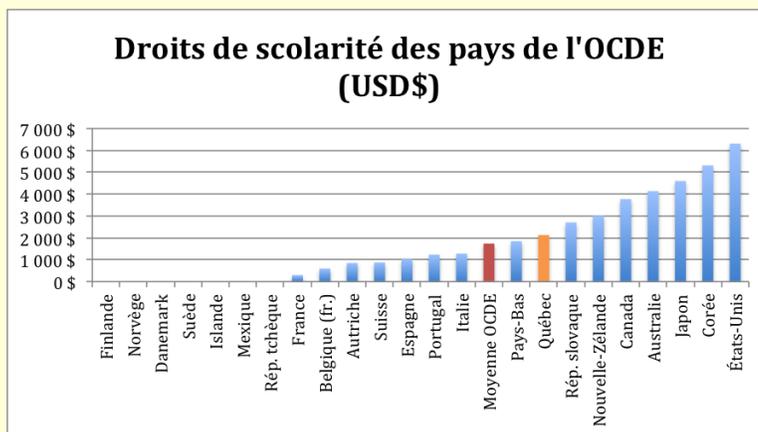
dans les deux cas, c'est la même chose pour l'organisme qui a alors deux choix :

**la fuite ou la lutte**



Il y a évidemment aussi des circuits cérébraux associés à ces comportements, mais on n'a pas le temps de les détailler ici.

## Si fuite possible...



La fuite permet donc de se soustraire physiquement à ce qui nous menace.

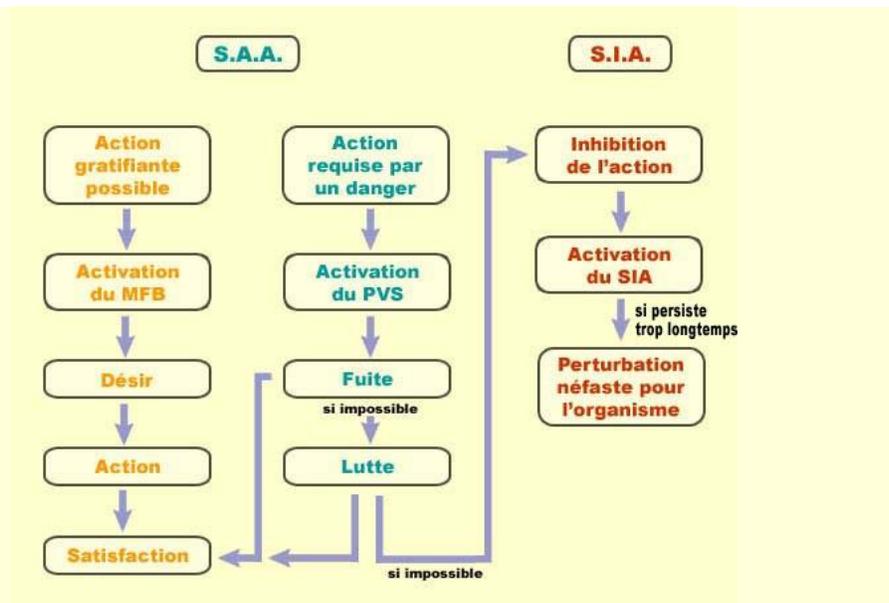
Si l'on poursuit avec l'exemple de la grève étudiante, on peut dire par exemple que si la fuite vers l'un des nombreux pays où les frais de scolarité sont moins élevés qu'au Québec ne vous est actuellement pas possible...

## Sinon la lutte...



Quand la fuite est impossible, comme lorsqu'un rat est coincé dans un coin de sa cage, ou qu'un étudiant est coincé au Québec, alors l'autre option est la lutte.

Si elle a du succès, elle permet d'écarter, de décourager ou de détruire la menace initiale. Et c'est ce qui s'est passé avec cette lutte qui a permis d'abolir la hausse prévue des frais de scolarité et de retirer loi 12 (projet de loi 78).



Tout va bien si on réussit à fuir ou à combattre le danger : **retour à la satisfaction**

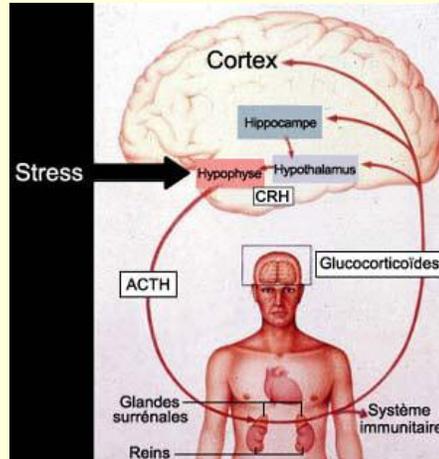
Sinon : problèmes, car on risque de subir un **stress chronique**, c'est-à-dire demeurer en **inhibition de l'action**, avec tous ses effets dévastateurs sur la santé...

Car la dernière option, quand les conditions pour la fuite ou la lutte ne sont pas favorables (comme ce fut le cas au Québec par moment pendant plusieurs années...), c'est l'inhibition de l'action.

C'est l'attente en tension, en stress, en espérant que la menace va s'éloigner, se dissiper un jour.

C'est le petit rongeur qui fige en terrain découvert quand il se fait surprendre par un rapace : il ne peut fuir, ni lutter, il espère passer inaperçu, il espère que ça passe...

Mais cela, tant pour un rongeur que pour un peuple que pour l'organisme d'un individu particulier qui est conçu pour agir, c'est très néfaste pour l'équilibre biologique de cet organisme si l'attente se poursuit trop longtemps.



en plus des **maladies dites « de civilisation »** que l'on peut associer à l'inhibition de l'action (maladies cardio-vasculaire, ulcère d'estomac, etc)

certaines hormones, comme les glucocorticoïdes, qui demeurent à un taux élevé durant une longue période dans le sang, vont **affaiblir le système immunitaire** (qui lui aussi est relié au corps et au cerveau) et même affecter le cerveau,

en réduisant par exemple le nombre de nouveaux neurones qui y sont produits dans certaines régions comme l'hippocampe



Merci de votre attention !

Voilà pourquoi, pour rester en équilibre en tant qu'individu et en tant que société, il faut à tout prix éviter l'inhibition et passer à l'action.