

LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU HUMAIN

>> Comment fonctionne notre cerveau ?

En quelques textes récupérés çà et là, voici un condensé de réponses sur la connaissance actuelle en neurobiologie.

Des milliards de neurones !

(Jean-Pierre Changeux)

Notre cerveau comprend un nombre astronomique de cellules nerveuses. Il est de l'ordre de cent milliards pour l'ensemble de ce que nous avons dans notre tête, c'est à dire notre encéphale. Pour le cortex cérébral, qui est la partie la plus superficielle, enveloppant notre cerveau, on trouve environ dix à vingt milliards de cellules nerveuses. C'est un chiffre considérable.

Le nombre de connexions est encore plus élevé puisque, en moyenne, une cellule nerveuse établit dix mille contacts avec d'autres partenaires, ce qui fait, au total, un million de milliards de connexions. Pour donner une idée de la densité des synapses dans le cortex, un millimètre cube de substance grise contient environ cinq cent millions de contacts entre cellules nerveuses ou synapses.

Comment les neurones sont connectés

(Eric Kandel)

Laissez moi tout d'abord vous expliquer comment les cellules nerveuses fonctionnent.

Un neurone typique a plusieurs composants. Il y a les dendrites, il y a le corps cellulaire, il y a l'axone, et les terminaisons axonales. Les dendrites servent à recevoir les signaux en provenance des autres neurones. En fonction des signaux qui lui parviennent par les dendrites, le corps cellulaire va déclencher ou non un signal électrique, appelé influx nerveux. C'est un signal de tout ou rien qui se déplace le long de l'axone de manière autonome jusqu'aux terminaisons axonales, où ce neurone communique avec les suivants à travers des contacts appelés synapses.

Là il se passe quelque chose d'intéressant. L'influx nerveux provoque la libération d'un messager chimique, un neuromédiateur, dans la terminaison pré-synaptique. En général, un neurone ne libère qu'un seul type de neuromédiateur qui diffuse à travers un petit espace jusqu'aux récepteurs post-synaptiques du prochain neurone, ce qui donne lieu à l'émission d'un nouveau signal électrique appelé le potentiel synaptique.

Selon le type de neuromédiateur transmis, le potentiel synaptique va être positif ou négatif. La cellule nerveuse va en général faire une somme arithmétique de tous les signaux positifs et négatifs qu'elle reçoit par ses dendrites et, selon que cette somme dépasse ou non un certain seuil, déclencher ou non l'influx nerveux.

Les connexions sont modifiables

(Jean-Pierre Changeux)

Le signal nerveux qui se propage le long des axones, l'influx nerveux, a une amplitude constante et se déclenche selon le principe du tout-ou-rien.

Au contraire, lors de la transmission chimique, la réponse peut être graduée à la quantité de neuromédiateurs présents dans l'espace synaptique.

Donc, les connexions que nous avons dans notre cerveau ne sont pas rigides. Elles sont susceptibles, au contraire, de flexibilité, et l'efficacité de la réponse des récepteurs aux neuromédiateurs peut elle-même être réglée par l'activité de la cellule nerveuse. Il peut y avoir, dans ces conditions, un apprentissage au niveau de la synapse.

Comment l'apprentissage modifie les connexions

(Eric Kandel)

L'effet à court terme de l'apprentissage est un renforcement de la connexion synaptique. Par exemple, on peut imaginer qu'à la suite d'un certain processus d'apprentissage, ce neurone va libérer une plus grande quantité de neuromédiateurs qu'auparavant, de telle sorte que le potentiel synaptique qu'il déclenche, et qui avait déjà atteint un certain niveau, sera magnifié au point d'être maintenant capable de forcer le déclenchement du neurone post-synaptique. Un tel renforcement est temporaire et ne durera que de quelques minutes à quelques heures.

Par contre, quand la mémoire s'inscrit à long terme, une chose assez surprenante se produit : on remarque l'apparition de nouveaux contacts synaptiques ! L'effet à long terme de l'apprentissage est donc de stabiliser la mémoire par la croissance de nouveaux contacts synaptiques dans le cerveau. C'est une découverte qui a de profondes ramifications.

Peut-on créer de nouvelles connexions ?

(Eric Kandel)

Ce que l'on sait c'est que lorsque deux cellules sont déjà connectées, des connexions synaptiques additionnelles peuvent s'établir entre elles. En revanche, on ne sait pas s'il peut se créer ou non de nouvelles connexions synaptiques entre cellules qui n'étaient pas auparavant connectées. Nous ne connaissons pas la réponse à cette question.

Cela tient à ce qu'il est relativement aisé d'observer des cellules déjà connectées et de suivre le développement de leur connexion. Par contre observer des cellules qui ne sont pas déjà connectées, ce qui est le cas pour la plupart des cellules, est un travail assommant et personne ne l'a fait. Mais on aurait besoin de le faire.

L'influence du contexte

(Daniel Schacter)

Le principe de la spécificité des représentations fait référence à une condition importante sur le rappel d'un souvenir. Ce principe énonce que la probabilité de provoquer le souvenir d'une expérience passée dépend beaucoup de la façon dont cette expérience a été mémorisée initialement et de comment la représentation que l'on en a est reliée à ce qu'on utilise pour en provoquer le souvenir.

Le souvenir d'un événement particulier ne sera pas provoqué par n'importe quelle suggestion, mais par une suggestion qui est reliée à l'idée que vous vous êtes fait de l'événement au moment où il s'est produit et, probablement aussi, à votre manière d'y repenser depuis.

Un bon exemple de ce phénomène est donné par une expérience pendant laquelle on montre à quelqu'un des phrases qu'il doit mémoriser. Ce sont des phrases simples du style : "Le poisson a attaqué le nageur". Un peu plus tard on sonde sa mémoire de ces phrases en lui faisant certaines suggestions. Cette expérience a montré que la suggestion la plus efficace pour lui faire se rappeler de la phrase "Le poisson a attaqué le

nageur" était le mot "requin". Pourquoi "requin" ? Le mot "requin" était encore plus efficace que "poisson", bien qu'il n'apparaisse pas dans la phrase alors que "poisson" en faisait partie !

L'explication est que la plupart des gens, quand on leur fait lire une phrase telle que: "le poisson a attaqué le nageur", pensent à un requin et font une inférence, comme s'ils se construisaient une petite scène mentale dans laquelle un requin attaque un nageur. En conséquence, la suggestion qui s'approche au plus près de la représentation mentale qu'ils ont d'une telle phrase est le mot "requin".

Mémoires neuronales

(James McClelland)

Au niveau du cerveau, les mémoires sont stockées à l'intérieur des connexions entre les neurones qui sont justement chargées de faire le travail de rappel des souvenirs.

Dans ce contexte, se souvenir d'une information spécifique, correspond à reconstruire ou retrouver l'activité neuronale qui avait lieu lors de l'expérience originelle.

Une conséquence très importante c'est que ce qui est activé lors de la reconstruction d'une mémoire donnée ne provient pas nécessairement uniquement de l'expérience dont on cherche à se souvenir. Certaines des choses dont on se souvient peuvent en effet provenir d'informations ou d'expériences qui s'avèrent avoir été stockées à d'autres reprises dans certaines des connexions qui contribuent au rappel de ce souvenir.

L'oubli neuronal

(Eric Kandel)

L'OUBLI CORRESPOND A UNE DISPARITION DE CONNEXIONS

Tout d'abord l'oubli correspond à des disparitions de connexions synaptiques. On l'a observé chez certains animaux dont la mémoire ne dure seulement que de trois à quatre semaines. Lorsque ces animaux apprennent quelque chose, le nombre de connexions synaptiques augmente bien. Mais, lorsqu'ils commencent à l'oublier, ces mêmes connexions synaptiques disparaissent.

Qu'est-ce que l'oubli ?

(Daniel Schacter)

Qu'est-ce que l'oubli ? Par définition, l'oubli est une perte de l'accès à certaines informations au cours du temps. Nous avons plus de difficultés à retrouver certaines expériences, au fur et à mesure que le temps passe, comme nous pouvons le constater dans la vie quotidienne. Pourquoi en est-il ainsi ? Il existe trois théories à ce sujet.

L'oubli par évaporation

L'une d'entre elles consiste à dire que nous perdons simplement de l'information avec le temps : elle disparaît en quelque sorte au cours d'un processus de détérioration passif. Une fois qu'elle a disparu, on ne peut plus la retrouver.

L'oubli par inaccessibilité

Selon une seconde théorie, l'information ne disparaît pas de la mémoire et son oubli serait simplement dû à une inaccessibilité dans le temps: nous ne disposons simplement plus des indices qu'il faut utiliser pour accéder à cette information.

Nous avons ainsi tous fait l'expérience de revenir dans un endroit que l'on a quitté il y a 10 ou 15 ans, et

d'être assailli par un flot de souvenirs que l'on croyait à jamais disparus.

L'oubli par interférence

Ces souvenirs nous reviennent car ils sont associés à des indices très spécifiques de l'endroit où nous sommes revenus. Cela étant dit, je crois qu'affirmer que toutes les informations présentes en mémoire ne disparaissent jamais est une vue extrême. Un troisième facteur d'oubli est le concepte l'interférence : nous faisons beaucoup d'expériences similaires de telle sorte que tout ce qui nous est arrivé dans le passé interfère avec notre capacité à nous rappeler tous les faits de même nature. Selon une vieille tradition en psychologie, on considère qu'il existe deux sources l'interférences : la première est l'interférence rétro-active : si j'ai appris une certaine information; et si j'apprends ensuite des informations voisines, à plusieurs reprises, cela interférera avec mon souvenir de la première information. La seconde est l'interférence pro-active : quand nous avons des expériences répétitives dans un domaine particulier, il est parfois difficile de coder une nouvelle expérience qui est presque identique à la précédente.

C'est le cas par exemple lorsque vous allez seul au bureau et que vous gardez votre voiture pratiquement tout le temps au même endroit. Avec le temps, il vous devient de plus en plus difficile de vous rappeler où se trouve votre voiture. La raison en est que c'est un acte que vous avez effectué si souvent qu'il est difficile de séparer une expérience d'une autre et donc d'en élaborer des représentations distinctes en mémoire. Conséquence: vous avez oublié où vous avez garé votre voiture!

Les connaissances de l'enseignement

(John Anderson)

Il est courant de différencier deux types de connaissances. Les connaissances déclaratives portent sur les faits et les choses. Comme nous pouvons les décrire consciemment, on dit qu'elles sont explicites. Les connaissances procédurales s'expriment sous la forme de règles qui régissent comment un savoir-faire doit s'accomplir. La seule manière de manifester les connaissances procédurales est de les exécuter. Il nous est impossible de les décrire explicitement, on dit qu'elles sont implicites.

On peut se demander pourquoi l'être humain est ainsi capable de décrire explicitement certaines de ses connaissances. Je pense que la raison fondamentale est que cela autorise l'enseignement en permettant la communication de l'information entre les hommes.

L'une des caractéristiques de l'espèce humaine, c'est son extraordinaire capacité à être instruit. Aucune autre espèce ne rivalise avec nous à cet égard. Or dans un contexte d'enseignement, il est très important que les connaissances soient transmises sous une forme explicite car cela autorise celui qui est instruit à vérifier l'exactitude de l'information qu'on cherche à lui inculquer.

Ce qui caractérise les connaissances déclaratives c'est justement qu'elles correspondent à une description de notre environnement. Si par exemple, on vous dit que "Bill Clinton est le président des États-Unis" ou que " $3+4=7$ ", il vous est possible de le vérifier. Par contre, les connaissances procédurales, comme les savoir-faire, ne peuvent pas faire l'objet d'une vérification extérieure, aussi est-il préférable de les apprendre par l'expérience plutôt que par l'instruction.

Les connaissances déclaratives sont donc les seules qui aient une utilité à être explicites.

Comment un humain résout un problème

(Herbert Simon)

Comment est-ce que les gens résolvent ce problème ? Tout d'abord, nous pensons qu'ils s'inventent un "espace du problème", c'est-à-dire une façon d'y réfléchir. L'espace de ce problème, je peux fermer les

yeux et l'imaginer : il y a trois piquets et quelques disques, et les disques sont de taille différente. En fait, je réfléchis à ce problème sans me soucier des couleurs parce que rien n'a été dit à leur sujet; je ne m'occupe que de la taille, c'est mon espace du problème pour cette tâche.

Puis j'applique la méthode "des buts et des moyens" : je me dis : "voici où je suis ; je veux être là ; que puis-je faire ?" Et bien, je peux déplacer les disques, un par coup. Je peux jouer ce coup là, ou alors celui-ci. J'essaye d'abord celui-là parce que je sais que je veux mettre le grand disque sur ce piquet, donc je ne veux pas le couvrir. Mais cela me conduit dans l'impasse que nous avons vue il y a un moment. Le seul autre coup possible est celui-ci. Maintenant, je me dis : "je veux toujours faire sortir ce grand disque, j'ai donc intérêt à enlever celui-là". Maintenant je pourrais mettre le grand là-bas si le petit n'y était pas. Voici une situation où je pense à une action qui va me rapprocher de mon but, et à une condition qui doit être satisfaite pour que celle-ci puisse s'accomplir, alors cela devient mon nouveau but et j'enlève le petit disque pour faire la place au grand. Je peux enfin jouer ce coup. Ensuite j'aimerais déplacer le disque moyen, mais de nouveau le petit me gêne, donc mon but intermédiaire devient de le bouger. Enfin je peux jouer ceci, ceci et cela.

Ce que vous avez vu se passer là, dans la résolution de ce problème, fut tout d'abord l'élaboration de l'espace du problème : sa représentation en termes de piquets et de disques et de leurs caractéristiques importantes, telle que la taille des disques. La deuxième chose que vous avez pu voir est l'idée de buts, c'est-à-dire d'objectifs, les situations auxquelles vous essayez d'arriver, et puis l'idée d'actions, vos moyens pour arriver au but en sachant que vous ne pouvez déplacer qu'un seul disque à la fois. Vous avez observé l'application de la méthode "des buts et des moyens" : si je veux déplacer ce disque, alors je dois déplacer celui-là ailleurs, et ainsi de suite. Tout cela semble très simple mais ... c'est simple si vous savez ce qui se passe ! On n'observe, en général, rien de plus qu'une combinaison de ces processus.

Enoncé d'un problème et difficulté (Herbert Simon)

La formulation d'un problème influence sa difficulté. Par exemple, voici un problème dont la logique est exactement la même que celui de la "Tour de Hanoi" et qui pourtant demande beaucoup plus de temps à être résolu. Peut-être voudrez vous le poser à des amis et vérifier qu'il est vraiment plus dur à résoudre ?

Description du problème:

Trois extra-terrestres à cinq mains tiennent chacun un globe. L'un des monstres est un grand monstre, l'autre de taille moyenne et le dernier de petite taille. Le globe tenu par le petit monstre est de taille moyenne, celui tenu par le monstre de taille moyenne est grand et enfin celui tenu par le grand monstre est tout petit. Cette situation choque profondément leur sens naturel de la hiérarchie et chaque monstre préférerait posséder un globe proportionnel à sa taille. Malheureusement pour des raisons liées à la physique de leur monde, ils ne peuvent s'échanger les globes directement et ne peuvent que les rétrécir ou les agrandir en obéissant aux règles suivantes:

- 1 Deux globes ne peuvent pas changer de taille en même temps.
- 2 Si deux globes ont la même taille, seul le globe détenu par le monstre le plus grand peut être changé.
- 3 Un globe ne peut être changé pour avoir la taille du globe détenu par le grand monstre.

Quelle séquence de changement de taille des globes permet elle au monstre de résoudre ce problème?

Comment expliquer ce phénomène ?

Si la logique de ce problème est exactement la même que celle des tours de Hanoi, sa formulation incite à se créer un espace de problème très différent et beaucoup moins intuitif. Dans le problème des tours de

Hanoi on déplace des disques et il est assez facile de trouver sur quel piquet on peut les placer ou non. Dans l'autre problème, les changements de taille obéissent à des règles assez complexes et peu intuitives ce qui rend la résolution du problème beaucoup plus difficile.

Voilà l'avenir de la psychothérapie !

(Eric Kandel)

Lorsque nous discutons, mon cerveau est en communication avec le vôtre et, si jamais vous vous souvenez de ce que je vous ai dit -- je ne vous y oblige pas mais si vous vous en souvenez -- c'est parce que mon cerveau a provoqué des changements anatomiques dans votre cerveau et vice-versa.

J'espère qu'un jour l'imagerie cérébrale nous permettra de détecter ces changements, car cela aura des conséquences médicales profondes. Par exemple : beaucoup d'entre nous ont de bonnes raisons de croire que la psychothérapie fonctionne et qu'elle est capable de modifier les comportements. Et cependant ceci est constamment remis en question par la communauté médicale.

Je pense que si on pouvait réellement montrer, de façon fiable que les différentes sortes de névroses dont nous souffrons tous sont associées à des changements anatomiques caractéristiques dans le cerveau, détectables par imagerie cérébrale (IRM ou PET), alors il serait possible de montrer que si la psychothérapie produit des changements stables dans le cerveau c'est parce qu'elle provoque des changements anatomiques. On pourrait alors avoir, grâce à l'imagerie cérébrale, la preuve concrète que ces changements anatomiques sont le résultats de la psychothérapie.

L'action des drogues

(Jean-Pierre Changeux)

La plupart des drogues affectant notre cerveau et nos conduites – et qui peuvent d'ailleurs entraîner une dépendance - agissent au niveau des récepteurs de neuromédiateurs. Leur action est d'autant plus importante au niveau du psychisme qu'elles agissent sur la réception des neuromédiateurs très répandus comme ceux qui inondent le cerveau à l'occasion de changements d'états de conscience tels que l'éveil, le sommeil et le stress.

Ces neuromédiateurs sont produits et libérés par des neurones présents en petit nombre dans la base du cerveau, mais qui envoient des terminaisons dans l'ensemble de l'encéphale. Les récepteurs se trouvent donc distribués dans la plupart de nos cellules nerveuses et les drogues vont agir au niveau de ces récepteurs, entraînant un changement global de nos fonctions cérébrales.

La prise de drogue altère donc la chimie du cerveau et entraîne en quelque sorte, une réorganisation biochimique de nos cellules nerveuses, qui est à l'origine de l'accoutumance et de la dépendance.