

Cerveau en fiches

CHAPITRE 4 : APPRENTISSAGE, MÉMOIRE ET LANGAGE

DANS CE CHAPITRE

- Apprentissage et mémoire
- Langage

Apprentissage et mémoire

Une découverte capitale pour la compréhension de comment notre cerveau nous permet d'apprendre et de mémoriser a commencé avec l'étude d'un patient connu par ses initiales, H.M. Quand il était enfant, H.M. développa une forme grave d'épilepsie difficile à traiter. Les traitements traditionnels n'apportant aucun soulagement, H.M. dut subir un traitement chirurgical, l'ablation des régions médianes de ses lobes temporaux. La chirurgie fut efficace au sens où elle soulagea fortement l'épilepsie, mais elle laissa H.M. avec une amnésie sévère. Il ne pouvait se rappeler les événements récents que pour seulement quelques minutes et était devenu incapable de former des souvenirs explicites de nouvelles expériences. Par exemple, après avoir discuté avec lui pendant quelques instants et avoir quitté la pièce, en revenant le voir il était clair que H.M. ne se souvenait pas de cet échange.

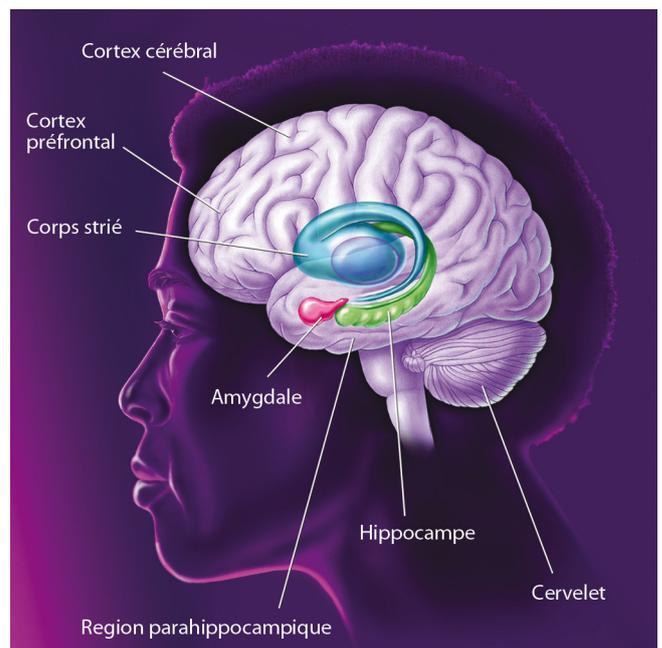
Bien que H.M. soit incapable de se souvenir de nouvelles informations, il se rappelait très bien son enfance. De ces observations inattendues, les chercheurs tirèrent la conclusion que la région du lobe temporal excisée, incluant l'hippocampe et la région parahippocampique, devait jouer un rôle crucial dans la conversion de mémoires à court terme en mémoires à long terme durables. Mais puisque H.M. avait conservé des souvenirs d'expériences survenues longtemps avant l'opération, il semblait que le lobe temporal médian n'était pas le site de stockage permanent mais jouerait plutôt un rôle dans l'organisation et le stockage permanent des souvenirs dans d'autres structures du cerveau.

Depuis lors, les scientifiques ont appris que le lobe temporal médian est étroitement connecté à de vastes régions du cortex cérébral, y compris les régions responsables de la pensée et du langage. Alors que le lobe temporal médian est important pour former, organiser, consolider et rappeler des souvenirs, ce sont les aires corticales qui sont importantes pour le stockage à long terme des faits et événements ainsi que pour la manière dont ces connaissances sont utilisées dans la vie de tous les jours.

Différentes facettes de la mémoire

Notre capacité à apprendre et à se rappeler consciemment des faits et événements de la vie de tous les jours est appelée la mémoire déclarative. Les études d'imagerie fonctionnelle du cerveau ont permis d'identifier un vaste réseau d'aires du cortex cérébral qui travaillent de concert avec l'hippocampe pour façonner la mémoire déclarative. Ces aires corticales jouent des rôles distincts dans des aspects complexes de la perception, du mouvement, des émotions et de la cognition, chacune contribuant à l'expérience globale rassemblée dans la mémoire déclarative.

Quand nous vivons une nouvelle expérience, les informations accèdent d'abord à la mémoire de travail, une forme transitoire de mémoire déclarative. La mémoire de travail dépend du cortex préfrontal ainsi que d'autres aires corticales. Les études chez l'animal ont montré que les neurones du cortex préfrontal maintiennent les informations pertinentes en mémoire de travail et peuvent si nécessaire combiner différentes sortes d'informations sensorielles.



Des aires et systèmes distincts du cerveau sont responsables de différentes formes de mémoire. L'hippocampe, la région parahippocampique et des aires du cortex cérébral (incluant le cortex préfrontal) travaillent de concert pour prendre en charge la mémoire déclarative ou cognitive. Différentes formes de mémoire non déclaratives ou comportementales, sont prises en charge par l'amygdale, le striatum et le cervelet.

Chez l'homme, le cortex préfrontal est fortement activé quand les sujets doivent maintenir et manipuler l'information en mémoire.

Des aires spécifiques du cortex préfrontal gèrent les fonctions exécutives comme la sélection, la répétition et le suivi de l'information rappelée de la mémoire à long terme. Pour assurer ces fonctions, le cortex préfrontal interagit aussi avec un large réseau d'aires corticales postérieures qui encodent, maintiennent et rappellent des informations spécifiques - images visuelles, sons et mots par exemple - ainsi que là où des événements importants ont eu lieu, et bien plus encore.

La mémoire nécessite un changement durable des synapses, les connexions entre les neurones

La mémoire sémantique est une forme de savoir déclaratif qui inclut les faits et données générales. Bien que les scientifiques commencent juste à comprendre la nature et l'organisation des aires corticales impliquées dans la mémoire sémantique, il apparaît que différents réseaux corticaux sont spécialisés dans le traitement de types particuliers d'informations comme les visages, les maisons, les outils, les actions, le langage et bien d'autres catégories de savoir. Les études d'imagerie fonctionnelle chez l'homme normal révèlent des zones dans de larges territoires corticaux qui traitent sélectivement des catégories différentes d'informations comme les animaux, les visages ou les mots.

Nos souvenirs d'expériences personnelles qui sont survenues en des lieux et à des moments particuliers font appel à la mémoire épisodique. On pense généralement que les aires du lobe temporal médian jouent un rôle crucial dans le traitement et le stockage initial de ces mémoires. Les recherches montrent que différentes parties de la région parahippocampique jouent des rôles distincts dans le traitement des informations relatives au « quoi », au « où » et au « quand » qui s'attachent à des événements spécifiques. L'hippocampe lie ces éléments d'une mémoire épisodique. Les liens sont alors intégrés en retour dans diverses régions corticales responsables de chaque type d'information.

Le fait que H.M. et d'autres patients amnésiques aient des déficits de certains types de mémoires mais pas d'autres indique que le cerveau possède de multiples systèmes de mémoire qui s'appuient sur des régions cérébrales distinctes. Les connaissances non déclaratives, le savoir « comment faire quelque chose », souvent appelé mémoire procédurale, s'exprime par des

habiletés comportementales et des procédures automatiques apprises qui requièrent un traitement de l'information par les ganglions de la base et le cervelet. Le cervelet est spécifiquement impliqué dans les tâches motrices qui demandent une coordination temporelle. L'amygdale joue un rôle important dans les aspects émotionnels de la mémoire, adjoignant une signification émotionnelle à des stimuli ou événements qui, autrement, apparaîtraient neutres. L'expression de mémoires émotionnelles implique aussi l'hypothalamus et le système nerveux sympathique qui prennent en charge les réactions émotionnelles et les sentiments. Le cerveau traite donc différentes catégories de mémoire de manière séparée.

Le stockage des mémoires

Comment les mémoires sont-elles stockées dans les cellules du cerveau ? Après des années de recherche, tout indique que la mémoire implique des changements durables des synapses, les connexions entre neurones. Dans les études réalisées chez l'animal, les chercheurs ont montré que ces changements apparaissent rapidement grâce à des événements biochimiques qui modifient la force des synapses mobilisées. L'activation de certains gènes entraînerait des modifications de la force et du nombre de synapses, permettant de stabiliser les nouveaux souvenirs. Par exemple, les chercheurs qui étudient un mollusque marin, *Aplysia californica*, peuvent corréler des changements chimiques et structuraux spécifiques dans certains neurones avec plusieurs formes de mémoire chez cet animal.



*Des chercheurs ont identifié des mécanismes cellulaires de la mémoire en étudiant le mollusque marin *Aplysia californica*. [Crédit photo : Thomas J. Carew, PhD, New York University]*

Un autre modèle important pour l'étude de la mémoire est le phénomène de potentialisation à long terme (PLT) qui correspond à une augmentation durable de la force des réponses synaptiques après stimulation. La PLT se produit de manière prépondérante dans l'hippocampe ainsi que dans le cortex et d'autres aires cérébrales impliquées dans

diverses formes de mémoire. La PLT se produit à la suite d'un changement de force aux contacts synaptiques qui possèdent des récepteurs N-méthyl-D-aspartate (NMDA). Ensuite, une série de réactions moléculaires joue un rôle clé dans la stabilisation des changements des fonctions synaptiques qui apparaissent dans la PLT. Ces événements moléculaires commencent par la libération d'ions calcium dans la synapse qui active une molécule, l'adénosine monophosphate cyclique (AMPc), dans le neurone post-synaptique. Cette molécule active alors plusieurs sortes d'enzymes dont certaines augmentent le nombre de récepteurs synaptiques, rendant la synapse plus sensible aux neuromédiateurs. De plus, l'AMPc active une autre molécule, appelée protéine de liaison à l'élément de réponse à l'AMPc (cAMP-response element binding protein ou CREB). La protéine CREB agit dans le noyau des neurones où elle active une série de gènes dont un grand nombre dirige la synthèse de protéines. Parmi les protéines ainsi produites, les neurotrophines vont conduire à la croissance de la synapse et à une augmentation de la réponse des neurones lorsqu'ils seront stimulés.

De nombreuses études ont montré que la cascade moléculaire qui conduit à la synthèse de protéines n'est essentielle ni à l'apprentissage initial ni pour maintenir la mémoire à court terme, mais est essentielle pour la mémoire à long terme. De plus, les recherches menées chez des souris génétiquement modifiées montrent que des altérations de gènes spécifiques qui codent des récepteurs NMDA ou CREB peuvent radicalement affecter la capacité d'expression de la PLT dans certaines régions du cerveau. Qui plus est, les mêmes recherches montrent que ces molécules sont cruciales pour la mémoire.

Ces nombreuses recherches sur la mémoire chez l'homme et chez l'animal aboutissent à la conclusion que la mémoire n'est pas stockée dans un centre unique. En fait, la mémoire est très probablement stockée dans une collection de systèmes corticaux distribués qui sont aussi impliqués dans la perception, le traitement et l'analyse du matériel qui est appris. En somme, chaque partie du cerveau contribue très probablement de manière différente au stockage permanent en mémoire.

Langage

Une des facultés humaines les plus saisissantes est le langage, un système complexe qui implique de nombreuses composantes telles que fonctions sensori-motrices et systèmes de mémoire. Bien que le langage ne soit pas complètement compris, les chercheurs ont beaucoup appris sur cette fonction cérébrale par l'étude de patients qui ont perdu leurs capacités de langage et de production verbale à la suite d'accidents vasculaires cérébraux. Les analyses génétiques de cas de maladies développementales du langage et les études d'imagerie cérébrale chez l'homme normal ont également beaucoup apporté.

On sait depuis longtemps que les atteintes de différentes régions de l'hémisphère gauche entraînent des

altérations du langage, ou aphasies. Des lésions du lobe frontal gauche peuvent produire des aphasies dites non fluentes comme l'aphasie de Broca, un syndrome dans lequel les capacités de production verbales sont perturbées. La production verbale est lente et hésitante, réclamant des efforts, et manque souvent de complexité dans les mots et la structure des phrases. Bien que la parole soit perturbée, les aphasiques non fluents peuvent toujours comprendre ce qui est dit, à l'exception de phrases structurellement complexes qui peuvent être mal comprises.

Des lésions du lobe temporal gauche peuvent quant à elles conduire à une aphasie dite fluente, comme l'aphasie de Wernicke, dans laquelle la compréhension du langage parlé est déficiente. La fluence et la vitesse de la production verbale sont normales mais cette dernière est souvent pleine d'erreurs de sons et de sélection de mots et tend à devenir un charabia inintelligible.

Des atteintes des lobes temporaux supérieurs peuvent produire une surdité verbale, une incapacité profonde à comprendre le langage parlé à tous niveaux. Alors que les patients souffrants d'aphasies de Wernicke peuvent souvent comprendre des morceaux d'énoncés parlés et des mots isolés, ceux atteints de surdité verbale sont fonctionnellement sourds pour la parole, ayant perdu la capacité à comprendre même des mots isolés bien qu'étant parfaitement capables d'entendre des sons et même d'identifier la charge émotionnelle du discours ou le sexe de la personne qui parle.

Les chercheurs ont appris beaucoup sur le langage en étudiant des patients qui ont perdu leurs capacités de production verbale et de langage

Les recherches sur l'aphasie ont abouti à plusieurs conclusions sur les bases neurales du langage. À une époque, les chercheurs ont cru que tous les aspects du langage étaient gouvernés par l'hémisphère gauche. Cependant, la reconnaissance du son et des mots du langage implique aussi bien l'hémisphère gauche que le droit. À l'inverse, la production verbale est fortement dominée par l'hémisphère gauche, en particulier les aires du lobe frontal mais aussi de régions postérieures du lobe temporal gauche. Ces régions sont importantes pour l'accès aux sons et mots appropriés.

Bien que notre compréhension de comment le langage est produit et compris soit loin d'être complète, plusieurs techniques, dont les études génétiques et les méthodes d'imagerie sont de plus en plus utilisées. Avec ces outils on peut espérer recueillir des connaissances nouvelles et importantes sur cet aspect fondamental des fonctions du cerveau.

Durant la dernière décennie, de nouvelles idées ont émergé grâce aux études de génétique moléculaire de maladies héréditaires qui affectent le développement de

la production verbale fluente et du langage. Par exemple, de rares mutations d'un gène appelé FOXP2 altèrent l'apprentissage de séquences de mouvements de la bouche et de la mâchoire qui sont impliquées dans la production verbale, accompagné de difficultés qui affectent à la fois le langage parlé et écrit. Le gène FOXP2 code une protéine particulière qui contrôle l'activation et l'inactivation d'autres gènes dans des régions spécifiques du cerveau. Des changements dans la séquence nucléotidique de ce gène pourraient avoir eu un rôle important dans l'évolution. Les chercheurs étudient les différences dans ce gène entre humains et animaux pour accroître les connaissances sur le développement du langage.

Les méthodes d'imagerie fonctionnelle aussi ont permis d'identifier de nouvelles structures impliquées dans le langage. Des systèmes engagés dans l'accès au sens des mots sont localisés (en partie) dans les parties médianes et inférieures du lobe temporal. De plus, des études importantes examinent le lobe temporal antérieur comme un site qui pourrait participer dans certains aspects de la compréhension des phrases.

Des travaux récents ont aussi identifié dans le lobe temporal postérieur un circuit sensori-moteur impliqué dans la parole dont on pense qu'il aide à la communication entre les systèmes de reconnaissance de la parole et de production verbale. Ce circuit est impliqué dans le développement de la parole et on pense qu'il prend en charge la mémoire verbale à court terme.

Tout aussi important est le rôle du cerveau dans le mouvement. Par exemple, une partie du langage doit utiliser correctement les muscles de la bouche et de la mâchoire. Dans tout le corps, les muscles nous permettent de se mouvoir de nombreuses façons sophistiquées. Le chapitre 5 traite des interactions réciproques complexes entre le cerveau et les muscles de notre corps.

Traduction : Serge Laroche, CNRS & Université Paris Sud