

information ou son rappel nécessite la communication et la coordination de cliques intra- et interstructures. Or quand de vastes cliques déchargent simultanément, le courant résultant peut être détecté sur le cuir chevelu quand on enregistre l'activité par électroencéphalographie, EEG. La communication entre les cliques est probablement liée aux oscillations cérébrales. Celles-ci apparaissent quand on enregistre l'activité globale moyenne d'une structure cérébrale.

Ainsi, quand un animal doit apprendre à associer différents contextes à des emplacements où a été déposée une récompense, on observe dans l'hippocampe des ondes dites *thêta*, dont la fréquence est comprise entre quatre et dix hertz. Il existe aussi un rythme nommé *gamma*, dont la fréquence est comprise entre 30 et 150 hertz, et sans doute un code *thêta-gamma* où les deux rythmes s'imbriqueraient. C'est ce qu'ont montré en 2013 John Lisman, de l'Université Brandeis, aux États-Unis, et Ole Jensen, de l'Université Radboud, à Nimègue, aux Pays-Bas : les cellules qui codent diverses informations déchargent à différentes phases du rythme *thêta*, mais tous les neurones (qu'il s'agisse de cliques ou de réseaux) qui codent une même information déchargent au même moment du cycle *gamma*.

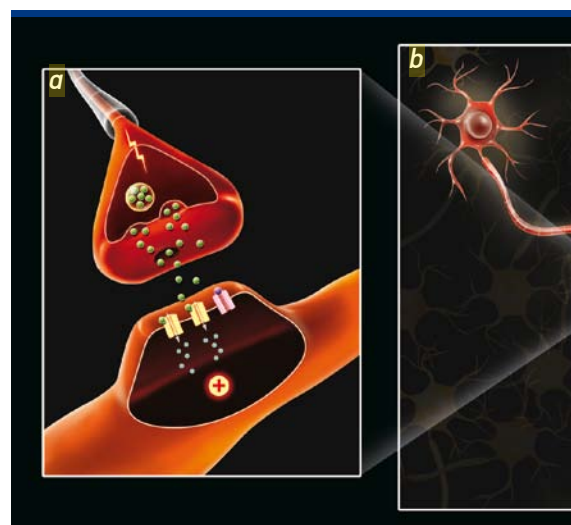
Enfin, ce « couplage oscillatoire » apporte un niveau supplémentaire d'organisation entre les structures de la mémoire. Toutes les structures nerveuses ne sont pas activées en même temps, de la même façon, pour les informations qu'il faut apprendre, mémoriser ou rappeler. L'hippocampe est impliqué dans la mémoire déclarative épisodique qui permet de stocker des informations ayant des repères temporels et spatiaux (mon trajet à moto, par exemple). On peut rappeler consciemment ces informations qui ont des repères contextuels. L'hippocampe est nécessaire pour apprendre et mémoriser les informations épisodiques. La trace mnésique de l'information est ensuite transférée de l'hippocampe vers le cortex pour être stockée à long terme. Simultanément, il y a un désengagement de l'hippocampe, c'est-à-dire que les cliques initialement sollicitées pour la mémorisation de tel ou tel savoir-faire ou connaissance ne sont plus activées (ou le sont plus faiblement) par ce stimulus, et ce sont des cliques présentes dans le cortex qui prennent le relais.

Ainsi, une information épisodique serait d'abord stockée dans l'hippocampe sous forme détaillée, mais, avec le temps, se développerait une version plus schématique de cette information au niveau du cortex. Gordon Winocur et ses collègues, de l'Université Trent, au Canada, ont récemment proposé que l'hippocampe et le cortex étant en interaction permanente, chaque trace mnésique pourrait être réactivée selon le contexte. Dès lors, quand un réseau reliant l'hippocampe et le cortex et correspondant à un souvenir particulier est réactivé, il est légèrement modifié. Les mécanismes de modification – même légère – des cliques neuronales codant les souvenirs expliquent que la mémoire humaine évolue avec le temps.

Mémoire biologique versus mémoire numérique

Après avoir brossé ce tableau de la mémoire biologique, peut-on comparer ses avantages et ses inconvénients avec ceux de la mémoire numérique ? Question simple en apparence, qui appelle une réponse complexe, car on ne compare pas deux « entités » similaires. Au sens strict, la mémoire numérique est le stockage pur et simple d'informations, par un code binaire, sur différents supports. D'un point de vue biologique, c'est un ensemble de processus étroitement liés qui assurent aussi bien l'acquisition que la restitution de l'information et dont on ne connaît pas encore les mécanismes précis. Le concept de mémoire biologique est plus complexe, plus large et plus flou (ou méconnu) que celui de mémoire numérique.

La mémoire doit stocker les informations pendant longtemps et sans altération. Sur ces deux aspects, l'avantage semble être à la mémoire numérique. En effet, il n'est pas facile de se rappeler précisément un événement et, pire, on peut se souvenir d'une information fautive, alors qu'il est si facile de faire une recherche sur le Web quand on a oublié une date, un chiffre ou la chronologie des rois de France. On obtient l'information en quelques clics. En revanche, elle n'est pas toujours fiable. De plus, la conservation à long terme d'une information numérique est toute relative. Au contraire, de par son organisation en réseaux de neurones interconnectés, le

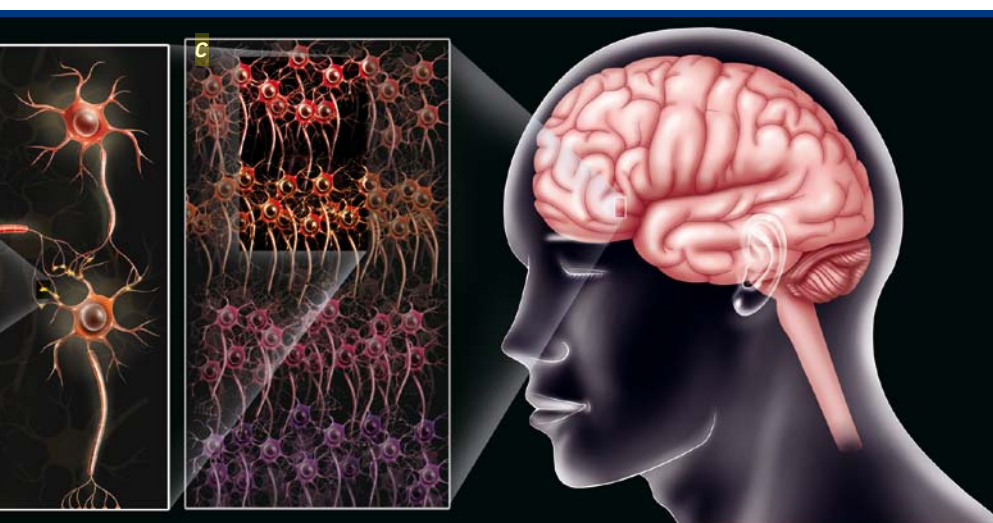


2. LA MÉMOIRE EST ORGANISÉE en plusieurs niveaux, de la molécule (neurotransmetteurs, récepteurs, etc.), à la synapse, élément clé de la mémorisation [a], puis aux dendrites qui

cerveau est capable de reconstituer une information (ou un comportement) même s'il lui manque une partie des informations qui s'y rapportent.

La capacité de stockage est un autre aspect de la mémoire. Celle-ci a augmenté exponentiellement pour les supports numériques, ce qui n'est pas le cas de notre cerveau. Toutefois, pour un support donné, la capacité de stockage est fixe et, une fois qu'elle est atteinte, il faut effacer des informations afin d'en stocker de nouvelles (ou prendre un autre disque dur !). Au contraire, la plasticité du système nerveux permet d'augmenter sa capacité de stockage (augmentation du nombre et de l'efficacité des synapses, des dendrites et des axones, du nombre de neurones, ou modification des réseaux de neurones). Autant de processus qui font que plus on apprend, plus il est facile d'apprendre !

Mais cela ne signifie pas que le cerveau ait une capacité de stockage illimitée. Nous ne savons toujours pas précisément comment il stocke et rappelle une information. Par conséquent, il est illusoire de vouloir calculer sa capacité comme on peut le faire pour un ordinateur. La « puissance » de stockage de la mémoire numérique résulte plus de la rapidité de communication entre les différents supports numériques (Web) que de la capacité d'un support (un ordinateur) en particulier. Par ailleurs, les données mémorisées sur Internet ne sont rien de plus que la somme de toutes les connaissances accumulées par l'homme



portent des milliers de synapses (b). Viennent ensuite des clusters de synapses et de dendrites, et les réseaux locaux de neurones, ou cliques (c), activés par le même événement.

Enfin, on trouve des réseaux de neurones plus ou moins vastes, qui mettent en jeu des aires réparties dans tout le cerveau et communiquent. Le cloud de l'être humain ?

au fil du temps. La mémoire numérique est-elle supérieure à la « métamémoire » humaine, somme de toutes les connaissances de tous les êtres humains ?

Si l'on fait une comparaison (approximative) entre le cerveau et l'ordinateur, les deux systèmes présentent une mémoire procédurale qui permet de maintenir temporairement une quantité limitée d'informations pour réaliser des opérations. Dans un ordinateur, il s'agit de la mémoire vive (RAM), localisée au niveau des microprocesseurs réalisant les opérations, les résultats étant enregistrés sur le disque dur. Dans le cerveau, la mémoire est distribuée dans un réseau plus ou moins vaste de structures réparties dans les différents lobes du cerveau (préfrontal, pariétal, temporal et occipital) qui servent elles-mêmes à stocker des informations à long terme.

Le numérique perturbe-t-il la mémoire biologique ?

Au-delà des performances respectives des deux types de mémoires, l'utilisation de plus en plus importante des divers médias numériques, et donc des situations de tâches multiples simultanées qui demandent une division de l'attention, n'aura-t-elle pas une influence sur la mémoire biologique ?

L'utilisation de jeux vidéo qui nécessitent de gérer simultanément plusieurs paramètres (flux visuel dans l'environ-

nement produit par le déplacement des personnages, évolution de leurs positions, interactions des personnages, gestion des armes, des munitions, etc.), souvent dans des fenêtres différentes, permet de développer les capacités multitâches des sujets. En revanche, le traitement de l'information selon que l'on réalise une tâche unique ou plusieurs tâches simultanées diffère. La résolution de tâches multiples simultanées entraîne un traitement automatisé et non conscient des informations qui fait intervenir des structures différentes de celles que nécessite une attention focalisée.

Quelle est l'influence sur la mémoire ? Un début de réponse est donné par les résultats de l'expérience réalisée en 2003 par Helene Hembrooke et Geri Gay, de l'Université Cornell, aux États-Unis. Durant un cours, la moitié des étudiants devait utiliser un ordinateur portable pour surfer sur le Web, chercher des pages relatives au cours (ou non), et donc suivre le cours en mode multitâches, pendant que l'autre moitié devait simplement écouter le cours. Lors du rappel du contenu du cours, les performances des étudiants multitâches ont été inférieures à celles des autres étudiants.

De plus, les étudiants ayant consulté plus de pages relatives au cours n'avaient pas de meilleures performances que les autres étudiants ayant utilisé Internet pour des recherches sans lien avec le cours. Ainsi, suivre un cours en situation de multitâches et de multisupports entraîne un déficit mnésique. Les étudiants « monotâche » ont suivi le cours de façon consciente, en focalisant leur attention, alors que les « multitâches » l'ont fait de façon superficielle, partageant leur attention entre l'ordinateur et le professeur.

Si l'on n'a pas encore mis au jour tous les mécanismes qui sous-tendent la mémoire biologique, il est avéré que cette mémoire est performante et pertinente : on sait retrouver, de façon non consciente et en quelques dixièmes de seconde le souvenir adapté à telle ou telle situation. Et même si Internet est plus rapide, donnant des liens en quelques centièmes de seconde, il faut ensuite soi-même faire le tri – conscient – entre les millions de pages correspondant parfois à la requête. L'internaute doit alors décider de la page qui répond vraiment à sa demande, ce qui prend généralement plusieurs minutes, voire bien davantage ! ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Papoutsis *et al.*, Coding and decoding with dendrites, *J. Physiol.*, à paraître, 2013.

T. Bliss et G. Collingridge, Expression of NMDA receptor-dependent LTP in the hippocampus : bridging the divide, *Mol. Brain*, vol. 6(5), 2013.

J. Lisman et O. Jensen, The theta-gamma neural code, *Neuron*, vol. 77, pp.1002-1016, 2013.

M. Sanhueza et J. Lisman, The CaMKII/NMDAR complex as a molecular memory, *Mol. Brain*, vol. 6(10), 2013.

R. Legenstein et W. Maass, Branch-specific plasticity enables self-organization of nonlinear computation in single neurons, *J. Neurosci.*, vol. 31, pp. 10787-10802, 2011.

G. Winocur *et al.*, Memory formation and long-term retention in humans and animals : Convergence towards a transformation account of hippocampal-neocortical interactions, *Neuropsychologia*, vol. 48, pp. 2339-2356, 2010.

J. Tsien, Le langage (codé) de la mémoire, *Pour la Science*, n° 359, pp. 26-32, 2007.