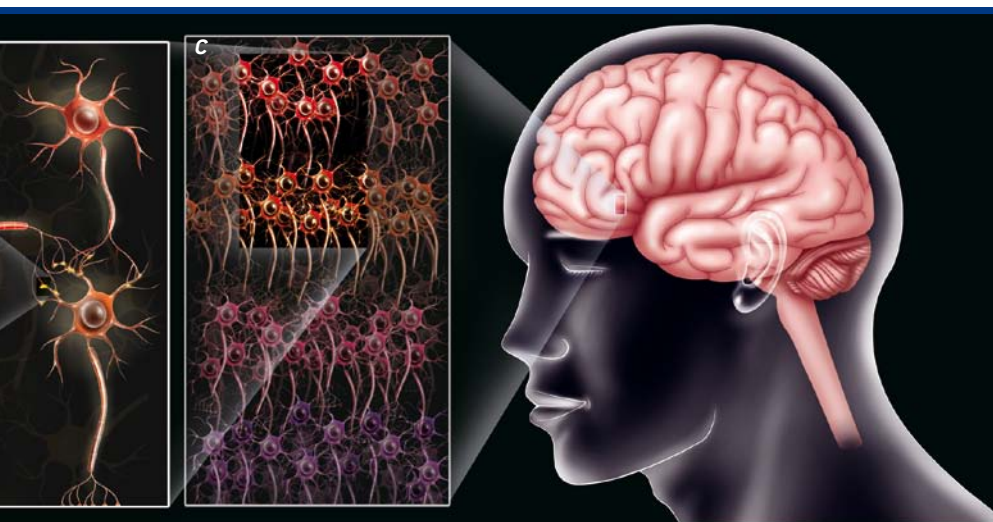




portent des milliers de synapses [b]. Viennent ensuite des clusters de synapses et de dendrites, et les réseaux locaux de neurones, ou cliques [c], activés par le même événement.

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 LPT 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.

HISTOIRE DES SCIENCES

Cinquante ans de chaos

En 1963, un météorologiste américain, Edward Lorenz, révéla que la prédictibilité déterministe est dans certains cas illusoire. La théorie du chaos prenait forme...

Adilson MOTTER et David CAMPBELL

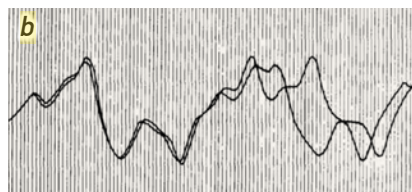
En physique classique, on apprend qu'à partir des conditions initiales d'un système, on peut calculer tous ses états futurs. Un déterminisme que le mathématicien français Pierre Simon Laplace étendait à tout l'Univers et expliquait en ces termes dans sa *Théorie analytique des probabilités* (1812) : « Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'Univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux. »

Mais dans la réalité, la connaissance exacte d'un état initial est impossible. Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, l'hypothèse tacite était qu'une connaissance approchée de l'état initial conduisait à une connaissance approchée de l'état final. Au vu de leurs succès dans la description du mouvement des planètes, des comètes, des étoiles et de la dynamique d'innombrables autres systèmes, les physiciens n'avaient pas de raison de supposer le contraire.

Cependant, à partir de la fin du XIX^e siècle, une série de travaux ont révélé que la notion de prédictibilité déterministe, bien que séduisante et intuitive, est fautive pour la plupart des systèmes. De petites incertitudes sur l'état initial peuvent conduire à d'énormes erreurs sur l'état final. Même des systèmes dont toutes les forces sont connues peuvent

avoir un comportement imprévisible. Le déterminisme n'exclut pas le chaos.

Le point culminant de ces recherches fut un article publié il y a 50 ans par un météorologiste de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), Edward Lorenz [1917-2008]. C'est cette histoire de la découverte



1. EDWARD LORENZ étudiant une série temporelle de solutions numériques de son modèle météorologique, générée par ordinateur (a). En comparant deux séries produites à partir des mêmes équations, mais avec des conditions initiales légèrement différentes, il s'aperçut que les séries divergeaient rapidement (b).

du chaos déterministe et de ses implications que nous racontons ici. Ses acteurs sont nombreux – trop pour être tous cités. Nous présentons nos excuses à ceux dont nous n'avons pu mentionner les contributions.

Une galerie de monstres

La théorie du chaos, telle que nous la connaissons aujourd'hui, a pris forme au cours du dernier quart du XX^e siècle. Mais dès la fin des années 1880, les physiciens ont été confrontés au phénomène, à commencer par Henri Poincaré lorsqu'il s'intéressa au problème des trois corps en mécanique céleste. Il s'agissait de déterminer la trajectoire de trois corps interagissant selon la loi de la gravitation universelle.

De tels systèmes sont bien décrits dans l'espace des phases. Dans cet espace, les dimensions correspondent aux variables dynamiques – les positions, les quantités de mouvement –, qui permettent de décrire le système par des équations différentielles du premier ordre. L'idée dominante avait longtemps été que, laissé à lui-même, un système classique ordinaire finit par converger soit vers un état stable, correspondant à un point dans l'espace des phases, soit vers un état périodique (une boucle fermée dans l'espace des phases), soit vers un état quasi-périodique (un tore dans l'espace des phases).

Or les trajectoires à trois corps calculées par Poincaré ne s'inscrivaient dans aucune de ces catégories : elles formaient un enchevêtrement complexe de courbes, aujourd'hui bien connu des théoriciens du chaos. Pour Poincaré, le déterminisme avait