

Vers une théorie de la mémoire

Autor(en): **Dolivo, Michel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **70 (1968-1970)**

Heft 328

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-276255>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Vers une théorie de la mémoire

PAR

MICHEL DOLIVO

Institut de Physiologie de l'Université
Faculté de Médecine

La mémoire est une connaissance du passé grâce à laquelle l'homme et l'animal peuvent tenir compte d'expériences vécues antérieurement. Elle permet de faire des erreurs en pensée, et de les éviter dans la réalité. Depuis de nombreuses années les psychologues, les neurologues et les neurophysiologistes tentent d'analyser les mécanismes selon lesquels fonctionne cette faculté, qui assure ainsi la survie de l'individu et celle de l'espèce.

La biologie moléculaire permet depuis quelques années l'élaboration d'une théorie de la mémoire. Pour être valable, celle-ci doit grouper en un tout cohérent les données des sciences biologiques, psychologiques, mathématiques, physiques et chimiques. Ces données façonnent la théorie, l'obligent à tenir compte de certaines observations, et souvent interdisent des hypothèses que d'autres faits permettaient de formuler.

Il convient donc de rapporter certaines acquisitions des sciences dont les progrès influencent le développement d'une théorie de la mémoire.

Depuis fort longtemps les psychologues étudient les conditions de la fixation, de l'évocation et de l'oubli d'une image mnémonique. Parmi les facteurs influençant l'acquisition et la fixation, il faut retenir l'âge. Certaines images fondamentales ne peuvent se fixer qu'à un certain moment, dans des limites de temps étroites, bien étudiées chez les oiseaux par exemple. L'image maternelle chez le Canard est une image visuelle, fixée d'autant plus fortement qu'elle est acquise entre la quinzième et la dix-septième heure après l'éclosion ; en revanche, chez le Guillemot, cette image est auditive, et s'acquiert avant l'éclosion de l'œuf.

D'autre part, la psychologie expérimentale a mis en évidence une succession temporelle dans la fixation de l'image mnémonique. L'information est retenue d'abord dans un système de mémoire à court terme,

¹ Rédigé sur la base d'une conférence présentée à la Société vaudoise des Sciences naturelles le 8 novembre 1967.

puis transférée dans une mémoire à long terme, où elle peut être gardée, éventuellement, de façon permanente.

On peut établir la courbe de déclin d'une information gardée à court terme. Présentée une seule fois au sujet, cette information consiste expérimentalement en une liste de syllabes ou de nombres, sans séquence ayant une signification apparente. Pour une telle liste de six à dix syllabes de trois lettres, la trace mnémonique à court terme s'efface après dix-huit secondes. Pour des syllabes plus courtes, la rétention est plus longue ; elle l'est encore davantage pour une seule lettre ou un mot qui par fusion est assimilé à une lettre. Le déclin de la trace mnémonique à court terme paraît plus lent pour une information visuelle qu'auditive, probablement parce que les interférences avec d'autres informations sont plus importantes dans le système auditif, qui est plus analytique.

L'information présentée ou évoquée plusieurs fois passe dans le système de fixation à long terme. Cette acquisition est d'autant plus rapide qu'une signification est introduite dans ce qui est appris, et que le pouvoir d'attention est grand. L'attention est la faculté qui permet de diminuer l'importance des afférences des organes sensoriels à l'exception de l'un d'eux, dont les informations sont alors prévalentes.

La vitesse de l'acquisition et la capacité de rétention s'améliorent beaucoup avec l'exercice de la mémoire et le fractionnement de la tâche. Un apprentissage en une fois ne laisse souvent aucune trace après un mois sans répétition, alors que le 30 % de la même tâche non répétée est encore disponible dans le même délai, si l'acquisition en a été fractionnée.

La répétition améliore la rétention d'une information, surtout lorsqu'un intervalle occupé par le sommeil ou par une activité différente s'intercale entre l'acquisition et la répétition. Tout se passe comme s'il fallait oublier un peu pour prêter plus d'attention lors de la deuxième présentation, et mieux retenir l'information. Celle-ci est particulièrement vulnérable lorsqu'elle se trouve dans le système de mémoire à court terme, ou qu'elle est en train de se fixer dans celui à long terme. Cette fixation peut être retardée par une évocation volontaire trop précoce, altérée si ce n'est empêchée par des conditions métaboliques défavorables : manque de glucose ou d'oxygène, imprégnation par un produit chimique étranger neurotrope ou par un traumatisme grave. Même l'image fraîchement fixée peut être effacée dans ces conditions, et dès lors l'amnésie cache pour toujours au patient un fragment de ce qu'il a vécu.

Il faut vingt minutes au moins pour que l'information d'abord retenue dans la mémoire à court terme passe dans le système à long terme où sa fixation se consolide et où elle pourra être gardée de façon permanente, à l'abri des accidents métaboliques qui pourraient l'effacer.

Toutefois, même après avoir été inscrite dans le système à long terme, l'information peut se perdre faute d'un rappel périodique. L'oubli n'efface pas plus vite ce qui est acquis péniblement et lentement que ce qui est assimilé facilement et vite. Celui qui a de la peine à apprendre n'a pas de raison d'oublier plus rapidement.

Le déclin de la trace mnémonique est très constant : 20 % d'une liste de syllabes sans signification, apprise une seule fois et non répétée, s'efface en vingt-quatre heures. Si plusieurs listes au contenu semblable sont apprises simultanément une seule fois, l'oubli en effacera le 60 % en vingt-quatre heures. Il existe donc une interférence entre des informations similaires qui en gênent l'acquisition et la rétention.

L'oubli n'est pas toujours l'expression d'une fixation mal assurée ou d'un déclin total et irréversible de la trace mnémonique : en effet, se sachant en possession du document, on est parfois incapable de le produire. L'évocation du souvenir, c'est-à-dire l'accès volontaire à la trace mnémonique, est parfois impossible.

Un des mécanismes les plus importants permettant l'acquisition et la rétention mnémoniques est l'association, c'est-à-dire l'établissement d'une corrélation significative entre les informations. Le pouvoir associatif est tellement important qu'il agit même sur l'apprentissage de lettres ou de chiffres qui n'ont apparemment ni consonance, ni lien logique. Ce pouvoir d'association est une des propriétés fondamentales du tissu nerveux : il lie des réactions qui ont été déclenchées ensemble et restent associées dans le temps. L'induction spinale successive étudiée par SHERRINGTON, de même que les réflexes conditionnés de PAVLOV en sont les témoins. Les animaux de PAVLOV ne peuvent échapper à l'effet du signal lumineux ou acoustique qui a été associé à un repas et cause la salivation. Cet effet est renforcé par une détermination rigoureuse du temps qui s'écoule entre la présentation du signal (environ cinq secondes au début) et l'apparition du repas, ainsi que par le nombre de répétitions. Les travaux actuels consacrés à la mémoire associative utilisent une technique de conditionnement un peu différente, dite opérationnelle : l'animal a la faculté de ne pas répondre au signal qui lui est présenté. Le renforcement de la réaction conditionnée est assuré par l'animal lui-même, car une réponse positive lui apporte un avantage (sous forme de nourriture par exemple) qui contribue à l'établissement d'un tonus affectif positif.

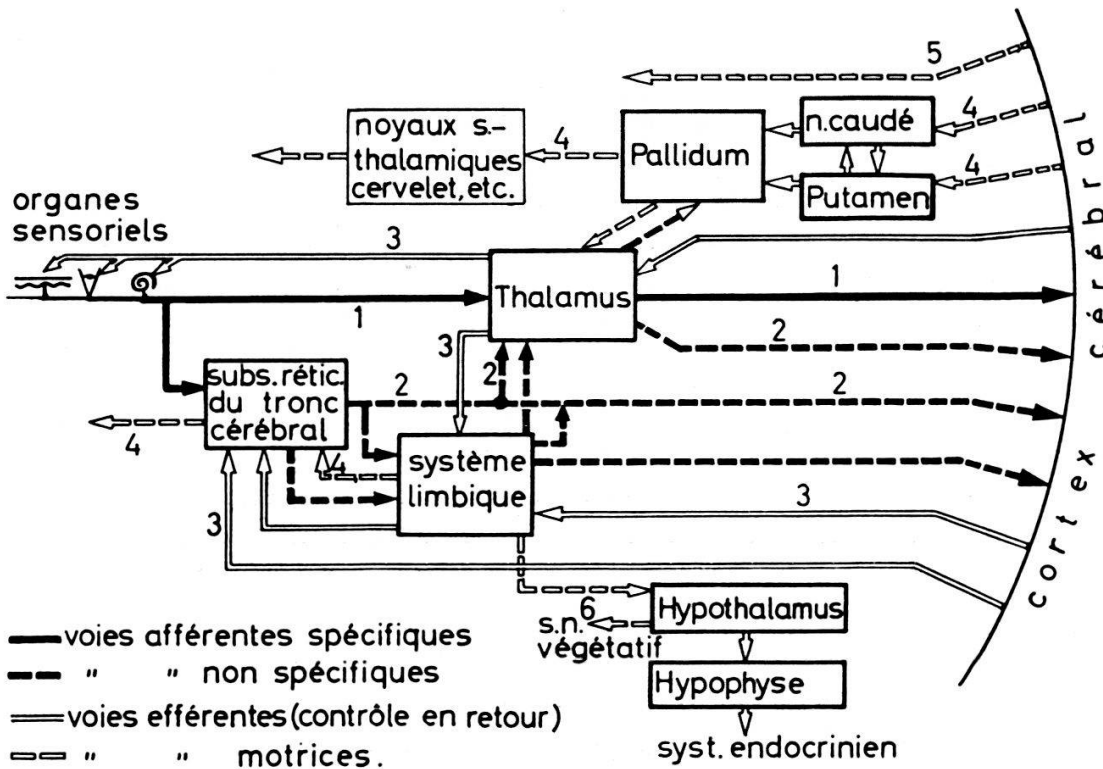
L'évocation d'un souvenir est liée à cette faculté associative du système nerveux. Il y a presque toujours un « rappel » sous forme d'une excitation sensorielle, d'un son, d'une odeur ou d'une couleur. Autrement dit, des influx nerveux partis des mêmes organes récepteurs, parcourant les mêmes voies et aboutissant là où une première fois ils ont déclenché une sensation, font apparaître le souvenir de l'événement

passé. Chez l'homme, cette stimulation sensorielle peut être remplacée par le mot qui, ayant un pouvoir évocateur aussi puissant que la sensation renouvelée, peut s'y substituer. L'image mnémonique, évoquée volontairement ou apparue sans raison consciente du rappel, est souvent déformée et simplifiée par le temps. Parfois la mémoire ne peut plus être sollicitée, parce que le souvenir cause un tonus affectif négatif.

Les structures par lesquelles l'organisme vivant doté de mémoire transforme les événements du monde extérieur en images qui peuvent être stockées et évoquées ont été étudiées par les neurophysiologistes.

Les récepteurs que sont l'œil ou l'oreille, par exemple, sont sensibles aux variations d'énergie électromagnétique ou mécanique du monde extérieur. Ils les transforment en signaux électrochimiques conduits au cerveau par des fibres nerveuses. Au-delà des organes récepteurs, on ne trouve plus que ces signaux électrochimiques, tous semblables, quelle que soit leur origine ; seule varie la séquence à laquelle ils sont transmis, celle-ci traduisant l'intensité, la longueur d'onde ou la fréquence de l'énergie captée. Selon qu'elles prennent origine dans l'œil ou l'oreille ou un autre récepteur, les fibres nerveuses conduisent ces signaux à des endroits différents du cerveau. C'est là que les ondes électromagnétiques détectées par la rétine deviennent lumière et couleur, que les ondes de pression qui ont frappé le tympan deviennent des sons. Le message prend une valeur affective, positive ou négative, selon que son contenu est jugé laid ou beau, dangereux ou inoffensif, par comparaison avec un stock d'informations déjà acquises. Ce que nous percevons donc n'est jamais la qualité propre d'un objet, mais les propriétés et qualités que cet objet partage avec d'autres dont l'image est stockée dans la mémoire. Une sensation n'existe pas à l'état pur, elle est le résultat de la comparaison et du classement du message reçu parmi d'autres. Faute d'un stock de modèles, les potentiels d'action nerveux provenant des récepteurs et atteignant le système nerveux central n'ont aucune signification. Ainsi les taches de lumière et d'ombre perçues dans le monde extérieur par le nouveau-né ne prennent la signification de formes et d'objets que lentement au cours de la première année, à mesure que des messages visuels confrontés avec des messages auditifs, tactiles ou thermiques sont stockés après avoir acquis une signification.

Le schéma-bloc ci-contre, très simplifié, présente les structures impliquées dans la réception, la reconnaissance des signaux provenant des organes sensoriels, leur transformation en information et leur stockage sous forme d'une image mnémonique. Le flux afférent de ces signaux est « traité » successivement au niveau de la substance réticulée, du thalamus, du système limbique et du cortex cérébral avant que ne s'organise la réponse motrice.



Légende du schéma :

1. Voies afférentes classiques spino-thalamo-corticales.
2. Voies afférentes non spécifiques.
3. « Feed-back » du cortex au tronc cérébral.
4. Voies motrices extra-pyramidales.
5. Voie motrice cortico-spinale.

La substance réticulée du tronc cérébral remplit plusieurs fonctions : par son organisation qui comporte de nombreux circuits convergeant sur les mêmes neurones, elle opère un tri parmi les signaux afférents. Elle élimine ceux qui proviennent de certains organes sensoriels, et par contraste donne plus d'importance à ceux qui sont transmis vers les structures plus haut placées. Ainsi la substance réticulée joue un rôle important dans l'attention. De plus les impulsions qu'elle transmet contrôlent l'excitabilité des neurones corticaux et spinaux : la substance réticulée « éveille » le cortex chaque fois qu'un organe sensoriel commence à transmettre des signaux. Si l'excitation de l'organe sensoriel se prolonge, la réticulée cesse son activité après trente secondes : autrement dit, elle avertit le système nerveux central chaque fois que quelque chose de nouveau se passe, mais ne le renseigne plus s'il n'y a pas de variation dans le monde extérieur. La substance réticulée, indispensable à la reconnaissance de l'information, représente une structure suffisante à l'apprentissage, donc à la mémoire, chez le poisson par exemple.

Dans les circuits complexes du système limbique a lieu une reconnaissance très rapide et globale des signaux afférents. Un jugement

ayant une valeur affective (bon — mauvais, dangereux — inoffensif, etc.) est porté sans analyse fine et déclenche une réaction instinctive motrice, végétative et éventuellement endocrinienne. Le système limbique élabore donc très rapidement une réponse à tout événement survenant dans le monde extérieur, le cortex cérébral, par une analyse plus fine mais plus lente, introduit des nuances dans cette réponse. A noter que des *feed-back* positifs ou négatifs permettent des contrôles en retour de l'activité de ces systèmes.

On a pu calculer et démontrer que chaque dixième de seconde, le cerveau de l'homme enregistre et garde une image faite de l'ensemble des messages (plus de 1000 bits) reçus des organes sensoriels, et transformés préalablement en informations. Ainsi pour une vie de septante ans, 15×10^{12} informations, au moins, peuvent être fixées et sont en principe disponibles.

Dès lors se posent trois problèmes :

Où stocker un tel nombre d'informations ? Le cerveau humain ne contient en effet que dix mille millions de cellules, c'est-à-dire environ 1500 fois trop peu pour permettre de stocker une information par cellule.

Comment sont restituées les informations ? Car, dans une tâche simple — celle de jouer d'un instrument de musique, par exemple — cette restitution se fait à raison d'un ensemble d'informations tous les trente millièmes de seconde, ce qui permet le contrôle des mouvements et du son.

Enfin l'image n'est pas seulement restituée, mais immédiatement comparée à la réalité : à quelqu'un qu'on n'a pas vu depuis des années, on peut dire qu'il n'a pas vieilli.

Chacun des 10^{10} neurones du cortex cérébral n'est pas isolé à l'extrémité d'une fibre nerveuse qui lui apporte des messages, mais est connecté directement ou indirectement avec tous les autres neurones du cortex cérébral.

Il n'y a pas de continuité dans ce réseau : les fibres nerveuses provenant d'un récepteur ou d'une autre cellule nerveuse s'arrêtent à une certaine distance du neurone avec lequel elles doivent entrer en contact : cette jonction particulière s'appelle une synapse. Le signal électrochimique est transmis à travers une synapse grâce à une substance chimique libérée par l'extrémité de la fibre nerveuse tout près de la membrane du neurone. Cette substance — l'acétylcholine, par exemple — en modifie la perméabilité et ce faisant augmente ou diminue l'excitabilité de ce neurone, qui dès lors transmettra, ou ne transmettra pas, le message. Chaque cellule nerveuse est ainsi en contact avec des milliers

d'autres fibres et se trouve engagée dans le fonctionnement de nombreux réseaux dont elle peut être le seul point commun. L'existence de tels réseaux a été démontrée, les témoins électriques de leur fonctionnement ont été enregistrés. On a été ainsi amené à supposer qu'une image mnémonique, au lieu d'être stockée dans une cellule, pourrait l'être dans un réseau dont l'activité bioélectrique serait la forme de stockage de l'image mnémonique. Comme chaque neurone peut appartenir à plusieurs réseaux, on trouve dès lors le moyen de stocker toutes les images à fixer durant une vie, en dépit d'un nombre de cellules insuffisant pour fixer une seule information sur chacune d'elles. Chez les animaux dont le cortex cérébral est peu développé, amphibiens et oiseaux par exemple, l'activité simultanée d'un groupe de récepteurs a la valeur d'une information au niveau rétinien déjà. Dans d'autres espèces, cette analyse est reportée au niveau des réseaux neuroniques du cortex.

Chez la pieuvre, des structures nerveuses différentes comportant des circuits séparés permettent de stocker d'une part des informations visuelles et d'autre part des informations tactiles. Chez l'homme, des réseaux de neurones engagés dans le fonctionnement de la mémoire ont été démontrés au niveau du lobe temporal, des noyaux mamillaires et du système limbique. Au niveau du lobe temporal en particulier, la stimulation électrique d'un point du cortex cérébral effectuée pour détecter une épilepsie focale fait émerger à la conscience du patient qui ne peut les éliminer des images cohérentes du passé. Elles apparaissent dans l'ordre de leur réception, avec une netteté et une précision que n'ont pas les images mnémoniques évoquées volontairement. Cette observation apporte deux faits d'une importance capitale en faveur d'une théorie de la mémoire selon laquelle chaque information doit être stockée sous forme de l'activité d'un réseau de cellules nerveuses : la stimulation d'un même point du cortex temporal impose au patient l'évocation d'un souvenir toujours le même, celui d'un point dont les coordonnées sont différentes impose un autre souvenir. On aurait donc activé deux réseaux voisins contenant des informations différentes. D'autre part le souvenir imposé par stimulation électrique du cortex cérébral s'accompagne des mêmes sentiments affectifs et des mêmes réactions neurovégétatives qu'au moment où l'image a été enregistrée. Comme les réactions végétatives ne sont pas commandées par le cortex cérébral mais par le système limbique et l'hypothalamus, il faut admettre que le réseau activé à partir du lobe temporal est en contact avec d'autres réseaux, situés dans des régions du système nerveux qui sont fort éloignées du lobe temporal.

A noter que l'ablation d'une petite partie du lobe temporal — ou sa destruction à l'occasion d'un traumatisme — ne conduit pas à la perte de l'information, car celle-ci est enregistrée dans plusieurs réseaux et dans les deux hémisphères cérébraux. D'autres faits sont venus

confirmer l'existence de ces réseaux de neurones, activés chaque fois qu'un même message est reçu ou qu'un même souvenir est évoqué.

On peut se demander sous quelle forme l'information est gardée. Il pourrait s'agir d'une activité bioélectrique constamment présente, parcourant les mêmes fibres et les mêmes synapses ; une telle hypothèse pourrait s'appuyer sur le fait que l'électroencéphalographie montre une activité électrique permanente du cortex cérébral. Toutefois cette notion d'une mémoire dynamique faite d'une activité constante ne peut être gardée. L'hypothermie, chez l'animal comme chez l'homme, arrête toute activité électrique dans le système nerveux central. Or au moment de la reprise de cette activité après le réchauffement, les informations qui étaient gardées dans la mémoire à long terme sont présentes. En revanche, tout arrêt de l'activité électrique cérébrale cause la perte de ce qui se trouvait dans la mémoire à court terme. Force est donc d'admettre que la mémoire à long terme implique une trace matérielle » qui permet à une activité bioélectrique de suivre un réseau de neurones selon des constantes spatiales et électriques bien déterminées représentant l'image mnémonique.

A ce point de l'élaboration d'une théorie de la mémoire, on voit que l'information existe d'abord dans le système nerveux sous forme d'une activité bioélectrique se propageant le long d'un réseau fait de neurones et de leurs prolongements. Si ce réseau n'est pas activé pendant un certain temps, l'information ne sera pas gardée. De même, si à ce stade l'activité bioélectrique est arrêtée par le froid, par un accident métabolique ou par une intoxication, l'information est perdue à jamais. La mémoire à court terme semble donc faite d'une activité bioélectrique, évanescence et fragile. Celle à long terme, qui prend au moins vingt minutes pour s'établir et un certain nombre de répétitions pour se consolider, doit être le fait d'un marquage plus permanent. Cette trace permanente permet au réseau d'être réexcité, même s'il n'a pas été activé depuis un certain temps. Le message provenant d'un organe sensoriel, le rappel par une association, volontaire ou non, en déclenchant une activité bioélectrique dans un circuit neuronal défini, permettent l'évocation de l'information mnémonique fixée à long terme. A chaque utilisation du réseau, la trace s'entretient et se renforce. Au contraire, si le système n'est pas activé pendant longtemps selon cette même configuration, la trace s'efface et l'image mnémonique se perd. Les phénomènes bioélectriques enregistrés par les neurophysiologistes sont les conséquences d'un marquage dont la neurochimie et la biologie moléculaire cherchent actuellement la nature.

Dans l'état actuel de nos connaissances, c'est sans doute au niveau de la jonction synaptique que doit être cherché le marquage qui oriente le message. Les deux membranes synaptiques qui se font face doivent avoir entre elles quelque chose de commun ou d'étranger, responsable

de ce que le message, caractérisé par la voie nerveuse qui l'apporte, et la séquence des potentiels d'action qui le composent, sera transmis ou ne le sera pas.

Quelle peut être la nature de la modification synaptique — au niveau moléculaire — qui, en laissant passer une impulsion nerveuse par un réseau plutôt que par un autre permet de stocker des informations dans le système nerveux central et de les retrouver ? Les recherches actuelles consacrées à ce problème utilisent les techniques et les raisonnements de la biologie moléculaire, qui a permis le développement de la génétique moléculaire et de l'immunologie moléculaire, qui comportent également des problèmes de mémoire et d'identification.

La mémoire immunologique distingue entre la greffe de tissu provenant du même organisme, greffe qui sera gardée, et celle de tissu étranger qui sera rejetée. Le code des informations qui permettent de reconnaître ce qui est semblable et de rejeter ce qui ne l'est pas, doit être contenu dans la cellule. Seule une grande molécule organique peut comporter à la fois la diversité et la spécificité nécessaires à une telle reconnaissance.

La mémoire génétique est responsable de la similitude des espèces, de génération en génération. Là encore l'information permettant la reproduction d'une même organisation complexe doit être gardée au niveau cellulaire.

Un code permettant de garder un très grand nombre d'informations existe au niveau des macromolécules contenues dans le noyau de n'importe quelle cellule. Il s'agit des molécules d'acide désoxyribonucléique. Ces molécules peuvent comporter jusqu'à 20 000 séquences différentes des quatre unités chimiques qui les constituent. Ces séquences différentes — tels les points et les traits de l'alphabet Morse — permettent de coder les informations génétiques ou immunologiques. Celles-ci peuvent être copiées par la formation d'une autre macromolécule, l'acide ribonucléique, qui transporte tout ou partie de l'information vers les lieux où la cellule synthétise des protéines spécifiques, des enzymes ou des hormones. Certaines des protéines synthétisées peuvent en retour activer ou inhiber la copie de la chaîne d'acide désoxyribonucléique.

Les protéines qui constituent un individu d'une espèce déterminée ou celles qui assurent la défense immunologique sont ainsi synthétisées selon un modèle rigoureux, toujours le même, mais dont une partie ou une autre sera copiée en fonction des nécessités. On en est ainsi venu à penser que l'activation d'un neurone selon une voie déterminée et une séquence particulière des potentiels d'action pourrait induire la synthèse d'une protéine nouvelle. Celle-ci pourrait constituer au niveau des synapses le marquage spécifique qui permettrait l'activation d'un neurone par une impulsion nerveuse caractéristique. Mais cette protéine nouvellement synthétisée pourrait tout aussi bien être une enzyme capable

de catalyser la synthèse d'un nouveau médiateur chimique inhibiteur ou activateur de la transmission nerveuse au niveau des synapses. Celui-ci constituerait dès lors le caractère distinctif des synapses activées dans un réseau mnémonique. D'autres chercheurs ont pensé, par analogie plus étroite avec l'immunologie et les réactions entre antigènes et anticorps, que la protéine synthétisée pouvait « marquer » un réseau en se combinant avec d'autres protéines. A l'appui de toutes ces hypothèses, il y a de nombreuses observations : les neurones synthétisent des protéines de façon très active et la trace mnémonique est très sensible, lors de sa formation, aux antibiotiques qui inhibent leur synthèse. Un flux de protéines quitte les corps cellulaires par l'axone pour migrer vers l'extrémité des fibres où se trouvent les synapses. Enfin les neurones d'un même noyau ont une identité propre, définie par les protéines qu'ils synthétisent, ce qui a pu être démontré en préparant des anticorps spécifiques de certains groupes de neurones.

Un des moyens de marquage que nous cherchons pourrait donc être donné par l'identité des protéines qui jalonnent certaines voies à l'exclusion d'autres. Les cellules gliales — il y en a quelque cent mille millions — qui entourent complètement les neurones empêcheraient la dispersion de ces protéines. Ces mêmes cellules, en contrôlant tout ce qui va vers le neurone et tout ce qui en sort, jouent certainement un rôle important dans le transfert de ces protéines spécifiques, qui marquent la voie à suivre par les impulsions nerveuses.

D'autres hypothèses ont été faites sur le moyen de marquer un réseau mnémonique par l'intermédiaire des molécules d'acide ribonucléique. Certains chercheurs ont pensé que cette molécule elle-même pourrait servir de code pour l'information psychologique qui doit être gardée. Certains ont même cru pouvoir montrer qu'en administrant à des planaires ignorantes l'acide ribonucléique de planaire conditionnée, l'information était transmise d'un animal à l'autre. Ces expériences n'ont jamais pu être reproduites de façon significative.

On ne pourra jamais savoir, en analysant globalement un cerveau, si des molécules d'acide ribonucléique différentes apparaissent pour des activités neurales différentes. Cette recherche doit se faire au niveau même des cellules qui ont été modifiées par l'information. De tels travaux sont en cours et montrent qu'effectivement l'acide ribonucléique de neurones faisant partie d'un groupe de cellules nerveuses engagées dans l'apprentissage d'une nouvelle information est modifié. Il n'est cependant pas encore possible de dire si cet acide ribonucléique est à l'origine de la synthèse d'une nouvelle protéine marquant un trajet, d'une enzyme synthétisant un nouveau transmetteur ou encore d'un facteur favorisant la croissance de nouveaux prolongements cellulaires et la création de nouvelles synapses. Cette dernière hypothèse s'appuie

sur des faits qui paraissent solides : on a isolé par exemple un facteur de croissance spécifique du système sympathique — facteur protéique — contre lequel on peut produire des antisera. D'autre part, lorsque le système nerveux est soumis à une stimulation constante et doit stocker beaucoup d'informations, le cerveau devient plus lourd, de nouveaux prolongements nerveux se développent à partir des neurones, et de nouvelles synapses apparaissent. Toute lésion du système nerveux impliquant une régénérescence du tissu nerveux cause une augmentation de la quantité d'acide ribonucléique ; croissance et régénérescence sont donc étroitement dépendantes de la quantité d'acide ribonucléique disponible. Il semble enfin que certaines catégories de synapses apparaissent et disparaissent dans le système nerveux selon les sollicitations auxquelles celui-ci est soumis.

Beaucoup de faits parlent donc en faveur de l'intervention dans la rétention mnémorique des mêmes macromolécules qui synthétisent les protéines engagées dans la défense immunologique, ou confèrent à l'individu les caractéristiques de son espèce. Toutefois beaucoup de points restent encore obscurs, tout particulièrement celui de savoir comment on passe des différents modes d'activité bioélectrique qui sont responsables de la mémoire à court terme, à la synthèse de macromolécules spécifiques. Peu de chercheurs se soucient de ce problème pourtant capital, et il existe peu de données sur les relations entre la modification de la perméabilité des membranes cellulaires par un potentiel électrique et la synthèse de nouvelles protéines.

Les consommations et échanges de substrats qui existent dans le système nerveux, la production d'énergie par ce système, la synthèse de protéines et de lipides complexes par les neurones, celle de substances neurorégulatrices, de médiateurs, activateurs ou inhibiteurs, de même que leur stockage, leur transport et leur libération sont l'expression de l'activité d'un organe d'information qui fonctionne sur une base chimique. Cet organe, le cerveau, code, chiffre et emmagasine des données qui lui permettent de construire son modèle intérieur du monde extérieur à une vitesse qui est le reflet de la vitesse même de ces réactions chimiques, et avec une distorsion qui témoigne de l'échec ou de la réussite de ces synthèses. Ce modèle biochimique, dont la réalité est statistique, laisse plus de liberté et de place à la fantaisie que la rigueur du câblage du modèle cybernétique que certains lui préféreraient.

BIBLIOGRAPHIE

Etant donné le très grand nombre d'articles paraissant dans les périodiques scientifiques sur ce sujet, il nous a paru plus utile pour le lecteur de donner ci-dessous les titres d'articles de synthèse :

1. *Macromolecules and Behavior*, edited by J. GAITO. North Publishing Company. Amsterdam, 1960.
2. *Macromolecules Specificity and Biological Memory*. F. O. SCHMITT. The M.I.T. Press, 1962.
3. *Neurosciences Research Program Bulletin*, vol. 3, No 1, suppl. 1965. *Memory Bibliography 1961-1964*.
4. *Ibid.*
Vol. 3, No 6, 1965. *Brain and nerve proteins : functional correlates.*
Ibid.
Vol. 4, No 1, 1966. *Sleep, wakefulness, dreams and memory.*
No 2, 1966. *Simple systems for the study of learning mechanisms.*
No 3, 1966. *Brain mechanisms in conditioning and learning.*
5. *The anatomy of Memory*. D. P. KIMBLE edit., 1965. *Science and behavior Books*.
6. *Brain and Conscious experience*. J. C. ECCLES. Springer edit., 1966.
7. *The Neurosciences — a study program planned and edited by G. C. QUARTON, TH. MELNECHUK and F. O. SCHMITT*. The Rockefeller University Press, 1967.
8. *UCCLA Forum in Med. Sciences No 6. Brain Function Vol. 4. Brain function and learning*, edited by D. B. LINDSLEY and A. A. LUMSDAINE, University of California Press, 1967.

Manuscrit reçu le 7 septembre 1968.