

# **FONCTIONNEMENT DE LA MÉMOIRE**

La mémoire permet l'apprentissage, elle est ainsi essentielle aux bonnes performances cérébrales et se trouve au centre de toutes nos activités du quotidien. Ses défaillances ont fait l'objet d'études depuis l'antiquité. L'étude de la mémoire s'est accélérée au début du 20<sup>e</sup> siècle, suite à la découverte de la maladie d'Alzheimer. Pour la première fois, la médecine décrivait une maladie qui semblait assez spécifiquement altérer les apprentissages d'une personne, le Dr Alzheimer, psychiatre allemand, décrivit les symptômes atypiques de son patient et ses compétences en anatomo-pathologie (spécialité médicale qui s'intéresse aux lésions des tissus humains malades) lui ont permis de décrire des lésions cérébrales inédites lors d'autopsies. Parallèlement, les études sur l'apprentissage chez l'animal, s'intéressent au lien entre une stimulation et une réponse de l'animal et deux conceptualisations de l'apprentissage sont alors découvertes : le conditionnement et l'habituation (voir Question 3). Plus tard, les changements biologiques qui s'y rapportent seront à leur tour découverts. Comme souvent, c'est en abordant les défaillances du corps humain que l'étude de l'Homme a permis l'accès aux mécanismes physiologiques sous-jacents et au début de la compréhension du fonctionnement normal. De larges connaissances manquent encore pour décrire toute la complexité de fonctionnement cérébral, mais les premières découvertes concernant le cerveau et plus largement le fonctionnement du corps humain vont nous permettre de tirer quelques leçons.

L'apprentissage représente l'ensemble de mécanismes intellectuels permettant de modifier son comportement ou ses représentations en fonction de ses expériences passées ou/et de son environnement. Le concept d'apprentissage est donc très lié à celui de mémoire, citons pour commencer les mécanismes principaux d'acquisition de l'information à partir de l'environnement, le plus classique étant le mécanisme de conditionnement. Le conditionnement correspond à l'acquisition d'un apprentissage. Dans la célèbre expérience de Pavlov, on fait sonner une cloche puis on amène de la nourriture à un chien, le chien salive automatiquement à la vue de son repas. En répétant cette situation, le chien se met à saliver au moindre tintement de cloche, même en l'absence de la vue de son repas. Il a donc appris le lien entre le son de la cloche et l'arrivée de son repas : il est conditionné (conditionnement dit classique). Il existe un autre type d'apprentissage : le conditionnement opérant qui est décrit, lui, comme un comportement sélectionné grâce à un mécanisme de récompense ou de punition à la suite de la réalisation d'une action (à noter que la disparition d'une récompense est aussi considérée comme une punition). Par exemple, on félicite un enfant suite à la réussite d'un examen (récompense affective) et on lui permet d'aller jouer avec ses amis (on enlève une punition ce qui équivaut à une récompense). Ou encore si on le prive du temps de jeu habituel après ses devoirs à cause d'une mauvaise note on provoque une punition par disparition d'une récompense (une punition directe serait l'ajout d'un élément négatif non habituel comme une fessée par exemple). Les résultats de ces actions permettent la modification des comportements ultérieurs.

L'apprentissage peut aussi sembler s'atténuer avec le temps ou lors de l'apprentissage d'un nouveau comportement remplaçant le précédent. Le mécanisme d'extinction correspond à la disparition de cette réponse apprise lorsqu'on continue à stimuler sans pour autant faire apparaître la conséquence attendue (faire sonner la cloche à plusieurs reprises sans présenter de nourriture au chien finit par faire disparaître la salivation lors du son de cloche). Cette seconde situation correspond en réalité à l'acquisition d'un deuxième apprentissage (la cloche qui sonne est sans rapport avec la nourriture) devenant plus puissant que le premier (la cloche sonne donc la nourriture va arriver).

Il existe des mécanismes encore plus simples au niveau de la détection sensorielle appelés sensibilisation et habituation. Ils concernent respectivement l'augmentation d'une réponse nerveuse à une stimulation et la disparition d'une réponse lors de stimulations répétées. Ce mécanisme très simple d'amplification ou de disparition de la réponse face à une stimulation sensorielle répétée est retrouvé dans des organismes tels que les plantes, mais aussi chez l'Homme au niveau des réflexes. Par exemple, frapper ses propres réflexes à répétition (au genou comme chez votre médecin par exemple) entraîne de les voir diminuer en intensité à force de répétition. De même dans certains arts martiaux les pratiquants sont entraînés à l'habituation à la douleur lors de frappes répétées au même endroit du corps permettant à terme de diminuer la douleur ressentie lors de l'impact).

Enfin, l'apprentissage est aussi possible sans mise en situation directe, simplement grâce à l'observation d'un congénère (On dit alors que c'est un apprentissage vicariant). Cette description simple des comportements d'apprentissage est déjà en rapport avec des processus biologiques cérébraux complexes.

## Comment notre cerveau enregistre l'information au niveau cellulaire ?

L'apprentissage correspond à des modifications chimiques et structurales du cerveau qui permettent de conserver l'information acquise. L'apprentissage provoque donc des modifications des cellules nerveuses (neurones) tout au long de la vie, en modifiant leur connexions (synapses) et régulant les vecteurs de leur communication (électricité ou molécules chimiques dites neurotransmetteurs). Ainsi tout au long de la vie des neurones se créent, et le réseau de communication neuronal peut se modifier : c'est le phénomène de neuroplasticité.

La synapse est le lieu de communication entre deux cellules nerveuses. Elle est classiquement décrite par l'extrémité d'un prolongement neuronal (appelé axone) faisant face à la surface d'un neurone récepteur. Sous l'effet d'un courant électrique se propageant à la surface du neurone, la libération de molécules chimiques va s'effectuer et celles-ci vont alors se fixer à la membrane cellulaire du neurone suivant (neurone récepteur). Les molécules libérées dans l'espace entre les neurones vont se loger mécaniquement sur la surface du neurone récepteur et recréer un courant électrique dans ce nouveau neurone. Le courant électrique est créé par le déplacement d'atomes chargés électriquement (comme le sodium, le potassium, le calcium, etc.) à travers la surface du neurone et se propagera tout au long de celui-ci. Cette description résumée par la Figure 1 correspond à une synapse dite chimique. Des synapses électriques existent aussi et sont constituées par un contact direct des neurones le plus souvent. Cette communication chimique entre les neurones permet le passage de l'information et ainsi stimule la formation d'un réseau neuronal. Ce réseau devient plus solide et durable à mesure qu'il est stimulé. Le passage de l'information stimule le neurone récepteur à développer des excroissances cellulaires arborescentes (appelées dendrites) afin de renforcer la réception de l'information. Le neurone émetteur va lui aussi modifier son extrémité sécrétrice de neurotransmetteur pour renforcer la communication. Le réseau de neurone va se renforcer et être plus efficace grâce à la modification physique des neurones. Cette stimulation de réseau peut entraîner la naissance de nouveaux neurones et permet le stockage de nouvelles informations au-delà des structures déjà existantes du réseau.

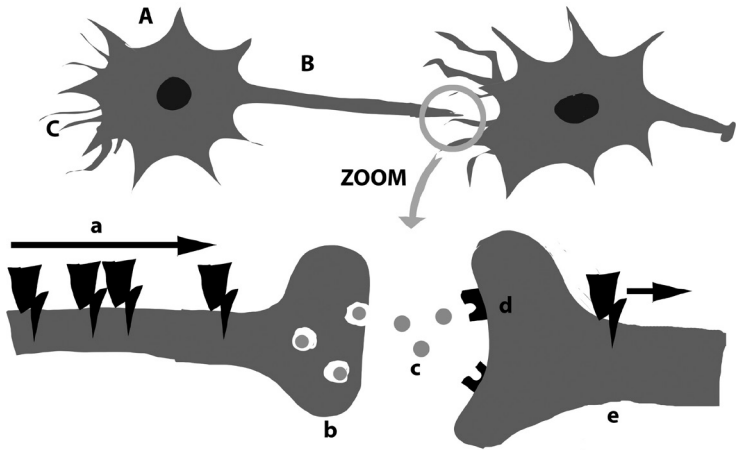


Figure 1 : Présentation du neurone et de la synapse chimique. A. Corps de la cellule neuronale. B. Axone C. Dendrites/arborescence dendritique. Zoom sur la synapse composée du neurone présynaptique, de la fente synaptique ainsi que le neurone post synaptique. a. influx électrique se propageant à la surface de la cellule jusqu'au bout de l'axone. L'influx électrique se propage par trains de chocs électriques b. Extrémité du neurone contenant des vésicules s'ouvrant à la surface sous l'effet de l'influx électrique. c. Neurotransmetteur dans la fente synaptique d. Récepteur au neurotransmetteur, ils donneront le signal de création du nouvel influx électrique au sein du neurone post synaptique. e. dendrite du neurone postsynaptique, l'influx électrique se propageant vers le corps cellulaire puis l'axone.

## Comment nos connexions cérébrales conservent l'information ?

La conservation de l'information requiert la modification des neurones. La stimulation de la synapse (voir Question 4) peut aboutir à des mécanismes d'adaptation par exemple à une sensibilité plus importante des neurones. Un neurone plus sensible larguera ses molécules sur le neurone suivant pour une faible stimulation. Imaginons que vous réalisez une chaîne humaine afin de se passer des seaux d'eau pour éteindre un feu, chaque personne est alors comparable à un neurone. Si on vous passe un seau d'eau la première fois vous allez vous poser la question pourquoi et à qui le donner ce qui entraînera une transmission du seau d'eau plus lente. À mesure que vous réaliserez cette action vous irez de plus en plus vite, vous et la personne suivante seraient rôtés à cette action, la transmission sera facilitée. Vous vous êtes donc adaptés et avez appris à faciliter ce comportement utile. Quand le neurone est stimulé à plusieurs reprises, le seuil de déclenchement du neurone pour stimuler les suivant est abaissé, la communication est facilitée. Cette sensibilité se traduit par le maintien d'un niveau d'activité résiduel du neurone plus élevé que la normal par rapport à d'habitude, on parle de potentiation. Un peu comme si vous restiez concentré pour attraper le seau d'eau suivant et que donc vous restiez un peu plus rapide que lors de la première fois. Avec la stimulation répétée du neurone la potentiation se maintient dans le temps (c'est la potentiation à long terme). Cette modification de la sensibilité du neurone est un apprentissage en soi, à l'échelle cellulaire.

Ces phénomènes sont en réalité très complexes, il existe le mécanisme inverse de la potentiation appelé dépression à long terme qui rend le neurone récepteur moins sensible à la stimulation. Dans ce cas il faut que le neurone soit stimulé plus fortement pour qu'il laisse passer l'information. Un peu comme s'il fallait réveiller la personne suivante pour prendre le seau. La propagation de l'information sur le neurone s'effectue par des séries de petites décharges électriques plus ou moins rapprochées dans le temps. Cette information électrique est traduite par des relargages chimiques répétés qui vont stimuler les neurones voisins (voir Question 2). Les mécanismes de potentiation ou de dépression vont changer dans un sens ou dans l'autre la sensibilité du neurone selon la fréquence de stimulation. C'est donc ce changement de sensibilité des neurones qui constitue la véritable information acquise.

Un neurone présente de très nombreuses connexions avec d'autres neurones par les synapses chimiques ou électriques. Un neurone reçoit, envoie et filtre la stimulation pour de nombreux neurones en amont et en aval. Les réseaux de neurones sont constitués d'extensions cellulaires neuronales qui s'agencent en fibres qui peuvent parcourir plusieurs centimètres et forment ainsi des circuits cérébraux suffisamment grands pour être visibles lors de la dissection (La moelle épinière peut se comparer à un regroupement de câbles électriques gainés). Le câblage structurel de notre cerveau est descriptible grossièrement à l'œil nu et avec un simple microscope optique. Les apprentissages entraînent des changements à plus petites échelles mais des réseaux se forment et des connexions sont réattribuées ou créés pour cela. Le trajet de l'information sur les réseaux est décrit lors de la réalisation de tâches simples en imagerie cérébrale fonctionnelle (imagerie médicale qui permet de suivre en direct l'activité du cerveau). Ce trajet décrit des circuits en boucles sur lesquelles l'information va voyager à plusieurs reprises à travers certaines zones cérébrales. Cette stimulation répétée va participer à la mémorisation de l'information au sein du réseau. La stimulation d'un réseau entraîne en réalité un dialogue complexe et simultané entre différentes zones cérébrales. Ces changements fonctionnels et structurels à plus grande échelle participent à la mémorisation.