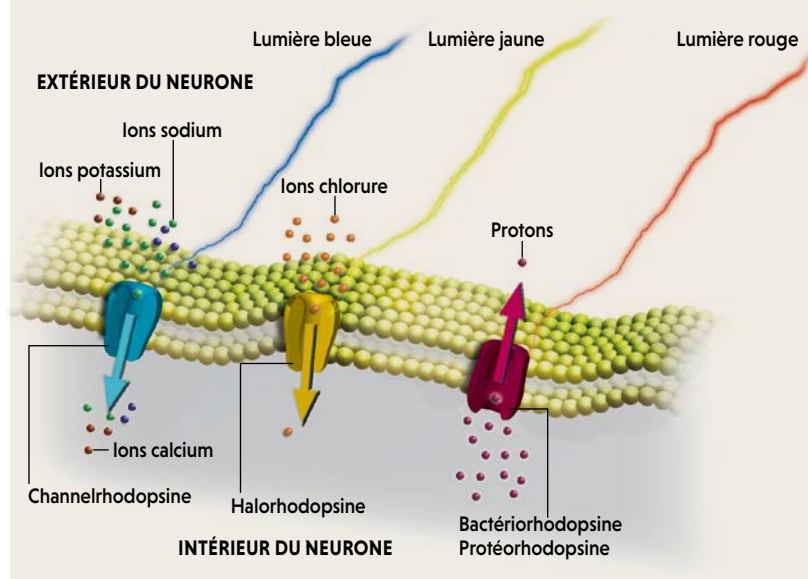


## CONTRÔLER LES NEURONES PAR LA LUMIÈRE

Des neurones sont rendus sensibles à la lumière grâce à une molécule qu'on y introduit : la channelrhodopsine (*en bleu*). Cette protéine a la capacité de s'ouvrir et de laisser pénétrer dans les neurones des charges électriques positives (ions calcium, potassium et sodium) lorsqu'elle est illuminée par une lumière bleue. Ce flux de charges positives initie un influx nerveux. D'autres variantes de la channelrhodopsine, comme la halorhodopsine (*en jaune*) ou la bactériorhodopsine/protéorhodopsine (*en rouge*) réagissent à des lumières jaunes ou rouges, et laissent filtrer des charges négatives (ions chlorure) ou des protons (positifs). C'est autant d'outils pour allumer ou éteindre des neurones.



au moment de la décharge ? Oui. Replacée dans son contexte initial, la souris se fige de crainte comme si elle se rappelait avoir reçu un courant électrique dans ce premier lieu, alors que cela s'est passé dans le second.

Extraordinaire manipulation psychique, qui consiste à créer un faux souvenir douloureux dans un lieu où rien de tel ne s'est jamais produit, et dans le même temps un vrai souvenir de douleur dans un lieu où cela s'est effectivement produit (les souris se figent aussi de peur si on les place dans la boîte électrifiée où les courants ont été envoyés pour de bon). Il est ainsi possible d'observer la coexistence dans le cerveau de deux souvenirs désagréables : l'un vrai et l'autre faux – un souvenir artificiel pouvant alors rivaliser avec un souvenir authentique...

Mais il y a plus surprenant encore. Lorsque les chercheurs étudient les structures nerveuses vers lesquelles l'hippocampe envoie des signaux pour déclencher des réactions

comportementales, ils s'aperçoivent que la mémoire fictive est tout aussi efficace pour les activer que la mémoire réelle. En somme, les faux souvenirs sont bien des souvenirs, et non une vue de l'esprit. La frontière entre le réel et l'imaginaire est plus ténue que jamais. Ce qui incite à la prudence notamment à l'égard de condamnations prononcées sur la base de témoignages oculaires livrés bien après les faits. En effet, de nombreuses expériences ont montré que les témoins d'une scène d'accident se trompent facilement (et peuvent être induits en erreur, involontairement, par des psychothérapeutes qui cherchent à les faire parler) en croyant avoir aperçu des détails qui n'existaient pas, et dont ils sont pourtant persuadés de se souvenir. Cette découverte scientifique ébranle aussi le fondement des thérapies psychanalytiques basées sur l'évocation de souvenirs intimes, qui peuvent sécréter de faux souvenirs parfois ravageurs.

### LES LED DU BONHEUR

À supposer que ces techniques soient un jour adaptées à l'homme, pourrions-nous alors façonner nos souvenirs de manière à les rendre plus idylliques ? Là encore, la réponse pourrait être positive. Des chercheurs de l'université d'Urbana, aux États-Unis, et de Suwon, en Corée, ont implanté une Led dans le cerveau de souris pour activer une région cérébrale importante qui détecte l'obtention d'une récompense. Cette région s'active dès que nous ressentons un plaisir, qu'il s'agisse d'un carré de chocolat, d'un rapport sexuel ou d'une dose de drogue. Lorsque des impulsions lumineuses stimulent cette partie de leur cerveau quand elles se rendent dans une région particulière d'un labyrinthe, les souris, croyant être récompensées, apprennent très vite à revenir et à séjourner dans la zone où elles reçoivent cette gratification virtuelle. Les rongeurs ont été trompés.

Aujourd'hui, les outils issus de l'optogénétique sont si puissants qu'ils permettent de préciser dans quelles conditions un souvenir est gravé dans notre cerveau, et dans lesquelles il est effacé.

On distingue schématiquement plusieurs sortes de mémoire, à court ou à long terme. La mémoire à court terme possède une durée de quelques secondes à quelques minutes, à la manière d'une simple résonance du temps présent dans nos circuits nerveux. Cette mémoire à court terme nous permet de retenir un code pour ouvrir une porte, pendant qu'on nous le dicte au téléphone sans que nous puissions l'inscrire sur une feuille de papier. La mémoire à long terme, quant à elle, se consolide tous les jours durant plusieurs semaines, notamment grâce au sommeil, et peut persister durant toute une vie. Lorsqu'elle est consciente, cette

Une forme de mémoire se nomme alors mémoire «déclarative» ou «explicite». Elle correspond à tous les souvenirs que nous pouvons évoquer et décrire à notre entourage. L'autre forme de mémoire à long terme, inconsciente, est qualifiée d'«implicite» ou de «procédurale».

## LE CODE DE LA MÉMOIRE

Les théories modernes stipulent que toutes ces formes de mémoire reposent sur des modifications de l'efficacité de la transmission d'information effectuée grâce aux synapses, les connexions entre les neurones. Selon ces mêmes théories, la mémoire se forme au sein de réseaux de neurones qui, après avoir été activés de manière intense ou répétée, gardent une trace de cette activation en renforçant leurs contacts. Ce renforcement des synapses permet ultérieurement à l'information électrique de circuler plus aisément au sein des mêmes neurones, favorisant le rappel du souvenir.

Le mécanisme cellulaire de renforcement des synapses a été découvert par le neurobiologiste Eric Kandel, Prix Nobel de médecine en 2000, et porte le nom de potentiation à long terme. Ce qui est une façon de dire que les contacts entre neurones engagés dans un souvenir sont «potentiés» (rendus plus puissants) durablement lorsqu'une trace mnésique est formée dans le cerveau. À l'inverse, lorsque des souvenirs sont oubliés, un mécanisme opposé, la dépression à long terme, interviendrait – un phénomène indispensable pour pouvoir continuer d'apprendre tout au long de la vie.

Or, si ce concept a été fécond en permettant la découverte de multiples mécanismes moléculaires et cellulaires de l'apprentissage et de la mémoire, sa démonstration expérimentale n'a été délivrée que récemment. Et là encore, grâce à l'optogénétique... L'équipe de Roberto Malinow, à l'université de Californie à San Diego, a ainsi envoyé des stimulations lumineuses dans une partie du cerveau de souris, l'amygdale, pendant que les rongeurs recevaient des chocs électriques modérés aux pattes. Peu à peu, les souris ont associé les stimulations lumineuses de l'amygdale avec la douleur ressentie.

Les conséquences de cet apprentissage au plan comportemental sont notables, puisque les rongeurs ont des réactions de peur violente lorsque leur cerveau est illuminé par des impulsions rapides de lumière produisant une potentiation à long terme, et ce, même si l'animal ne reçoit aucun choc électrique (*voir l'encadré page ci-contre*). En revanche, si les photostimulations sont délivrées à un rythme plus lent, ce qui produit au contraire une dépression à long terme dans les synapses de l'amygdale, le souvenir du choc électrique s'évanouit et les animaux restent paisibles.

Un peu plus tard, lorsque le cerveau des rongeurs se trouve de nouveau illuminé par des fréquences rapides de stimulation, les souvenirs préalablement oubliés resurgissent et les animaux montrent alors un comportement craintif même si les chocs électriques n'étaient plus délivrés!

Cette découverte démontre que le simple fait d'enclencher un mécanisme cellulaire de potentiation ou de dépression à long terme dans les neurones suffit pour respectivement effacer ou réactiver une mémoire associative dans le cerveau. Elle montre aussi que la trace biologique de la mémoire (l'engramme) n'est pas immuable, mais relève plutôt d'un processus dynamique qui permet d'encoder de l'information dans nos circuits nerveux, de stocker cette même information puis de restituer, ou non, ultérieurement nos souvenirs. Au travers de cette découverte neurobiologique se dessine ici la preuve expérimentale qui manquait pour interpréter les succès acquis par la psychothérapie cognitivo-comportementale, laquelle propose de modifier les comportements et les pensées en utilisant la plasticité du cerveau.

Sommes-nous aujourd'hui en mesure d'améliorer la condition humaine par un contrôle de son activité mentale? La question est pertinente, car ce qui fait l'humain n'est ni dans son sang, ni dans ses muscles, mais

## LES NEUROSCIENTIFIQUES

### PROVOQUENT

### LA COEXISTENCE DANS

### LE CERVEAU DE DEUX

### SOUVENIRS, L'UN VRAI

### ET L'AUTRE FAUX.

### LE SOUVENIR ARTIFICIEL

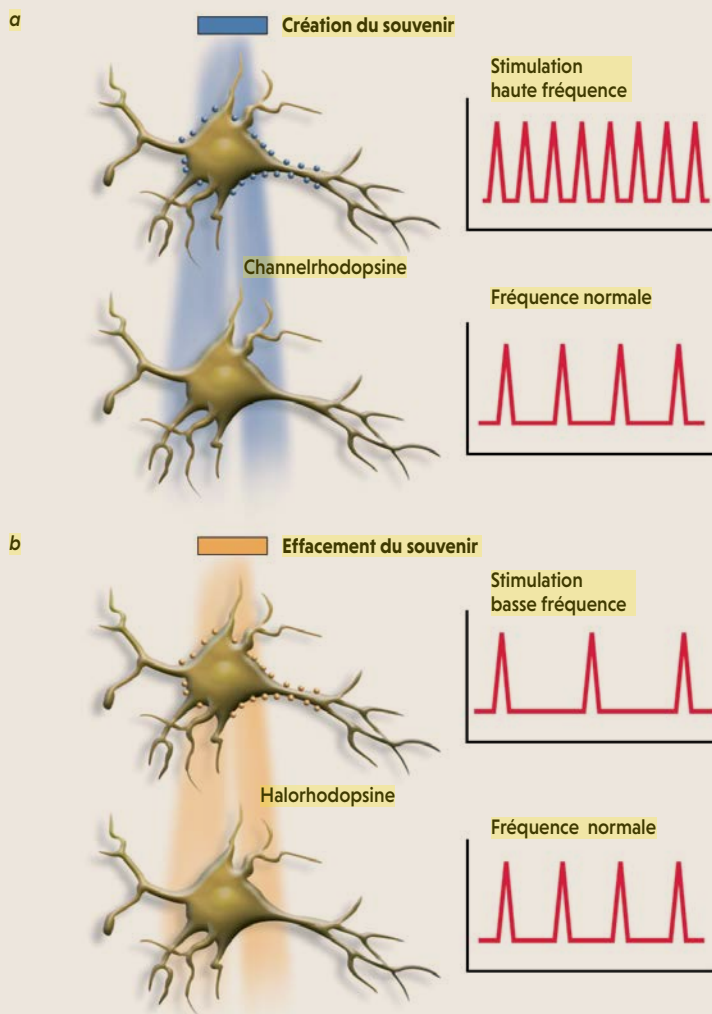
### RIVALISE ALORS

### AVEC LE SOUVENIR

### AUTHENTIQUE

## INSCRIRE UN SOUVENIR OU BIEN L'EFFACER

Pour inscrire un souvenir dans le cerveau, les chercheurs éclairent les neurones avec des impulsions lumineuses à haute fréquence qui stimulent une molécule photosensible, la channelrhodopsine. Les neurones réagissent par des signaux électriques à haute fréquence (a), ce qui consolide les synapses et ancre le souvenir. Pour effacer le souvenir, des impulsions lumineuses à basse fréquence stimulent une autre protéine, la halorhodopsine (b), provoquant des décharges électriques espacées qui fragilisent les synapses et effacent le souvenir.



surtout dans son cerveau. Dès lors qu'on intervient sur son fonctionnement, les questions fondamentales liées à l'humanité ressurgissent et nous devons plutôt poser la question des conséquences futures qu'entraînerait l'application de ce savoir récent à l'être humain.

La question cruciale est de savoir si nous désirons nous limiter à réparer le cerveau ou si

nous acceptons de l'augmenter. Par exemple, si l'on parvient un jour à utiliser de la lumière infrarouge, qui pénètre beaucoup plus en profondeur dans le cerveau, nous pourrions rêver d'applications thérapeutiques exemptes d'effets secondaires en neurologie ou en psychiatrie. Ces «luminothérapies» seraient bien plus efficaces que l'électrostimulation ou les agents pharmacologiques actuels. Mais serons-nous capables de nous limiter à la réparation du cerveau? Il est possible d'envisager de détourner ces méthodes pour augmenter nos capacités cognitives. On imagine sans peine cette technique utilisée un jour pour inhiber l'anxiété ou la peur des soldats partant au front, ou pour maintenir éveillés des automobilistes au volant de leurs véhicules.

Depuis peu, la question des limites de l'application des technosciences à l'humain se pose de façon urgente et répétitive. Rappelons que c'est grâce à l'avènement des technologies convergentes représentées par les nanotechnologies, les biotechnologies, les technologies de l'information et celles des sciences cognitives (NBIC), que les progrès en médecine sont en passe de connaître un élan nouveau.

### LA MÉMOIRE AUGMENTÉE

Bien sûr, notre combat contre la mort, la maladie, la douleur, ou la vieillesse n'est pas exclusivement moderne. Il remonte peu ou prou à deux cent cinquante ans et s'est traduit par une augmentation constante de l'espérance de vie qui, en 1750, n'était que de vingt-cinq ans (d'après les estimations de l'Ined), pour atteindre aujourd'hui environ quatre-vingts ans. Ce combat pour la vie s'est nourri progressivement de l'hygiénisme, des progrès de la médecine et de l'invention constante de nouvelles molécules appartenant à la pharmacopée, mais il semble être passé à la vitesse supérieure grâce à l'usage d'outils transgressifs que les NBIC produisent, tels les implants cochléaires, rétines artificielles ou électrodes implantées dans le cerveau pour traiter des malades atteints de Parkinson ou des personnes souffrant de troubles psychiatriques.

Ces «technologies de la convergence» qui se généralisent nous font entrer de plain-pied dans l'ère du transhumanisme, c'est-à-dire une époque où l'humain modifié par la technologie pourrait échapper aux diktats des lois de la nature. Mais est-il souhaitable de réaliser tout ce qui est techniquement possible?

À titre d'exemple, on citera l'appel d'offres lancé en 2014 aux États-Unis par l'Agence de projets de recherche avancée en défense (Darpa), auprès des neuroscientifiques pour les inciter à développer un dispositif implantable qui pourrait pallier les pertes de mémoire des vétérans atteints de lésions traumatiques cérébrales. Deux laboratoires particulièrement