

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

3 FORMULES
AU CHOIX

	FORMULE DÉCOUVERTE	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier (12 numéros par an)	✓	✓	✓
Le hors-série papier (4 numéros par an)		✓	✓
L'accès en ligne illimité à pourlascience.fr			✓
L'édition numérique du magazine (12 numéros par an)			✓
L'édition numérique du hors-série (4 numéros par an)			✓
L'accès aux archives numériques depuis 1996			✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	59€ Au lieu de 82,80€	79€ Au lieu de 114,40€	99€ Au lieu de 174,40€
	29 % de réduction *	31 % de réduction *	43 % de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email: pourlascience@abopress.fr

PAG19STD



**OUI, je m'abonne
pour 1 an à
POUR LA
SCIENCE**

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)



**FORMULE
DÉCOUVERTE**

• 12 n° du magazine papier

59€

Au lieu de 82,80€

DIA59E



**FORMULE PAPIER
+ HORS SÉRIE**

• 12 n° du magazine papier
• 4 Hors-série papier

79€

Au lieu de 114,40€

P1A79E



**FORMULE
INTÉGRALE**

• 12 n° du magazine papier
• 4 Hors-série papier
• Accès illimité aux contenus en ligne

99€

Au lieu de 174,40€

11A99E

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville :

Téléphone [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

.....@.....

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science

☐ OUI ☐ NON

3 / Je choisis mon mode de règlement

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Date d'expiration [] [] [] [] Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB) [] [] []

Signature obligatoire :

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement: 1 an. Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/12/2019 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site <https://boutique.pourlascience.fr>. Photos non contractuelles.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante: <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit «RGPD») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

L'ESSENTIEL

● Grâce à l'optogénétique, on peut allumer ou éteindre des neurones avec un simple faisceau de lumière.

● On peut alors manipuler la mémoire de souris: substituer un souvenir à un autre, créer de faux souvenirs aussi bien inscrits dans les neurones que les « vrais »...

● Ces techniques s'ajoutent au pouvoir de la suggestion et de l'imagination qui, mal employées, peuvent elles aussi servir à créer de faux souvenirs.

● Doit-on voir dans ces progrès un espoir ou une menace? Nous limiterons-nous à réparer le cerveau ou accepterons-nous de l'augmenter?

L'AUTEUR



PIERRE-MARIE LLEDO est directeur du département des neurosciences et chef de l'unité Perception et mémoire de l'institut Pasteur et du CNRS.

Le zapping de la mémoire

Gommer le souvenir d'une rupture amoureuse, se créer rétrospectivement une enfance heureuse: tout cela devient possible aujourd'hui. Sur des souris... pour l'instant.

S

ouvenez-vous, c'était il y a presque trente ans. En 1990, le film *Total Recall*, de Paul Verhoeven, sortait sur les écrans. Ce fut un succès commercial et critique. Dans cette adaptation cinématographique de la nouvelle *Souvenirs à vendre*, de Philip K. Dick, Arnold Schwarzenegger joue le rôle d'un homme

croyant avoir épousé une belle blonde incarnée par Sharon Stone, et qui s'aperçoit un jour que tout cela est complètement faux: ces souvenirs lui ont été implantés dans le cerveau. Science-fiction? Voire...

Est-ce vrai, ce qu'on dit à propos des expériences sur des souris dont on manipule les souvenirs? Il paraît que l'on peut aujourd'hui allumer ou éteindre les neurones comme avec une télécommande... Le film *Total Recall* n'était-il qu'une sorte d'avant-goût de ce qui nous attend?

La réalité est que nous sommes à l'aboutissement d'un processus entamé il y a deux cent





Le film *Total Recall* imaginait un monde où des faux souvenirs pouvaient être implantés dans les cerveaux. Les neuroscientifiques ont rendu cette idée possible...

cinquante ans, lorsque, pour la première fois, on découvrit que le fonctionnement de notre cerveau repose sur les lois de l'électricité. Désormais, à l'électricité s'ajoute le pouvoir extraordinaire de la lumière, toutes deux réunies pouvant alors interférer avec le fonctionnement de l'esprit. Lumière, électricité et neurones, comment tout cela s'assemble-t-il? Rafrâchissons-nous la mémoire...

L'ÉPOPÉE DU NEURONE

En 1781, Mozart vient de composer son opéra *Idoménée, roi de Crète*, qui sera créé à l'opéra de Munich. À peu près au même

moment, à l'université de Bologne, Luigi Galvani observe, par hasard, qu'une étincelle peut provoquer, à distance, la contraction d'une cuisse de grenouille sur le nerf de laquelle est placé un scalpel. Il vient de découvrir la notion «d'électricité animale», élément clé d'une révolution scientifique: la compréhension des phénomènes électriques qui parcourent les membranes excitables du monde animal. Dès lors, l'électricité apparaît comme le lien unique qui relie l'esprit au cerveau. On entrevoit dorénavant les phénomènes électrophysiologiques (la façon dont les cellules vivantes produisent de l'électricité) comme

>

➤ des vecteurs qui permettent d'animer le corps.

Un siècle plus tard, l'Allemand Hermann Ludwig von Helmholtz montrera que ce vecteur «électricité» se propage à l'intérieur de notre corps sous la forme de signaux électriques, à une vitesse variant entre 50 à 100 mètres par seconde. Aussi, en 1816, lorsque l'écrivaine Mary Shelley prépare son *Frankenstein ou le Prométhée moderne*, ouvrage relatant l'histoire d'un démiurge qui utilise la science pour ramener un mort à la vie, c'est tout naturellement à l'électricité que l'auteure attribuera le pouvoir vital de ranimer un corps.

Cinquante ans après la parution de l'ouvrage de Mary Shelley, le neurologue Guillaume-Benjamin Duchenne (surnommé Duchenne de Boulogne) reprend le mythe de l'électricité vitale pour le rendre réel. Il fonde à l'hôpital de la Salpêtrière une discipline neurologique basée sur l'électrothérapie. L'utilisation de courants électriques dans le cadre thérapeutique se répand: on traite ainsi par des stimulations électriques la douleur, les symptômes de la maladie de Parkinson ou encore certains troubles mentaux comme la dépression, l'addiction ou les troubles obsessionnels compulsifs (TOC).

Aujourd'hui, nous avons parcouru bien du chemin. Nous connaissons l'origine de la production électrique par les cellules nerveuses. Nous savons que les neurones sont des cellules excitables dont la membrane est traversée par des ions comme le sodium, le calcium, le chlore..., et que c'est ce mouvement d'atomes chargés électriquement qui suscite des courants... électriques.

Et pourtant, délivrer du courant dans le cerveau pour atteindre précisément un amas de neurones n'est pas chose facile. C'est pour cette raison que l'électrothérapie s'accompagne parfois d'effets secondaires indésirables. Les neuroscientifiques ont alors cherché un moyen d'être beaucoup plus précis et sélectifs pour activer localement les neurones d'un territoire choisi et non leurs voisins.

FIAT LUX!

Ce rêve est aujourd'hui possible en stimulant des neurones, non plus par l'électricité, mais par une source lumineuse. Pour être réceptives à la lumière, les cellules nerveuses doivent avoir été au préalable génétiquement modifiées pour exprimer une protéine, la channelrhodopsine, qui fait office de récepteur à photons (voir la figure page ci-contre). Née il y a douze ans, cette technique d'optogénétique est en passe de révolutionner les neurosciences. En alliant la biologie moléculaire (pour modifier spécifiquement le patrimoine génétique de certains neurones) aux méthodes optiques nécessaires pour modifier l'activité des neurones par la lumière, on peut allumer ou éteindre rapidement, comme à l'aide d'un

interrupteur, un ensemble de neurones, et par là même contrôler à distance le comportement d'un ver de terre, d'une mouche, d'une souris ou d'un singe. Grâce à l'optogénétique, la lumière permet de maîtriser les fonctions cérébrales des mammifères avec une précision jusque-là inégalée. *Fiat lux!*

SOUVENIRS SUR COMMANDE

Dès lors, la réalité est sur de bons rails pour dépasser la fiction. Ainsi, l'équipe de Susumu Tonegawa (Prix Nobel de médecine en 1987) a montré que certains souvenirs pouvaient être modulés à loisir chez des animaux de laboratoire. En cherchant à comprendre les processus mnésiques et leurs défaillances, ces chercheurs de l'institut technologique du Massachusetts ont montré, en 2012, qu'il était possible de réactiver chez un animal la mémoire d'un événement désagréable, et ce dans un contexte bien différent de celui où ce souvenir s'était formé. Pour cela, il suffit de stimuler par des impulsions lumineuses (délivrées par une fibre optique pénétrant le cerveau) les neurones associés à la mémorisation de l'environnement désagréable, alors que les souris se déplacent dans un environnement... agréable.

Un an plus tard, la même équipe va plus loin: cette fois, il est possible de substituer un souvenir à un autre (et non plus seulement de réactiver le souvenir d'une situation passée), voire d'introduire de faux souvenirs dans la mémoire d'une souris. Pour cela, il a fallu dans un premier temps modifier génétiquement certains neurones des rongeurs situés dans une zone clé du cerveau où se forment les traces mnésiques: l'hippocampe.

Les neurones de cette structure ont été modifiés de manière à les rendre sensibles à des stimuli lumineux sitôt qu'ils sont activés par un nouvel environnement. Concrètement, lorsque ces souris sont placées dans un contexte nouveau, ce contexte active une population bien particulière de neurones dans les circuits de l'hippocampe, y créant une trace mnésique. L'activation de ces neurones entraîne l'expression de la channelrhodopsine quelques heures plus tard. En somme, par la magie de la génétique moderne, les neurones qui ont réagi à un contexte particulier sont devenus sensibles à la lumière, et activables à volonté par ce moyen!

Changeons à présent les souris d'environnement et plaçons-les dans une boîte munie d'une grille électrifiée qui leur envoie des impulsions électriques désagréables (d'intensité modérée) dans les pattes. Au moment où la souris sursaute, activons ses neurones photosensibles avec de la lumière: la mémoire du contexte initial est ainsi activée. La souris associe-t-elle la décharge électrique avec le contexte précédent, où elle ne se trouvait pas

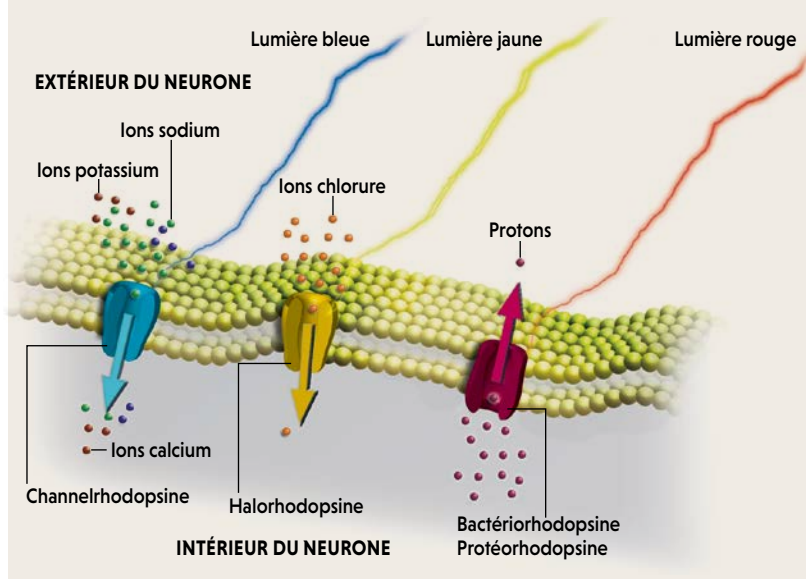
EN CHIFFRES

6000

C'est la distance en kilomètres qui sépare les cerveaux de deux rats connectés. L'un a profité de ce que l'autre a appris par l'expérience grâce aux signaux transmis.

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

- 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!

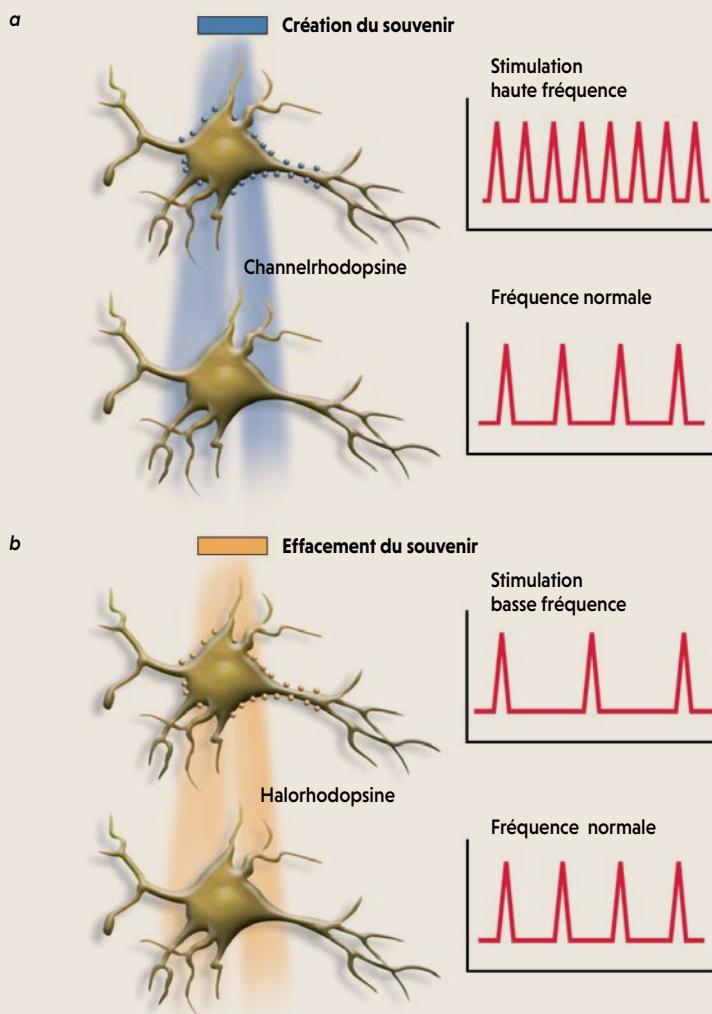
Cette découverte démontre que le simple fait d'enclencher un mécanisme cellulaire de potentiation ou de dépression à long terme dans les neurones suffit pour respectivement effacer ou réactiver une mémoire associative dans le cerveau. Elle montre aussi que la trace biologique de la mémoire (l'engramme) 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 resurgissent 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

► performants dans le domaine de l'épilepsie ont décidé de relever ce nouveau défi.

Rappelons que des patients atteints d'épilepsie résistante à tout traitement médicamenteux ne peuvent être soignés autrement que par voie chirurgicale. Pour préparer l'ablation des zones du cerveau où les crises d'épilepsie prennent naissance, les neurochirurgiens recouvrent préalablement le cerveau de centaines d'électrodes puis enregistrent l'activité électrique cérébrale durant des semaines afin de définir précisément le foyer épileptique. Cette opération permet dans le même temps aux chercheurs de dresser une carte précise du lieu de stockage de la mémoire et de la restitution des souvenirs.

En cherchant à définir des «biomarqueurs» électriques de formation et de récupération des souvenirs, tant normaux que détériorés, chez les patients épileptiques, le neuroscientifique Michael Kahana, directeur d'une équipe de recherche à l'université de Pennsylvanie, a détecté les signatures électriques associées au codage approprié d'un souvenir ou au stockage d'un nouveau souvenir. Il a construit des algorithmes capables de détecter la formation de souvenirs ou leur détérioration – le tout afin de réparer un jour ces défaillances. De telles recherches demeurent dans le cadre d'un cerveau réparé, mais non augmenté.

COMMUNIQUER AU SENS NOBLE!

L'autre laboratoire capable de relever le défi lancé par la Darpa est conduit par le neurologue Itzhak Fried, à l'université de Californie, à Los Angeles. Chez ses patients épileptiques, il montre qu'une stimulation d'une région cérébrale, le cortex entorhinal, améliore les performances de patients participant à un jeu électronique qui exige d'apprendre rapidement, puis de se rappeler à quel endroit déposer des passagers d'un taxi dans une ville virtuelle. Opérant sur des sujets sains, l'équipe d'Itzhak Fried montre que la frontière entre le cerveau réparé et le cerveau augmenté peut être franchie.

Le monde de la recherche sur la mémoire est donc en pleine effervescence. Qui sait de quoi demain sera fait? Les tenants du transhumanisme voient dans ces avancées l'occasion unique de rêver à un homme débarrassé de ses défauts. Mais encore faudrait-il savoir ce qu'on appelle défaut et qualité. Le progrès doit-il être cherché du côté de soldats du futur ou des progrès de la diplomatie en temps de crise?

De même, les prouesses réalisées dans le transfert d'information de cerveau à cerveau sont-elles les garantes d'un monde meilleur? Je fais référence ici aux expériences menées en 2013 par des chercheurs de Durham et de l'institut des neurosciences Edmond et Lily Safra, au Brésil, qui sont parvenus à connecter les cerveaux de deux rats distants de plus de

6 000 kilomètres, au moyen d'un peigne de microélectrodes implantées dans leur cerveau. L'un des rats est un «apprenant» qui travaille dans une cage pour apprendre comment obtenir une ration d'eau. L'autre rongeur, dit «receveur», reçoit cette même consigne traduite par l'activité mentale de l'apprenant qui lui est

**Les prouesses réalisées
dans le transfert
d'informations de cerveau
à cerveau sont-elles
les garantes d'un monde
meilleur?**

délivrée sous la forme d'impulsions électriques dans son cerveau. Le receveur trouve le moyen d'obtenir de l'eau de la même manière, sans effort d'apprentissage.

Grâce à ce dispositif électronique placé à l'interface des deux cerveaux, ces derniers sont non seulement capables de communiquer entre eux mais ils peuvent aussi coopérer. Ces faits spectaculaires montrent que nous ne sommes plus loin des dispositifs permettant de véritablement «lire» les pensées d'autres individus ou d'en prendre le contrôle comme illustré dans le film *Avatar*.

Malheureusement, le perfectionnement des techniques de communication neuronale ne semble pas aller de pair avec nos capacités de communication humaine. Alors que l'humanité n'a jamais été autant connectée et informée à l'échelle de la planète, nous semblons bien incapables de communiquer au sens noble, c'est-à-dire de nous faire comprendre du voisin, de l'autre, de celui qui habite un autre pays ou croit en d'autres dieux ou d'autres pratiques. Les techniques de modulation neuronale peuvent-elles pallier une telle carence? Il serait présomptueux de l'avancer. Mais elles nous apprennent que notre cerveau est un bien inestimable où résident nos pensées, désirs, souvenirs et rancœurs. C'est en soi un changement de regard qui peut – qui sait? – nous faire réfléchir dans le bon sens. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. NABAVI ET AL., Engineering a memory with LTD and LTP, *Nature*, vol. 511, pp. 348-352, 2014.

K. TAE-IL ET AL., Injectable, cellular-scale optoelectronics with applications for wireless optogenetics, *Science*, vol. 340, pp. 211-216, 2013.

X. LIU ET AL., Optogenetic stimulation of a hippocampal engram activates fear memory recall, *Nature*, vol. 484, pp. 381-385, 2012.

B. ZEMELMAN, Selective photostimulation of genetically charged neurons, *Neuron*, vol. 33(1), pp. 15-22, 2002.

U N



N E M E U R T

J A M A I S.

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE
PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE
UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.

CONSIGNESDETRI.FR

CITEO

Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio