

De fait, le champ de recherche subit un revirement brutal en 1956, lorsque deux scientifiques de la Rand Corporation recoururent à l'électroencéphalographie pour enregistrer l'activité cérébrale des participants à une étude où on leur lisait 96 questions et réponses pendant leur sommeil. (Un exemple: « Dans quel type de magasin Ulysse Grant travaillait-il avant la guerre? » Réponse: « Une quincaillerie ».) Le lendemain, les participants ne se souvenaient des réponses que lorsque celles-ci leur avaient été lues à des moments où l'électroencéphalogramme montrait des signes de réveil. En d'autres termes, les participants semblaient n'avoir appris que lorsqu'ils ne dormaient pas vraiment au moment où l'information leur était présentée. Ce résultat porta un coup dur au domaine, les chercheurs commençant à douter de la viabilité de l'apprentissage durant le sommeil.

Pendant cinquante ans, de nombreux scientifiques évitèrent le sujet. Néanmoins, d'autres s'intéressèrent plus généralement à la possibilité que le sommeil joue un rôle bénéfique dans la mémoire. Un protocole d'étude typique consistait à déterminer si la privation de sommeil durant la nuit perturbait la mémorisation d'une information apprise la veille. Un autre testait si la mémorisation était meilleure après un sommeil ou après une période identique de veille.

PARADOXAL OU PROFOND?

Divers facteurs sont susceptibles d'interférer dans de telles études. Par exemple, le stress lié au manque de sommeil peut nuire aux fonctions cognitives, lesquelles diminuent ensuite les performances de la mémoire. Conscients de la difficulté, des chercheurs en neurosciences cognitives ont commencé à relever le défi en rassemblant des données issues de plusieurs méthodes de recherche. Peu à peu, des preuves se sont ainsi accumulées en faveur de l'idée que le sommeil était un moyen de raviver les souvenirs acquis la veille. Le lien entre sommeil et mémoire redevint un domaine de recherche légitime.

Au début, nombre de chercheurs se concentraient sur les périodes de mouvements oculaires rapides, ou sommeil paradoxal, la période durant laquelle les rêves sont les plus fréquents et les plus saisissants. L'hypothèse de départ était que le traitement des souvenirs durant la nuit était lié au rêve, mais peu de données la confirmèrent. En 1983, deux biologistes britanniques de renom, Graeme Mitchison et Francis Crick, spéculèrent même que le sommeil paradoxal servait à oublier. Dans le même esprit, au début des années 2000, Giulio Tononi et Chiara Cirelli, tous deux à l'université du Wisconsin à Madison, proposèrent que le sommeil était un moment où les connexions entre les cellules du cerveau faiblissaient, laissant la place aux nouvelles informations acquises le lendemain.

Progressivement, les scientifiques s'intéressèrent à une autre période de sommeil dépourvue de mouvements oculaires rapides, le sommeil lent profond. En 2007, Björn Rasch, alors à l'université de Lübeck, en Allemagne, organisa avec ses collègues une expérience où les participants devaient mémoriser l'emplacement d'un ensemble d'objets tout en sentant une odeur de rose. Plus tard, dans leur lit au laboratoire, les participants étaient de nouveau exposés à la même odeur à différents stades de leur sommeil, confirmés par électroencéphalographie. L'odeur active l'hippocampe, une zone cérébrale essentielle pour apprendre à naviguer dans son environnement et pour stocker les nouvelles connaissances acquises. Au réveil, les participants se rappelaient plus précisément les emplacements – mais uniquement si l'odeur leur avait été présentée durant le sommeil lent profond (et non pendant le sommeil paradoxal).

En 2009, notre laboratoire a étendu cette méthodologie en utilisant des sons plutôt que des odeurs. Nous avons constaté que les sons joués pendant le sommeil lent profond amélioraient la mémorisation de la localisation d'objets individualisés (au lieu de tout un ensemble d'objets, comme dans l'étude avec les odeurs). Dans notre procédure, appelée réactivation mnésique ciblée ou TMR pour *targeted memory reactivation*, les volontaires commençaient par mémoriser les emplacements de cinquante objets. Ils apprenaient par exemple à placer un chat à un endroit désigné sur un écran d'ordinateur et une théière à un autre. Simultanément, ils entendaient un son correspondant (un miaulement pour le chat, un sifflement pour la théière...). Après cette phase d'apprentissage, les participants faisaient une sieste dans un endroit confortable de notre laboratoire. À l'aide d'électrodes placées sur leur tête, nous surveillions leur activité cérébrale afin de vérifier que chacun dormait bien. De fait, nous ciblions un moment, particulièrement important pour la réactivation de la mémoire, où l'activité des réseaux de neurones du cortex cérébral, la couche supérieure du cerveau, était synchronisée (voir l'encadré page 32).

Lorsque nous détections le sommeil lent profond, nous diffusions le miaulement, le sifflement et d'autres sons associés à un sous-ensemble d'objets de la phase d'apprentissage. Les sons étaient joués doucement, pas plus fort ➤

UNE SYMPHONIE COMPLEXE D'ACTIVITÉS NEURONALES RÉGIT LA CONNEXION ENTRE SOMMEIL ET MÉMOIRE

LES CHEFS D'ORCHESTRE DU SOMMEIL

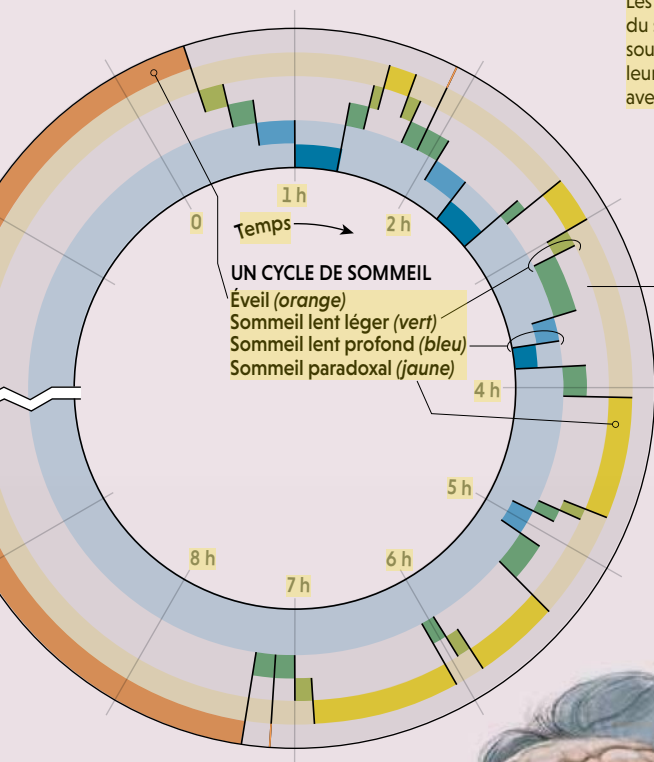
Les rythmes cérébraux fournissent des indices sur la façon dont le sommeil aide à stocker des souvenirs. Leur étude révèle qu'une symphonie complexe d'activités neuronales régit la connexion entre sommeil et mémoire. Un type de signal neuronal, nommé ondes lentes ou ondes delta, comptant de 0,5 à 4 oscillations par seconde, orchestre l'activité des neurones dans le cortex cérébral. Chaque onde lente comporte une phase descendante, durant laquelle les neurones sont silencieux, et une phase montante, pendant laquelle

ils reprennent leur activité. Ce schéma temporel aide à renforcer les souvenirs récemment formés en garantissant que plusieurs régions corticales restent actives simultanément.

La phase ascendante coïncide souvent avec des fuseaux de sommeil, de brèves accélérations de 12 à 15 oscillations par seconde pendant 0,5 à 2 secondes. Les fuseaux proviennent du thalamus, une région du cerveau qui sert de carrefour aux informations, les transmettant potentiellement à toutes les parties du cortex cérébral.

UNE SYMPHONIE EN DEUX MOUVEMENTS

Les deux phases clés du sommeil présentent des différences considérables. Les ondes lentes du sommeil lent profond dominent la première partie de la nuit. Pendant cette période, certains souvenirs se réactivent spontanément. Les interventions qui renforcent ce processus favorisent leur conservation. Le sommeil paradoxal domine la dernière partie de la nuit, mais son lien avec la mémoire reste controversé.



DES ONDES CÉRÉBRALES HARMONISÉES

Les oscillations du cerveau pendant le sommeil semblent jouer un rôle dans le renforcement des nouveaux souvenirs. Un événement clé est la phase montante d'une oscillation lente dans le cortex qui coordonne l'activité d'autres rythmes cérébraux. La partie ascendante de l'oscillation se synchronise avec des fuseaux de sommeil dans le thalamus. Les fuseaux se coordonnent ensuite avec des bouffées d'ondes à haute fréquence localisées dans l'hippocampe. Ces bouffées ont elles-mêmes tendance à coïncider avec le creux d'un fuseau.

ACTIVITÉ ÉLECTRIQUE DANS LE CERVEAU

ONDES LENTES
Cortex cérébral

La phase montante de l'onde lente correspond au fuseau

FUSEAUX
Thalamus

BOUFFÉES D'ONDES À FRONT RAIDE
Hippocampe

Le creux du fuseau coïncide avec une bouffée d'ondes à front raide



Ils surviennent à leur propre rythme, environ toutes les 5 secondes et coordonnent l'activité de bouffées d'ondes de haute fréquence (150 à 200 hertz) nommées ondes à front raide. Localisées dans l'hippocampe, ces oscillations coïncident avec la réactivation neuronale des souvenirs. Pendant tout ce temps, les ondes lentes continuent de jouer le rôle de chef d'orchestre : leurs oscillations mesurées dans le cortex coordonnent le rythme des fuseaux du sommeil et des bouffées d'ondes à front raide.

La réorganisation des souvenirs pendant le sommeil permet d'en extraire l'information essentielle

Le couplage étroit de ces oscillations sous-tend non seulement la réactivation des souvenirs, mais aussi la réorganisation des connexions entre neurones inhérente à leur renforcement. Un dialogue entre l'hippocampe et le cortex impliquant tous ces rythmes cérébraux déclenche un ensemble complexe d'interactions au sein du réseau neuronal. Grâce à ce processus dit de consolidation, de nouvelles informations sont intégrées aux côtés des souvenirs existants. La réorganisation des souvenirs pendant le sommeil permet aussi de dégager des points communs et d'en extraire l'information essentielle, précieuse pour anticiper de nouvelles situations.

Des problèmes de mémoire apparaissent lorsque ce dialogue neuronal est altéré. Les personnes souffrant de lésions importantes de l'hippocampe ou de certaines parties du thalamus sont susceptibles de développer une amnésie profonde. Sans les interactions attendues avec ces régions du cerveau, le cortex ne peut pas stocker les faits ou événements enregistrés durant la journée – c'est-à-dire ce que l'on nomme la mémoire déclarative. Par ailleurs, une forme plus légère de trouble de la mémoire pourrait survenir lorsque le traitement des souvenirs durant le sommeil est perturbé.

La compréhension de la symphonie physiologique du cerveau endormi progresse toujours. Avec elle, de nouvelles stratégies pour lutter contre ces troubles consisteront peut-être à renforcer les rythmes naturels du cerveau à l'aide de diverses formes de stimulation électrique ou sensorielle. Après tout, ce ne serait pas très étonnant. Les humains ne se sont-ils pas toujours appuyés sur le rythme de berceuses pour endormir leurs petits ?

K. P. ET D. O.

Mesa Schumacher

que le bruit de fond, de sorte que les participants ne se réveillaient pas. Au réveil, ils se souvenaient mieux des positions des objets signalés durant le sommeil que de celles des objets pour lesquels aucun son n'avait été rejoué durant leur sommeil. Quel que soit l'indice sensoriel utilisé – sons ou odeurs –, il avait manifestement déclenché la réactivation de la mémoire spatiale et ainsi diminué l'oubli.

Au début, nos procédures étaient très controversées. Les spécialistes du sommeil pensaient généralement que les circuits sensoriels dans le cortex étaient en grande partie désactivés lorsque l'on dormait, à l'exception de ceux de l'odorat. Nous avons néanmoins continué à suivre notre intuition. Et de fait, de nombreuses études ultérieures ont montré les mêmes bénéfices sur la mémoire. Une technique nommée imagerie par résonance magnétique fonctionnelle a mis en évidence les zones cérébrales participant à la TMR, et l'électroencéphalographie a révélé l'importance de certaines oscillations cérébrales dans la mémorisation. Notamment, deux études publiées en 2018, l'une de Scott Cairney, de l'université de York, en Angleterre, et ses collègues, l'autre de James Antony, de l'université de Princeton, aux États-Unis, et ses collègues ont associé une oscillation, le « fuseau de sommeil », aux bénéfices mnésiques de la TMR.

PIANO ET GRAMMAIRE

Outre la mémoire spatiale, la TMR a contribué à renforcer la mémoire dans d'autres contextes, comme la maîtrise d'une mélodie au piano et la mémorisation d'un nouveau vocabulaire ou de règles grammaticales. Cette technique facilite aussi l'assimilation de modifications dans la perception de son propre corps. La TMR est par ailleurs capable d'atténuer des réflexes conditionnés de peur : dans des expériences sur des volontaires qui avaient été conditionnés à réagir automatiquement à un stimulus (par association préalable de ce stimulus avec un choc électrique), la réponse émotionnelle des participants au stimulus était diminuée. Des études en cours examinent encore d'autres types de mémorisation, tels que l'association de noms à des visages lors de la première rencontre avec de nouvelles personnes.

À mesure que la technique évolue, la TMR devrait être testée pour aider à traiter divers troubles, à réduire les dépendances ou à accélérer le rétablissement après une maladie. Notre laboratoire, en collaboration avec le neurologue Marc Slutzky, de l'université Northwestern, aux États-Unis, met actuellement à l'essai une nouvelle procédure de rééducation pour récupérer les capacités motrices des bras après un accident vasculaire cérébral. Des sons font partie de la thérapie et sont rejoués pendant le sommeil pour tenter d'accélérer le réapprentissage des mouvements perdus. Les perspectives semblent prometteuses, car la TMR peut modifier des formes similaires d'apprentissage moteur chez des individus en bonne santé.

Il est donc possible de renforcer les souvenirs. Pourra-t-on aussi charger de nouvelles informations dans le cerveau d'une personne endormie – au risque de raviver le spectre éthique du contrôle de l'esprit invoqué par Huxley ? Plusieurs travaux d'Anat Arzi, actuellement à l'université de Cambridge, et ses collègues ont montré qu'il est possible de créer des souvenirs relativement simples en utilisant des odeurs. Dans une expérience publiée en 2014, les chercheurs ont réduit le désir de tabac chez des fumeurs qui souhaitaient arrêter de

>