

> doivent se lier pour produire un souvenir cohérent qui mêle émotions, images, sons, odeurs, séquences d'événements et autres expériences mémorisées.

D'autres mécanismes cellulaires doivent être à l'œuvre. Forts de ce constat, les neuroscientifiques ont cherché de nouvelles voies pour expliquer comment l'information est transmise, traitée et stockée dans le cerveau durant l'apprentissage. Au cours des dix dernières années, ils ont compris que l'ictonique « matière grise » qui constitue la surface extérieure du cerveau n'est pas la seule partie impliquée. Les zones situées sous cette surface grise et plissée jouent aussi un rôle essentiel dans l'apprentissage. Ces dernières années, une série d'études menées dans mon laboratoire et ailleurs ont élucidé ces processus, laissant entrevoir de nouvelles façons de traiter les troubles psychiatriques et du développement qui surviennent lorsque des difficultés d'apprentissage se manifestent.

Si les changements synaptiques ne suffisent pas, que se passe-t-il dans votre cerveau quand vous apprenez quelque chose ? Aujourd'hui, les méthodes d'imagerie par résonance magnétique (IRM) permettent aux chercheurs de voir à travers le crâne d'une personne et d'examiner la structure du cerveau. En analysant les clichés produits, les chercheurs ont commencé à remarquer des différences dans la structure du cerveau de personnes ayant des compétences spécifiques très développées. Les musiciens, par exemple, ont des régions du cortex auditif plus épaisses que les non-musiciens. Au départ, les chercheurs ont supposé que ces différences subtiles prédisposaient clarinettes et pianistes à exceller dans leur domaine. Mais des recherches ultérieures ont montré que l'apprentissage modifie la structure du cerveau.

Par ailleurs, les apprentissages qui modifient le tissu cérébral ne concernent pas que les compétences sensorimotrices répétitives comme la pratique d'un instrument de musique. En 2006, le neuroscientifique Bogdan Draganski, aujourd'hui à l'université de Lausanne, en Suisse, et ses collègues ont constaté que chez des étudiants en médecine qui avaient étudié pour un examen, le volume de matière grise avait augmenté. Divers changements cellulaires pourraient causer une telle augmentation, comme la naissance de nouveaux neurones et de cellules non neuronales dites « gliales ». Des remaniements vasculaires, ou encore la croissance et l'élagage des axones et des dendrites – les prolongements qui s'étendent à partir du corps d'un neurone –, pourraient faire de même.

Il arrive même que ces changements se produisent beaucoup plus vite que prévu durant l'apprentissage. En 2012, Yaniv Assaf, de l'université de Tel Aviv, et ses collègues ont montré que 16 tours de piste dans un jeu vidéo

informatisé suffisaient pour induire des changements dans l'hippocampe des nouveaux joueurs. Le fait que la région cérébrale concernée soit l'hippocampe n'est pas surprenant : cette région est essentielle pour l'apprentissage spatial lié à la navigation. Dans d'autres études, enfin, Yaniv Assaf et, indépendamment, Heidi Johansen-Berg, de l'université d'Oxford, ont découvert que des changements survenaient dans des zones inattendues du cerveau, dont des régions dépourvues de neurones ou de synapses, connues sous le nom de « substance blanche ».

DES MILLIARDS DE FAISCEAUX BLANCS

Le siège de la conscience est le cortex cérébral, la couche externe de 3 millimètres d'épaisseur du cerveau humain. La plupart des chercheurs s'attendaient donc à y trouver des modifications induites par l'apprentissage. Mais sous cette couche superficielle, des milliards de faisceaux d'axones très serrés (les fibres nerveuses), ressemblant en quelque sorte aux fibres enroulées sous la peau de cuir d'une balle de baseball, connectent les neurones de la matière grise en circuits. Ces faisceaux de fibres sont blancs, car les axones sont recouverts d'une substance grasseuse appelée « myéline », qui agit comme un isolant électrique et multiplie par 50 à 100 la vitesse de transmission des influx nerveux. Les lésions et maladies de la substance blanche constituent des champs importants de recherche, mais, jusqu'à récemment, on avait accordé peu d'attention à un éventuel rôle de la myéline dans le traitement de l'information et l'apprentissage.

Au cours des dix dernières années, cependant, des études ont commencé à mettre en évidence, par imagerie cérébrale, des différences dans la substance blanche d'experts aux compétences variées, notamment de personnes ayant de grandes aptitudes en lecture et en arithmétique. La substance blanche de golfeurs confirmés et de jongleurs entraînés présentait aussi des différences par rapport à celle de novices, et on a même corrélé volume de substance blanche et quotient intellectuel. Si le traitement de l'information et l'apprentissage découlent du renforcement des connexions synaptiques entre les neurones de la matière grise, pourquoi l'apprentissage a-t-il un impact sur le câblage en profondeur du cerveau ?

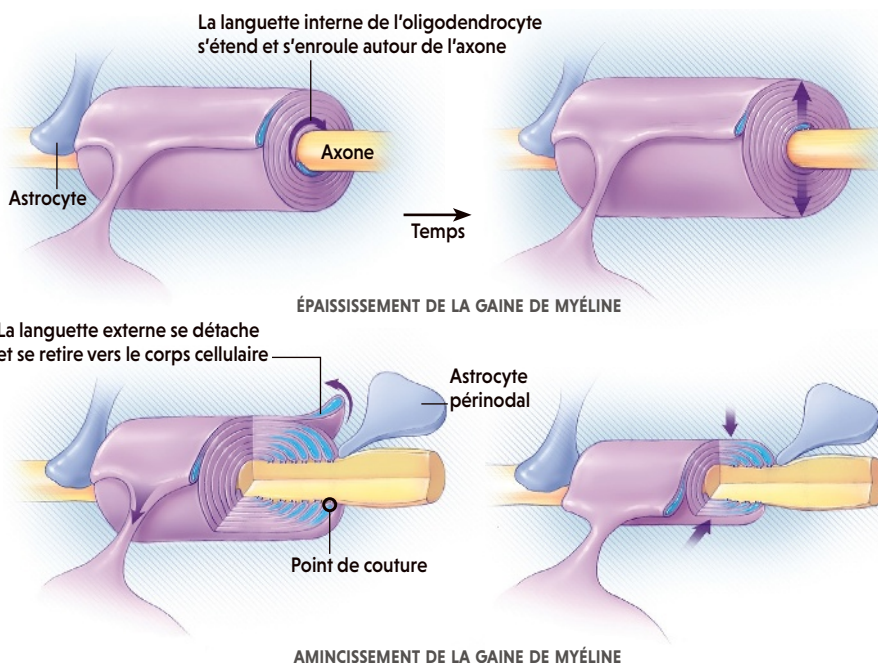
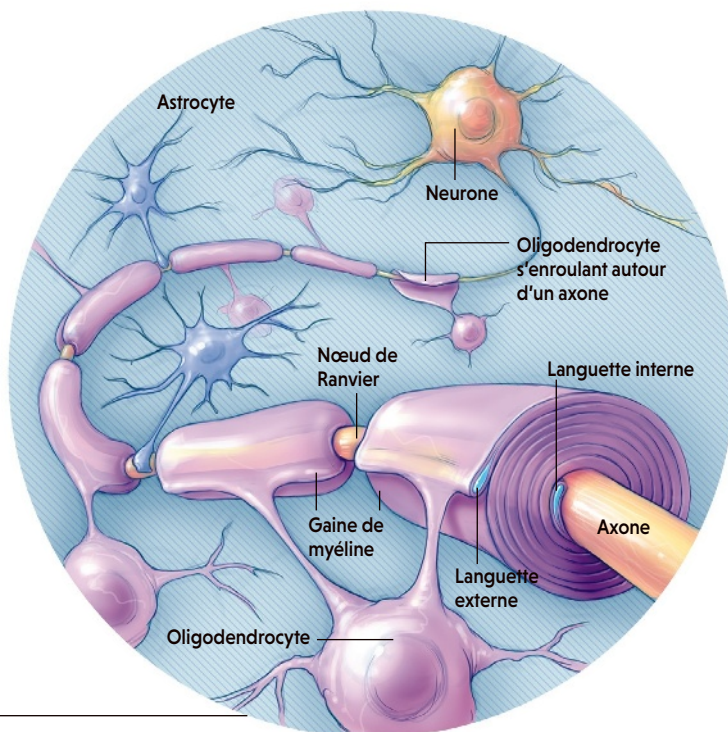
Une réponse a commencé à émerger d'études menées dans mon laboratoire à l'échelle cellulaire, visant à comprendre comment les synapses – mais aussi d'autres zones du cerveau – changent durant l'apprentissage. Il nous paraissait essentiel de regarder au-delà des synapses, car la plupart des médicaments dont on dispose pour traiter les troubles neurologiques et psychologiques agissent sur la

COMMENT LA MYÉLINE AGIT

Les points de connexion entre les neurones – les synapses – subissent des modifications lors de l'apprentissage. Mais de nouvelles recherches montrent que des changements se produisent aussi dans la myéline, une partie de la substance blanche qui forme une gaine autour des longs filaments (les axones) que projettent les neurones.

DES CELLULES À L'ŒUVRE

Des cellules, les oligodendrocytes, enroulent une languette de myéline autour des axones. Ces gaines isolantes contrôlent la vitesse des signaux électriques le long des axones. De petits espaces sans myéline – les nœuds de Ranvier – contiennent des canaux ioniques dont l'ouverture permet la propagation des impulsions électriques. Un autre type de cellule, l'astrocyte périnodal, inhibe la sécrétion d'une enzyme, la thrombine (non représentée), qui détache la myéline de l'axone.



UNE ENVELOPPE DYNAMIQUE

Quand des neurones s'activent, des oligodendrocytes enroulent la gaine de myéline autour des axones. Le degré de myélinisation contrôle la vitesse de propagation des signaux le long des axones, les gaines plus épaisses accélérant la transmission. La thrombine coupe les « points de couture » qui lient la myéline à l'axone, et l'astrocyte périnodal ajuste l'épaisseur de la gaine en l'inhibant. Ces variations d'épaisseur assurent la synchronisation des signaux aux points de relais neuronaux, ce qui améliore les performances d'apprentissage.

transmission synaptique. Or il existe un besoin urgent d'agents plus efficaces. En se focalisant sur la transmission synaptique, on risque de passer à côté de meilleurs traitements contre la démence, la dépression, la schizophrénie ou le syndrome de stress post-traumatique.

Au début des années 1990, mon laboratoire, aux Instituts américains de la santé, et d'autres ont commencé à explorer la possibilité que les cellules gliales détectent l'information circulant dans les réseaux neuronaux et la modifient pour améliorer les performances. Les résultats expérimentaux accumulés depuis montrent que tous les types de cellules gliales réagissent à l'activité neuronale et sont capables de modifier la transmission de l'information dans le cerveau. L'une des découvertes les plus surprenantes concerne la myéline.

Cet isolant est formé de couches de membrane cellulaire enroulées autour des axones comme du ruban isolant électrique. Dans le cerveau et la moelle épinière, ce sont des cellules gliales en forme de pieuvre, les oligodendrocytes, qui assurent l'enroulement. Dans les membres et le tronc, il s'agit de cellules gliales en forme de saucisse, les cellules de Schwann. Nombre d'oligodendrocytes saisissent un axone et enroulent des couches de myéline tout autour en segments, comme les mains empilées de joueurs de baseball saisissant une batte pour déterminer quelle équipe frappera en premier. L'espace minuscule entre deux segments de myéline expose une section d'axone nu de 1 micromètre de long où se concentrent les canaux ioniques qui produisent les impulsions électriques.