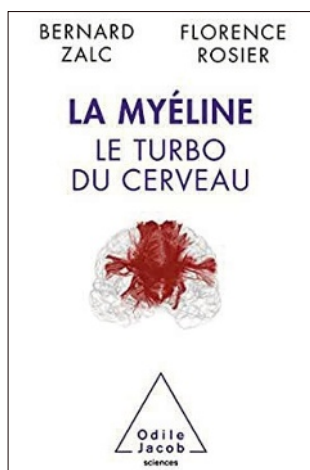




Dans cet ouvrage, Bernard Zalc et Florence Rosier proposent un voyage passionnant et didactique dans le monde myélinisé.

Morris dans les années 1980. Dans une piscine ronde à bord vertical, on place une petite plateforme à fleur d'eau et invisible. Quand on dépose un rat ou une souris dans l'eau, l'animal n'a d'autre choix que de nager jusqu'à ce qu'il trouve la plateforme et monte dessus. Mais si vous répétez cette même expérience tous les jours, l'animal finit par mémoriser l'endroit où se situe la plateforme et s'y rend directement, quel que soit l'endroit où vous le mettez au départ. D'une part, l'équipe de Paul Frankland a montré que les souris qui acquièrent cette capacité synthétisent de nouveaux oligodendrocytes, et donc de nouvelles gaines de myéline. D'autre part, et c'est plus intéressant encore, elle a observé que si l'on inhibe la myélinisation pendant cette période d'apprentissage (les souris produisent toujours des précurseurs des oligodendrocytes, mais ceux-ci ne peuvent plus devenir matures et produire de la myéline), les souris apprennent toujours correctement, mais un mois plus tard, elles sont incapables de retrouver la plateforme, contrairement aux souris contrôles, qui la retrouvent immédiatement.

La myéline interviendrait donc dans la mémoire à long terme ?

Absolument. C'est la première fois que l'on met en évidence le fait que les circuits de la mémoire sont myélinisés et peuvent se myéliniser chez l'adulte. Ce travail a été confirmé par Jonah Chan, de l'université de Californie à San Francisco, et ses collègues. Cette découverte est très importante. Cela pourrait notamment aider à mieux comprendre les troubles cognitifs observés au cours des maladies qui touchent la myéline, comme la sclérose en plaques.

Ces maladies sont associées à des pertes de mémoire ?

Il est vrai que la sclérose en plaques, par exemple, se manifeste surtout par un handicap moteur, des troubles digestifs et des douleurs. Mais quand on suit des patients, on s'aperçoit que nombre d'entre eux ont aussi

des problèmes cognitifs. On n'a jamais trop compris pourquoi, et voici la démonstration que ces troubles cognitifs sont dus au fait que des circuits neuronaux doivent être myélinisés pour mettre en place les apprentissages cognitifs perturbés chez ces patients.

Des troubles de la myéline seraient-ils aussi impliqués dans des maladies psychiatriques ?

Il est très difficile de répondre à cette question, essentiellement parce qu'on manque de modèles expérimentaux. Pour modéliser la dépression, par exemple, on met des souris en isolement. On n'a rien trouvé de mieux, mais cela ne reproduit pas exactement l'état de santé d'un patient déprimé. Quant aux interprétations des observations faites chez les humains, elles laissent les chercheurs dubitatifs. Que conclure quand on observe que chez les schizophrènes, le diamètre du corps calleux est réduit ? Qu'ils fabriquent moins de myéline ou qu'ils la perdent parce qu'ils ont perdu des neurones et donc leur gaine ?

Existe-t-il un lien entre problèmes de myélinisation et maladie d'Alzheimer ou, à l'inverse, la myéline protégerait-elle les neurones contre cette maladie ?

En 1996, des chercheurs de l'université L. W. Goethe, à Francfort – Heiko et Eva Braak – ont avancé une idée intéressante. Selon eux, les zones où les pertes de neurones sont les plus précoces chez les patients atteints de la maladie sont celles qui, au cours du développement, ont été myélinisées en dernier. En gros, il y aurait deux gradients dans le cerveau : un gradient de myélinisation qui va du tronc cérébral vers l'avant du cerveau et un gradient de perte neuronale qui va en sens inverse. En d'autres termes, plus une région a été myélinisée tôt, plus elle est protégée de la perte neuronale liée à la maladie d'Alzheimer. Mais il s'agit juste d'un constat, sur des patients, sans explication.

Avec toutes ces avancées, la myéline est-elle toujours le parent pauvre des neurosciences ?

Les neurobiologistes sont encore loin d'avoir une vision d'ensemble de tout ce qui se passe lors de l'apprentissage et de la mémorisation, mais on peut dire deux choses. La première, c'est que la myélinisation est un moteur de l'apprentissage, et ce tout au long de la vie. La seconde, c'est que pour retenir, il faut myéliniser, sinon on oublie. La myéline joue donc un rôle fondamental dans deux fonctions clés du cerveau. Il reste à comprendre comment la taille des nœuds de Ranvier s'établit et comment les cellules « savent » ce qu'elles doivent faire, quels signaux orchestrent tout à la milliseconde près. On n'a pas encore d'explication à ce phénomène fascinant. ■

Propos recueillis
par Marie-Neige Cordonnier

BIBLIOGRAPHIE

B. Zalc et F. Rosier, **La Myéline, le turbo du cerveau**, Odile Jacob, 2016.

S. Pan et al., **Preservation of a remote fear memory requires new myelin formation**, *Nature Neuroscience*, en ligne le 10 février 2020.

F. Wang et al., **Myelin degeneration and diminished myelin renewal contribute to age-related deficits in memory**, *Nature Neuroscience*, en ligne le 10 février 2020.

P. E. Steadman et al., **Disruption of oligodendrogenesis impairs memory consolidation in adult mice**, *Neuron*, vol. 105 (1), pp. 150-164.e6, 2020.

C. C. H. Cohen et al., **Saltatory conduction along myelinated axons involves a periaxonal nanocircuit**, *Cell*, vol. 180(2), pp. 311-322.e15, 2020.

S. G. Brohawn et al., **The mechanosensitive ion channel TRAAK is localized to the mammalian node of Ranvier**, *eLife*, vol. 8, article e50403, 2019.

H. Kanda et al., **TREK-1 and TRAAK are principal K⁺ channels at the nodes of Ranvier for rapid action potential conduction on mammalian myelinated afferent nerves**, *Neuron*, vol. 104(5), pp. 960-971.e7, 2019.

C. Demerens et al., **Induction of myelination in the central nervous system by electrical activity**, *PNAS*, vol. 93(18), pp. 9887-9892, 1996.

L'ESSENTIEL

> Au Chili, l'Observatoire européen austral (ESO) a commencé la construction du **Télescope géant européen (ELT)**. Ce sera le plus grand télescope optique de l'histoire de l'astronomie.

> L'**ELT** démarrera ses observations en 2026. Il accédera à des objets extrêmement ténus et lointains

avec des résolutions de l'ordre de la milliseconde d'arc.

> La construction et le fonctionnement d'un télescope aussi grand présentent de très nombreux défis techniques.

LES AUTEURS



XAVIER BARCONS
directeur général
de l'ESO



JUAN CARLOS GONZÁLEZ HERRERA
directeur
de l'ingénierie
des systèmes
pour le projet
de construction
de l'ELT



AUGUSTÍN SÁNCHEZ LAVEGA
professeur de
physique appliquée
à l'université
du Pays basque,
à Bilbao, et membre
de l'équipe
scientifique de l'ELT

ELT

Le plus grand œil de la planète

Du Système solaire aux premières étoiles de l'Univers, le télescope géant européen ELT observera dans quelques années le cosmos avec un luxe de détails sans précédent.



DES ÉTOILES ARTIFICIELLES

Les télescopes actuels disposent de systèmes d'optique adaptative qui corrigent en temps réel les distorsions de l'image dues aux turbulences atmosphériques. Pour cela, ils doivent observer en continu des étoiles suffisamment brillantes qui servent de référence. Mais de telles étoiles sont assez rares. C'est pourquoi l'ELT disposera de huit lasers avec lesquels il générera autant d'étoiles artificielles dans n'importe quelle partie de la voûte céleste.

En 1610, Galilée pointa vers le ciel une lunette de quelques centimètres de diamètre et observa pour la première fois les lunes de Jupiter. Cette découverte a soulevé un coin de voile sur la véritable organisation de notre environnement cosmique proche. Elle a aussi constitué la naissance de l'astronomie observationnelle moderne: l'étude de l'Univers à l'aide d'instruments toujours plus puissants et précis.

Depuis, les découvertes n'ont cessé de se succéder. Trois siècles après l'exploit de Galilée, la mise en service du télescope de 2,5 mètres de diamètre à l'observatoire du mont Wilson a permis de mesurer la distance de nombreuses galaxies et d'établir la réalité de l'expansion de l'Univers. À la fin des années 1950, le télescope de 5 mètres du mont Palomar a contribué à la détection des quasars, ces noyaux actifs de galaxies dont les astronomes se servent aujourd'hui pour sonder les confins de l'Univers observable. En 2004, le VLT (*Very Large Telescope*) de 8,2 mètres, construit au Chili, a réalisé la première image d'une planète située hors du Système solaire.

UN OBSERVATOIRE GIGANTESQUE DANS LE DÉSERT CHILIEN

Ce ne sont là que quelques exemples. La construction de télescopes toujours plus grands a, à chaque fois, repoussé un peu plus loin notre compréhension de l'Univers. C'est pourquoi, il y a près de vingt ans, l'Organisation européenne pour les observations astronomiques dans l'hémisphère austral (plus connue sous le nom d'Observatoire européen Austral ou ESO) a entamé l'étude préliminaire de l'instrument qui, dans très peu de temps, sera le plus grand télescope optique de l'histoire: le *Télescope géant européen* ou *ELT*, pour l'anglais *Extremely Large Telescope*.

Cet observatoire gigantesque sera installé sur le Cerro Armazones, dans le désert chilien de l'Atacama, et on espère qu'il verra sa première lumière en 2025. En plus de son instrumentation de pointe, l'aspect le plus notable de ce nouveau télescope sera son miroir primaire dont le diamètre atteindra presque 40 mètres – sa surface sera équivalente à celle de trois terrains de basket.

De telles dimensions sont inédites dans l'histoire de l'astronomie et impliquent un saut qualitatif par rapport aux plus grands instruments actuellement en service. Les deux télescopes de l'observatoire Keck, à Hawaï, et le *Grand Télescope des Canaries*, ou *GTC*, sur l'île de la Palma (le plus grand engin de ce type en fonctionnement aujourd'hui), disposent de miroirs dont les diamètres sont de l'ordre de 10 mètres et les surfaces 14 fois inférieures à

celle du futur miroir principal de l'ELT.

La construction d'un observatoire de cette taille nécessite de relever une longue série de défis techniques. Cependant, à l'image de ce qui s'est passé lors de la transition des miroirs de 2 à 4 mètres, puis des miroirs de 4 à 8 et 10 mètres, les progrès techniques dans ce domaine rendent désormais cet objectif à la fois techniquement et financièrement viable.

La justification scientifique de ce saut qualitatif réside dans le fait que pour un télescope – un instrument astronomique qui exploite la réflexion de la lumière, comme l'ELT –, le diamètre du miroir primaire détermine deux caractéristiques essentielles: la quantité de lumière qu'il capte et son pouvoir de résolution.

L'instrument est capable d'observer des objets d'autant plus ténus et éloignés que la première de ces caractéristiques, la quantité de lumière recueillie, est grande. Quant à la seconde, la résolution, elle mesure sa capacité à distinguer l'un de l'autre deux objets très proches sur la voûte céleste. Les lois de l'optique indiquent que la quantité de lumière reçue augmente en raison de l'aire du miroir, tandis que le pouvoir de résolution le fait en proportion du rayon. Par conséquent, ces deux quantités seront respectivement 14 et 4 fois plus élevées pour l'ELT que pour le GTC.

L'ELT observera une plage du spectre électromagnétique allant du visible à l'infrarouge proche. Ce type d'astronomie qualifiée «d'optique» (par opposition à l'astronomie X ou à la radioastronomie, par exemple) est

Un emplacement idéal: l'ELT s'élèvera au sommet du Cerro Armazones, dans le désert chilien de l'Atacama. À 3 000 mètres d'altitude, le lieu se distingue par l'exceptionnelle qualité de son ciel. Cette image aérienne récente montre l'état d'avancement des travaux de terrassement.



Les systèmes optiques et mécaniques de l'ELT constituent un gigantesque défi

particulièrement adapté à l'étude des étoiles ou des galaxies. Les caractéristiques de l'ELT lui permettront notamment d'analyser l'atmosphère des exoplanètes et d'y chercher des indices d'activité biologique. Il sera capable de détecter la structure et la composition de galaxies lointaines, d'observer en détail les effets des trous noirs supermassifs tapis au centre des galaxies, et de mesurer directement l'accélération de l'expansion cosmique. Les objectifs scientifiques de l'ELT sont nombreux, divers et ils transformeront nos connaissances dans tous les domaines de l'astronomie et de l'astrophysique, du plus proche au plus lointain.

UN PROJET EUROPÉEN QUI S'EST CONCRÉTISÉ EN 2014

À une époque où il n'y a plus de course à l'espace entre les grandes puissances, il n'est pas étonnant que la coopération internationale règne quand il s'agit de construire de grands observatoires. De ce point de vue, l'Europe a pris l'initiative en 1962 lors de la création de l'ESO, auquel adhèrent désormais 16 pays. Ce geste, qui était il y a plus d'un demi-siècle un acte de survie pour l'astronomie européenne, a fini par la placer à la première place mondiale dans le domaine de l'observation depuis le sol. L'effort n'a pas été vain. Le plus puissant complexe d'astronomie optique du monde est actuellement le VLT, un ensemble de quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre installés par l'ESO dans son observatoire du Cerro Paranal, dans le désert de l'Atacama, région réputée pour être la plus aride de la planète.

Du côté de l'astronomie des grandes longueurs d'onde, la coopération internationale a battu des records avec la construction d'*Alma*, ou *Grand réseau d'antennes millimétrique/submillimétrique de l'Atacama* (l'acronyme anglais *Alma* signifie « âme » en espagnol), un radiotélescope de 66 antennes né de la collaboration de l'Europe (ESO), de l'Amérique (États-Unis et Canada)

et de l'Asie (Japon, Taïwan et Corée du Sud). Cette installation inaugurée en 2013 offre des possibilités uniques d'observation de l'Univers froid (gaz et poussière interstellaire, disques protoplanétaires, etc.) et fait l'objet d'une intense compétition entre équipes d'astronomie pour obtenir du temps d'observation.

Toutefois, lorsqu'il s'est agi d'accéder à la prochaine génération de télescopes optiques, la stratégie à l'origine du succès d'*Alma* n'a pas été reproduite. Il existe actuellement trois projets de construction de télescopes géants dotés de miroirs de plus de 20 mètres de diamètre. Deux d'entre eux, le *Giant Magellan Telescope* ou GMT (24 mètres) et le *Thirty Meter Telescope* (TMT) sont à l'initiative de différents instituts de recherche américains. L'Europe, de son côté, a misé depuis des années sur l'ELT.

Après une longue période d'études préliminaires sur différents concepts, l'ESO a opté pour un système fondé sur un miroir de 39,3 mètres. En 2010, il a été décidé de l'installer sur le Cerro Armazones. Le terrain, situé à une altitude de 3060 mètres, a été accordé par le gouvernement chilien à l'ESO dans le but d'y installer cet observatoire. En plus de l'excellente qualité du ciel, le fait qu'Armazones et Paranal se trouvent à moins de 20 kilomètres l'un de l'autre permettra d'opérer l'ELT comme un instrument de l'observatoire de Paranal.

Le coût direct de la construction de l'ELT est estimé à 1,2 milliard d'euros, financés par les pays membres de l'ESO. À la différence des projets américains, l'ESO a décidé de ne pas démarrer la construction de l'ELT avant de s'être assuré de 90 % de son financement, un objectif atteint en 2014. En 2015, la route d'accès au Cerro Armazones a été achevée et le terrassement du sommet pour accueillir le gros œuvre a débuté. Après le creusement des fondations, terminé en 2018, les étapes suivantes seront le coulage du béton et l'installation des systèmes d'amortissement antisismiques. Suivra la construction du bâtiment de service et de la coupole où sera ensuite installée la monture du télescope.

Le véritable cœur de l'ELT, l'ensemble de ses systèmes optiques et mécaniques, constitue un gigantesque défi. Au moment où nous écrivons, l'industrie européenne est déjà à pied d'œuvre pour produire l'ensemble de ses éléments, y compris les miroirs, leurs supports, les actionneurs, capteurs et bien d'autres. La première lumière pour des calibrages techniques est prévue pour 2025 ; après quoi, l'instrumentation sera installée afin de démarrer les opérations scientifiques en 2026.

L'ELT sera essentiellement composé du télescope, de son instrumentation scientifique et de leurs structures de support respectives. La fonction du télescope est de collecter la lumière visible et infrarouge émise par l'objet étudié et, ➤