

sous-arachnoïdien: des «trabécules élastiques» qui suspendent le système nerveux central dans son bain de LCR et permettent ainsi d'amortir les chocs et de maintenir le tissu mou et fragile du système nerveux en quasi-apesanteur.

C'est également dans cet espace que courent les vaisseaux sanguins avant de s'engouffrer dans le système nerveux central. Artères et veines, enrobées d'une fine couche membraneuse les séparant du LCR, forment une toile arborescente, plaquée contre le cerveau, d'où partent une multitude de vaisseaux pénétrants.

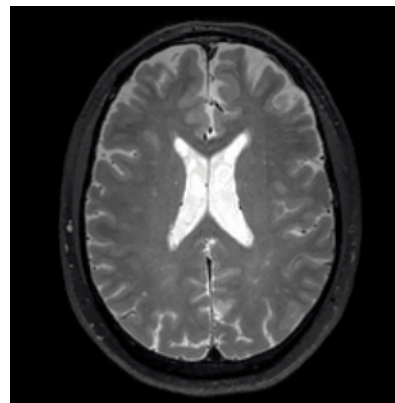
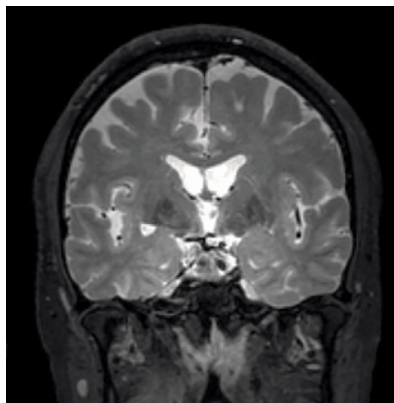
CHUTES DU BOUT DU MONDE

Entre les deux hémisphères s'allonge un énorme sinus veineux, vaste poche de sang dans laquelle se jettent les veines cérébrales qui ramènent le sang ayant irrigué les tissus cérébraux. L'espace sous-arachnoïdien s'étend également dans ce sinus en petites cavités nommées «villosités arachnoïdiennes». Il s'agit d'un des sites majeurs de drainage et d'évacuation du LCR, qui permet d'en réguler la pression grâce à un système de valves antiretour à l'échelle microscopique. Par les villosités arachnoïdiennes, l'excédent de LCR se jette dans le sang veineux pour y être évacué.

Les villosités arachnoïdiennes ne sont cependant pas la seule voie d'élimination du LCR. Le réseau lymphatique méningé remplit une fonction équivalente. Découvert en 1787 par l'Italien Paolo Mascagni, il est ensuite tombé dans l'oubli, avant d'être de nouveau observé simultanément par les équipes de Jonathan Kipnis et Kari Alitalo, en 2015. Passé inaperçu aux yeux des scientifiques pendant des siècles du fait de fortes variations interindividuelles, le réseau lymphatique méningé est, à l'instar du système lymphatique présent dans le reste de l'organisme, un ensemble de canaux spécialisés, destinés à ramener le liquide excédentaire des tissus vers le système veineux.

Le réseau méningé présente tous les aspects des vaisseaux lymphatiques «classiques» et s'étend au repos le long des gros vaisseaux. Cependant, en cas de traumatisme, choc ou accident vasculaire cérébral, il peut étendre sa superficie et ainsi contribuer à drainer le LCR, pour limiter l'augmentation de la pression intracrânienne.

D'autres voies moins importantes permettent d'évacuer directement une partie du LCR vers le système lymphatique. Par exemple, la lame criblée de l'éthmoïde, structure osseuse permettant le passage des nerfs olfactifs vers la cavité nasale, voit s'écouler une fraction du LCR vers la muqueuse olfactive, abondamment desservie par des vaisseaux lymphatiques. Peu développée chez les êtres humains, cette voie



L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une méthode pour observer l'intérieur du corps grâce à un puissant aimant et des ondes radio faisant vibrer le noyau des atomes. Le signal reçu provient surtout des molécules d'eau et change en fonction de leur état physicochimique. Grâce à ces propriétés, il est possible de distinguer le LCR (*en blanc*) du tissu cérébral. Le contraste de phase est un type d'IRM exploitant les propriétés d'encodage de la machine pour déceler des tissus ou fluides en mouvement par rapport au reste du corps et donner une approximation de leur vitesse et de leur sens de déplacement. Ainsi, cette technique est utilisée pour mesurer les flux de LCR, mais aussi les flux sanguins dans le cœur et les gros vaisseaux.

est cependant prépondérante chez les rongeurs dont la surface olfactive est plus importante. À noter que les tractus olfactifs parfois se résorbent, lors d'un rhume par exemple, ce qui perturbe le flux général de LCR.

LES FLEUVES DU TISSU CÉRÉBRAL

C'est le Hongrois Michael Földi qui, en 1968, a découvert qu'un marqueur injecté dans le cerveau se retrouvait, quelques heures plus tard, dans les nœuds lymphatiques de la base du cou, ouvrant la voie à l'étude des liens entre cerveau et système lymphatique. Földi a également montré que le traceur quittait le cerveau en suivant le contour des vaisseaux sanguins. Pourtant, le traceur n'entrait jamais dans le sang! Il s'agit donc d'une voie périvasculaire (située autour des vaisseaux), à laquelle l'Américaine Helen Cserr a ajouté les voies périnerveuses, le long des grands axes de fibres parcourant le cerveau. Ainsi, les solutés, sels minéraux, nutriments, neuromédiateurs, suivent ces voies de moindre résistance pour se déplacer.

De fait, il existe, autour des artères et veines pénétrant dans le cerveau, une couche de fluide communiquant avec l'espace sous-arachnoïdien: l'espace de Virchow-Robin. Ce compartiment se prolonge en profondeur par l'espace périvasculaire, avant de disparaître au niveau des capillaires. Il est formé grâce à des prolongements que certaines cellules chargées de l'entretien du système nerveux, les astrocytes, envoient au contact des vaisseaux. Ces «pieds astrocytaires» contribuent à la formation de la barrière hématoencéphalique et sont enrichis en aquaporine de type IV, une protéine canal perméable à l'eau qui facilite les échanges entre ces cellules et l'espace périvasculaire.

Dans cette fine couche de liquide, les macrophages périvasculaires, cousins de leurs homologues du sang, surveillent le passage. Véritables douaniers de la barrière hémato-encéphalique, ils en régulent la perméabilité et préviennent les infiltrations de substances dangereuses, par exemple des virus.

SUR LA PISTE DES ARTÈRES : L'HYPOTHÈSE DU SYSTÈME GLYPHATIQUE

C'est à ce niveau qu'interviendrait le système «glymphatique», qui joue le rôle du système lymphatique au niveau cérébral et dont l'activité repose sur les cellules gliales. Son existence a été proposée en 2012 par l'équipe de la Danoise Maiken Nedergaard. Selon cette hypothèse, un courant de liquide emprunterait les espaces périartériels, transiterait dans l'épaisseur du tissu cérébral et repartirait par les espaces périveineux en emportant avec lui les déchets cérébraux (voir l'encadré page 66). Le tout serait dû grâce aux pulsations des artères causées par les battements cardiaques. Une théorie élégante pour expliquer le nettoyage du cerveau, mais peu probable aux yeux de nombreux spécialistes...

En effet, le tissu cérébral forme une masse compacte, certes parcourue par l'espace entre les cellules (dit «interstitiel»), mais, en conditions normales, la pression générée par les

artères ne suffit pas à pousser le liquide vers les veines. Un «problème technique» révélé par les observations d'autres chercheurs. En revanche, le rôle des espaces périartériels ne fait aucun doute. Plutôt qu'un courant circulant dans un sens spécifique, un brassage alternatif expliquerait les observations de l'équipe de Maiken Nedergaard.

Un autre modèle, possiblement complémentaire, a été proposé par l'équipe de la Britannique Roxana Carare. Selon cette théorie, certaines substances seraient évacuées du cerveau dans la membrane des vaisseaux eux-mêmes. En effet, l'organisation en plusieurs couches des artères permet d'envisager que des molécules puissent se glisser dans les interstices et remonter jusqu'au système lymphatique...

DES MARÉES NOCTURNES QUI EMPORTENT LES DÉCHETS

De fait, la question de l'élimination des déchets du métabolisme cérébral par le LCR est pertinente pour un grand nombre de pathologies. Par exemple, c'est lui qui évacue le peptide bêta-amyloïde, un déchet produit par les neurones et dont l'accumulation augmente le risque de souffrir de la maladie d'Alzheimer. En effet, chez les patients, le peptide s'agrège sous forme de plaques qui ne peuvent plus être éliminées par ce système.

QUAND LE SOMMEIL RÉPARE L'ORGANISME

Le sommeil se compose de quatre stades qui diffèrent par leur activité électrique cérébrale, la présence ou non de mouvements oculaires et d'un tonus musculaire. On distingue ainsi le stade N1, correspondant à une phase de transition entre la veille calme et le sommeil confirmé. Ce stade représente moins de 5 % du temps total de sommeil (TTS). Vient ensuite le stade N2, caractérisé par la présence de fuseaux de sommeil et de complexes K, et qui occupe plus de la moitié de la nuit. Ces deux

stades sont souvent regroupés sous le terme de « sommeil lent léger ». Le sommeil lent profond, ou stade N3, est caractérisé par de grandes ondes amples appelées « ondes delta », très lentes et régulières. C'est lors de cette phase que les pulsations du liquide céphalorachidien augmentent et favoriseraient l'élimination des déchets nerveux et le nettoyage du cerveau. Enfin, le cycle de sommeil, d'une durée d'environ 90 minutes chez l'adulte, se termine par une phase de sommeil

paradoxal qui doit son nom au fait que l'activité électrique du cerveau est comparable, voire supérieure dans certaines régions, à celle observée à l'éveil alors que le sujet dort profondément et que son tonus musculaire est aboli. Le dormeur présente également des mouvements oculaires rapides. C'est durant cette dernière phase de sommeil que surviennent la majorité des rêves.

