

Ultrastructure de la fibre nerveuse en rapport avec sa fonction

Autor(en): **Baud, C.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche**

Band (Jahr): **8 (1952)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **14.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-307099>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Institut d'Anatomie - Ecole de Médecine, Genève
Directeur: Prof. J. A. Baumann

Ultrastructure de la fibre nerveuse en rapport avec sa fonction

Par C. A. Baud

Le problème des relations entre la structure du nerf et son fonctionnement peut être envisagé, non seulement, à l'échelle de l'histologie classique, comme il l'a été en général jusqu'ici, mais encore dans le domaine des dimensions submicroscopiques. Le but de cet exposé est de faire le point des données acquises dans ce dernier domaine morphologique, principalement d'après les résultats obtenus dans mon laboratoire, au cours de ces deux dernières années, en souhaitant qu'elles puissent être utiles à la solution de ce problème.

Matériel et méthodes

Les observations relatées ici ont porté, d'une part, sur le nerf sciatique du rat blanc et de l'Axolotl et sur la fibre de Mauthner chez le poisson rouge, d'autre part, sur le cervelet du rat blanc.

Les pièces destinées à l'observation au microscope électronique doivent être aussi petites que possible, et en tout cas ne pas dépasser un millimètre dans une de leurs dimensions. Elles sont fixées par le tétroxyde d'osmium à 2% pendant un jour, à la glacière, lavées, incluses dans la celloïdine-paraffine et coupées en série à 0,1 micron d'épaisseur, selon la technique que j'ai décrite antérieurement (C. A. Baud, 1950).

Les pièces, destinées à l'observation au microscope polarisant, sont fixées et imprégnées par l'argent, selon la méthode de A. Weber (1947), incluses dans la paraffine et coupées de la manière habituelle. Les structures nerveuses ainsi imprégnées présentent le phénomène du dichroïsme, pour la recherche et l'interprétation duquel je renvoie à une publication antérieure (C. A. Baud, 1947).

Cette étude a été rendue possible, grâce au matériel mis à la disposition de l'Institut d'Anatomie de Genève par l'Académie Suisse des Sciences Médicales, notamment l'appareillage pour les coupes ultra-minces et divers accessoires du microscope polarisant.

Résultats et discussion

a) *Les données du microscope électronique.* Les fibres nerveuses bien fixées (fig. 1 et 2) montrent une gaine de myéline opaque et homogène; dans l'axone, on voit de minces chondriocontes et de nombreuses fibrilles, larges de 200 à 300 Å, appelées protofibrilles nerveuses, dont j'ai montré (C. A. Baud, 1950) qu'elles étaient disposées parallèlement les unes aux autres et à l'axe de la fibre, et parfois, accolées en petits faisceaux. Les fibres dites amyéliniques se distinguent par la minceur de leur gaine réduisant le tétr oxyde d'osmium, qui ne dépasse pas 0,1 micron d'épaisseur, et par le nombre beaucoup plus grand de leurs protofibrilles, qui sont tassées les unes contre les autres et constituent un remplissage dense de tout l'axone (C. A. Baud et E. Pernoux, 1951). Dans les préparations favorables quant au plan de coupe, on peut voir une mince membrane séparant l'axone de la gaine de myéline; elle apparaît comme une fine ligne homogène, épaisse de 20 millimicrons environ, et correspond à l'axolemme ou membrane de Mauthner de l'histologie classique.

Les fibres imparfaitement fixées, comme il y en a fréquemment au centre des faisceaux nerveux, par suite du faible pouvoir de pénétration de l'acide osmique, montrent un aspect très différent (fig. 3 et 4). La gaine de myéline est vacuolisée, les chondriocontes se sont transformés en grains arrondis, les protofibrilles sont flexueuses, recouvertes de granulations et forment un réseau à mailles irrégulières; on ne voit plus

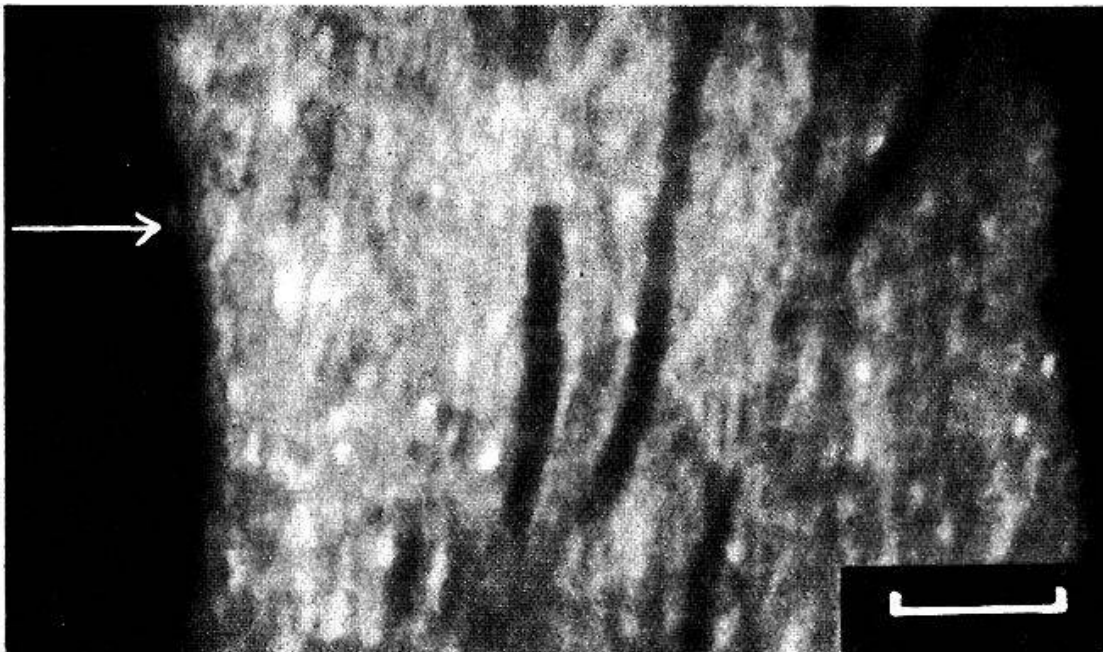


Fig. 1. Coupe longitudinale de fibre nerveuse (nerf sciatique de Rat blanc). Bonne fixation par le tétr oxyde d'osmium. Myéline homogène, chondriocontes, protofibrilles homogènes et parallèles. La flèche blanche montre l'axolemme. Micrographie électronique 25 000 \times .

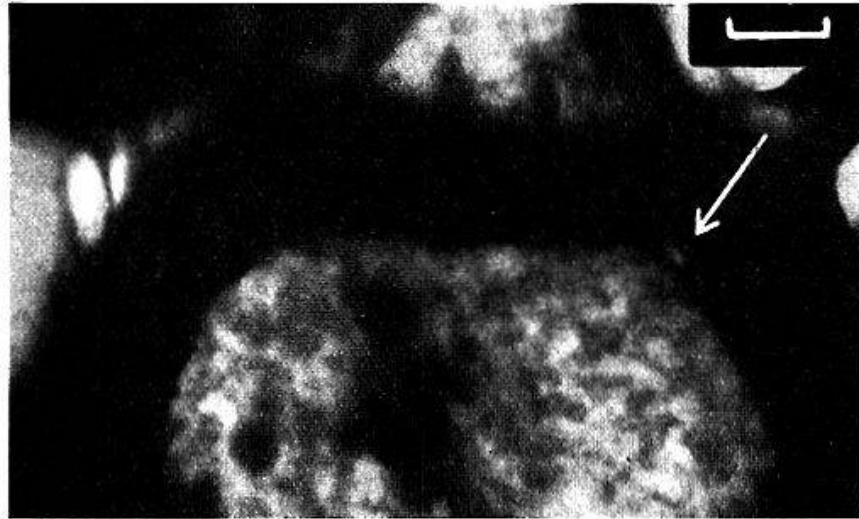


Fig. 2. Id., coupe transversale. Micrographie électronique 20 000 \times .

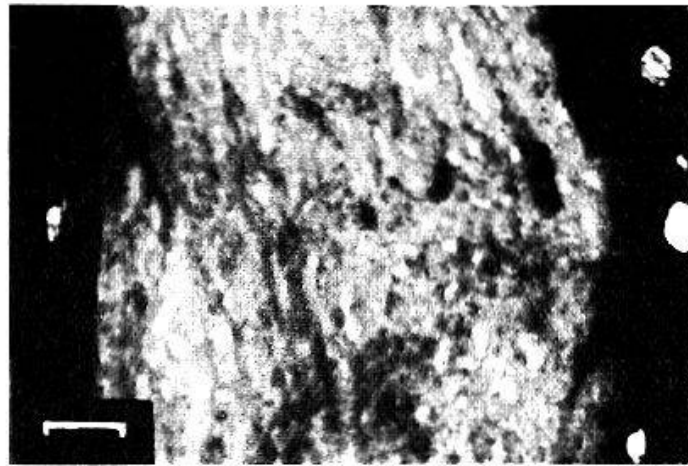


Fig. 3. Mêmes matériel. Coupe longitudinale d'une fibre mal fixée. Myéline vacuolisée, chondriocontes altérés, protofibrilles désorientées et recouvertes de granulations. Micrographie électronique 12 500 \times .

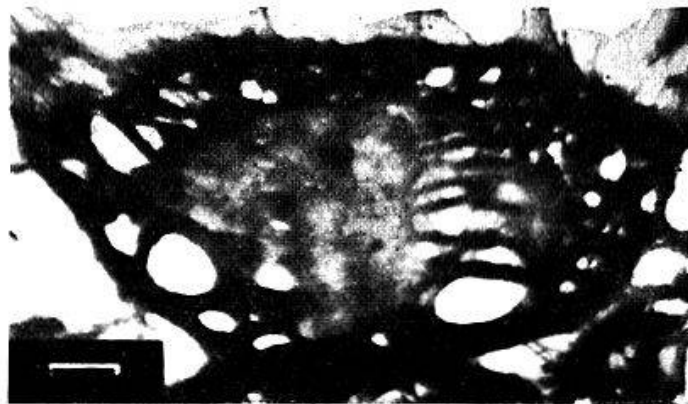


Fig. 4. Id., coupe transversale. La limite entre gaine de myéline et axone est floue, l'axolemme a disparu. Micrographie électronique 12 500 \times .

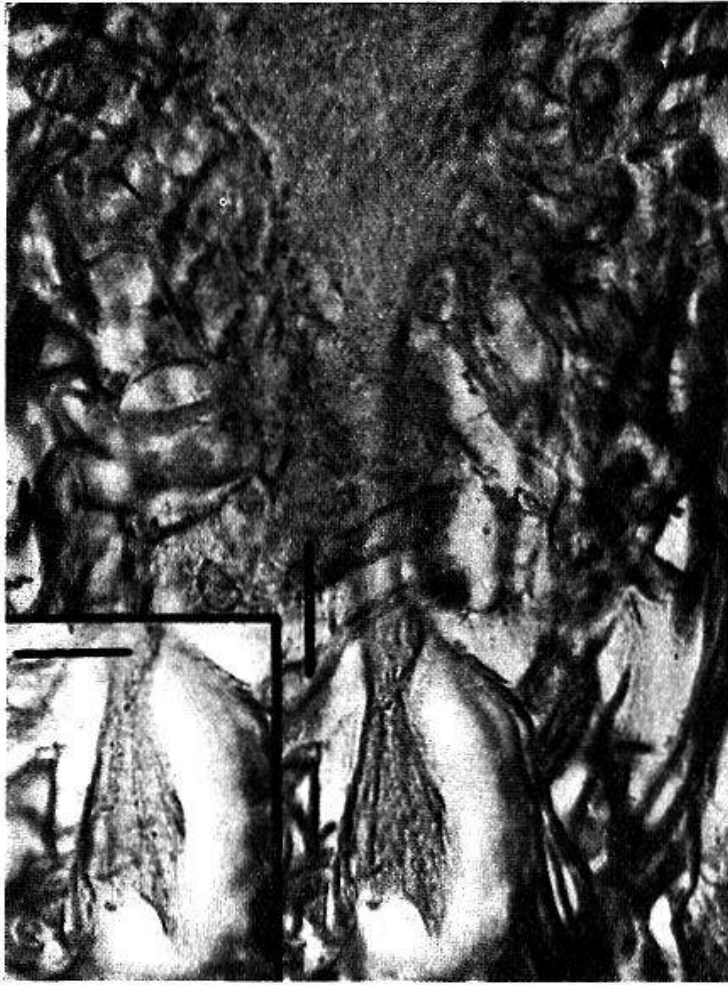


Fig. 5. Cerveau de poisson rouge. Imprégnation argentique. Extrémité médiale de la cellule de Mauthner et cône axonique (en haut), coupe tangentielle de l'axolemme de la fibre (en bas). Lumière linéairement polarisée vibrant parallèlement à l'axe de la fibre (indiquée par un trait noir); microphotographie en position d'absorption maxima (axolemme sombre). Dans le carton, même préparation, mais lumière vibrant perpendiculairement à l'axe de la fibre; microphotographie en position d'absorption minima (axolemme clair). La comparaison des deux images montre le dichroïsme de l'axolemme vu de face.

jamais d'axolemme, bien au contraire, la limite entre la gaine de myéline et l'axone devient floue (fig. 4).

Le microscope électronique montre donc que l'axone présente une structure interne et une membrane limitante périphérique, toutes deux très fragiles. Si la fixation n'est pas excellente, la texture s'estompe; c'est ainsi que *R. Rozsa*, *C. Morgan*, *A. Szent-Györgyi* et *R. W. G. Wyckoff* (1950) n'ont pas vu l'axolemme.

L'observation directe renseigne sur la présence de l'axolemme, mais n'indique pas sa texture; seul *H. Fernández-Morán* (1950) a vu l'axolemme sous la forme d'un fin réseau pourvu de trabécules longitudinaux de renforcement, mais ses préparations ne sont pas exemptes d'artefacts. Le corps de la cellule nerveuse apparaît, lui aussi, bordé par une

fine ligne limitante sans structure décelable, dans les micrographies électroniques de *G. Barski, J. Maurin et O. Croissant* (1949).

b) *Les données du microscope polarisant.* Le microscope polarisant permet d'abord de confirmer les résultats du microscope électronique et de montrer que la présence dans l'axone de protofibrilles orientées aussi bien à l'état frais (biréfringence uniaxe positive), qu'à l'état fixé si l'ultrastructure a été bien maintenue par le fixateur (dichroïsme après

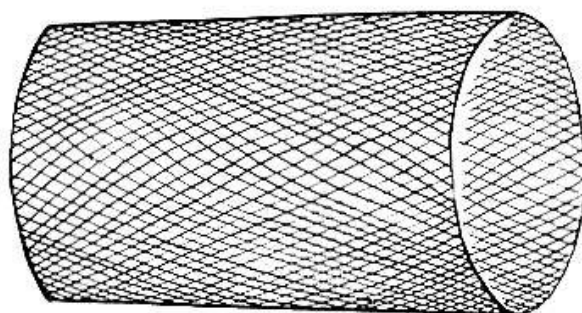


Fig. 6. Schéma de la texture submicroscopique des molécules protéiques dans l'axolemme.

imprégnation argentique), n'est pas un artefact; les neurofibrilles de l'histologie classique sont des faisceaux de protofibrilles.

Mais il est possible aussi de détecter l'ultrastructure de la membrane du neurone. Au niveau du corps de la cellule nerveuse, les résultats obtenus par *P. Chinn* (1938) prouvent à mon avis une texture foliaire des constituants protéiques de la membrane, c'est-à-dire que les molécules sont disposées parallèlement au plan de surface de la membrane, mais sans orientation dans ce plan.

J'ai cherché à poursuivre ces observations sur l'axolemme. Des coupes tangentielles du cylindraxe de fibres de Mauthner montrent après imprégnation argentique un dichroïsme de l'axolemme, visible non seulement de profil, mais encore de face (fig. 5). Ce dichroïsme prouve une texture des constituants protéiques en feuillet, dans chacun desquels, les molécules présentent une direction préférentielle parallèle à l'axe de la fibre (fig. 6). Il existe donc, entre l'axone et la gaine de myéline, une membrane dont un constituant essentiel est un réseau protéique orienté suivant l'axe de la fibre.

Il est possible de suivre cette structure jusque dans la synapse. L'extrémité de la fibre nerveuse, constituant la zone synaptique, est formée par l'appareil métaterminal de *A. Weber* (1949); l'aspect microscopique de cet appareil et de ses variations cycliques me conduit à supposer qu'il est essentiellement constitué par une expansion filamenteuse de l'axo-

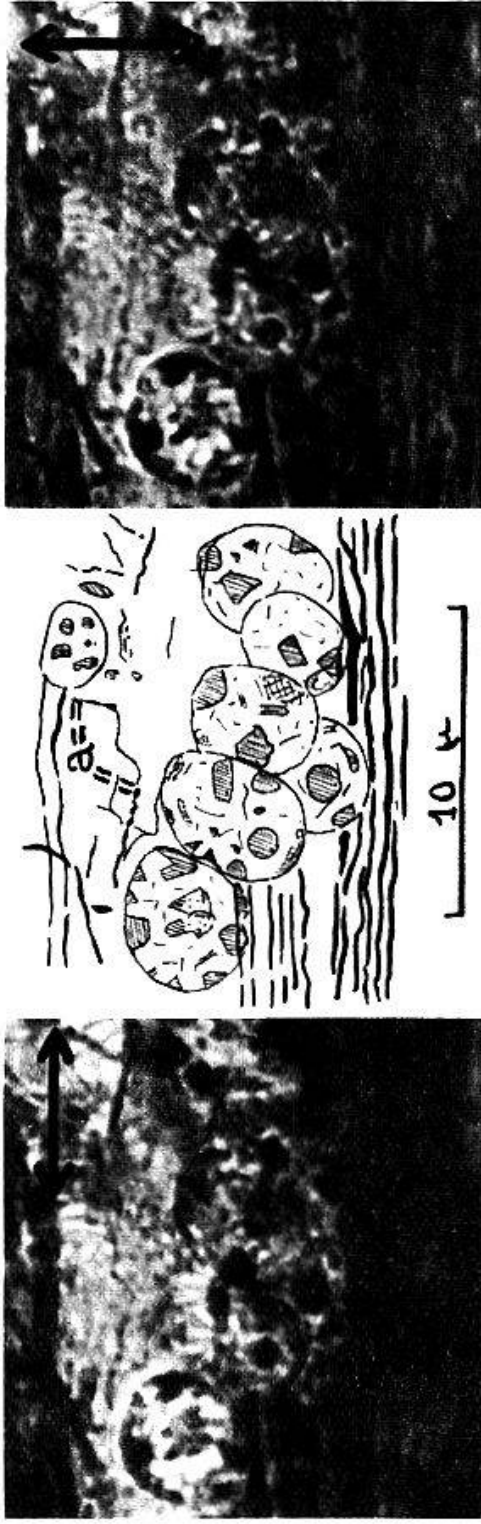


Fig. 7. Cervelet de souris. Imprégnation argentique après fixation par substitution. Appareil métaterminal (a) dans un glomérule cérébelleux, montrant le phénomène du dichroïsme. Au centre, schéma d'ensemble. A gauche, microphotographie en lumière linéairement polarisée (direction de vibration indiquée par le trait noir en haut et à droite), absorption maxima, l'appareil métaterminal apparaît nettement. A droite, lumière vibrant dans la direction perpendiculaire, l'appareil métaterminal disparaît. Le faisceau de fibres nerveuses, en bas de la figure, s'éclaircit également. 3100 X.

lemme¹, identique à celles que l'on peut obtenir à partir des membranes d'autres cellules, et dont les hématexodies des érythrocytes sont un exemple typique (*R. F. Furchgott*, 1940; *M. Bessis*, 1949; *M. Bessis et M. Bricka*, 1950). L'appareil métaterminal présente lui aussi un fort dichroïsme après imprégnation argentique (fig. 7), caractérisant une texture des constituants protéiques fortement orientée parallèlement à l'allongement du filament (*C. A. Baud*, 1948).

Il existe donc tout le long de la fibre nerveuse, depuis son implantation sur le corps du neurone jusqu'à son ultime terminaison, une membrane, l'axolemme, limitant l'axone comme le plasmalemme limite le corps cellulaire. L'axolemme est essentiellement constitué d'un réseau protéique dont les molécules sont orientées parallèlement à l'axe de la fibre.

Il est possible, comme le pense *J. Z. Young* (1942), que l'axolemme représente la membrane qui, suivant les conceptions communément admises par les physiologistes, est le siège des phénomènes de la propagation de l'influx nerveux. En tout cas, il est constitué du réseau protéique orienté qui est nécessaire pour rendre compte des propriétés physiologiques de cette membrane, selon *J. J. Katz* et *W. C. Halstead* (1950); ces auteurs accordent en effet une importance particulière aux protéines et pensent qu'un réseau protéique orienté peut jouer un rôle prépondérant dans la conduction nerveuse, soit qu'il fonctionne comme un semi-conducteur négatif (à électrons libres) ou positif (à conductibilité dite «par trous»), soit qu'il permette un transfert de protons en relation avec des réactions couplées d'oxydo-réduction, soit enfin qu'il présente des modifications réversibles de la configuration des chaînes polypeptidiques se propageant à la manière d'une onde.

Résumé

L'étude des fibres et terminaisons nerveuses par les techniques ultrastructurales (microscope polarisant, microscope électronique) montre une organisation bien définie mais facilement altérable.

L'axone contient de fins chondriocontes et des protofibrilles disposées parallèlement à l'axe de la fibre, plus nombreuses dans les fibres amyéliniques que dans les fibres myéliniques.

L'axolemme, ainsi que l'appareil métaterminal qui en dérive peut-être

¹ Note ajoutée à la correction des épreuves: Après la rédaction de cet article a paru un travail de *H. Fernández-Morán* (*Exper. Cell Res.* **3**, 282, 1952) qui confirme, par l'examen au microscope électronique, que les terminaisons nerveuses sont des expansions de la membrane, contenant un liquide et quelques granulations et éventuellement quelques fibrilles.

et qui constitue la zone synaptique, sont essentiellement formés d'une membrane protéique dont les molécules constitutives ont une orientation préférentielle parallèle à l'axe de ces formations. Le rôle de cette membrane est envisagé.

Zusammenfassung

Die feinstrukturelle Untersuchung der Nervenfibern und Nervenendigungen (mit dem Polarisationsmikroskop und dem Elektronenmikroskop) zeigt eine gut ausgeprägte, aber leicht veränderliche Organisation.

Das Axon enthält feine Chondriokonten und parallel zur Faserachse gerichtete Protofibrillen, welche in den Amyelinfibern zahlreicher vorhanden sind als in den Myelinfibern.

Das Axolemma sowie der «metaterminale Apparat», der vielleicht aus ihm hervorgeht und der die synaptische Zone darstellt, werden hauptsächlich von einer Proteinmembran gebildet, deren aufbauende Moleküle vorwiegend parallel zur Achse dieser Formationen orientiert sind. Die Aufgabe dieser Membran wird untersucht.

Riassunto

L'esame delle fibre nervose e dei terminali del nervo con i metodi ultrastrutturali (microscopio polarizzatore, microscopio elettronico) mostra un'organizzazione ben definita ma facilmente alterabile.

L'assone contiene chondriociti fini e protofibrille disposte parallelamente all'asse della fibra, più numerose nelle fibre amieliniche che nelle fibre mieliniche.

L'assolemma, come l'«apparato metaterminale» che forse deriva da questo e costituisce la zona sinattica, sono principalmente formati da una membrana proteica della quale le molecole costitutive hanno un'orientazione preferenziale parallela all'asse di queste formazioni. Il ruolo di questa membrana è considerato.

Summary

The observation of nervous fibres and endings by the ultrastructural techniques (polarizing microscope, electron microscope) shows a well determined but easily alterable organization.

The axon contains fine chondriocites, and protofibrils placed parallel to the axis of the fibre, more numerous in the amyelinic than in the myelinic fibres.

The axolemma, as well as the metaterminal apparatus which perhaps

originates from it, and which constitutes the synaptic zone, are essentially composed of a proteic membrane, the constituent molecules of which have a preferential orientation parallel to the axis of these formations. The rôle of this membrane is considered.

Barski, G., Maurin, J., et Croissant, O.: Ann. Inst. Pasteur, Par. **76**, 1 (1949). – *Baud, C. A.*: Acta Anat. **4**, 44 (1947); Bull. Histol. appl. etc. **25**, 14 (1948); Acta Anat. **10**, 461 (1950). – *Baud, C. A., et Pernoux, E.*: C. r. Acad. Sci. **232**, 1597 (1951). – *Bessis, M.*: Rev. Hématol. **4**, 95 (1949). – *Bessis, M., et Bricka, M.*: Rev. Hématol. **5**, 396 (1950). – *Chinn, P.*: J. cellul. a. comp. Physiol. (Am.) **12**, 1 (1938). – *Fernández-Morán, H.*: Exper. Cell Res. **1**, 309 (1950). – *Furchgott, R. F.*: Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. **8**, 224 (1940). – *Katz, J. J., et Halstead, W. C.*: Comp. Psychol. Monogr. (Am.) **20**, 1 (1950). – *Rosza, G., Morgan, C., Szent-Györgyi, A., et Wyckoff, R. W. G.*: Science **112**, 42 (1950). – *Weber, A.*: Bull. Histol. appl. etc. **24**, 49 (1947); Experientia **5**, 461 (1949). – *Young, J. Z.*: Physiol. Rev. **22**, 318 (1942).