

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 38 (1944-1947)

Artikel: Les molécules filiformes et leur rôle en biologie

Autor: Meyer, Kurt-H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308196>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les molécules filiformes et leur rôle en biologie

par KURT-H. MEYER.

Des molécules dans lesquelles un grand nombre d'atomes sont liés par des liaisons homopolaires formant ainsi une longue chaîne sont très répandues dans la nature vivante. Grâce à la libre rotation autour des liaisons simples, ces molécules se comportent comme des fils flexibles. On les appelle donc aussi des molécules filiformes. La cellulose, l'amylose, la pectine et bien d'autres polysaccharides, le caoutchouc et toutes les protéines appartiennent à cette classe de polymères ; le rôle biologique de tous ces corps ne saurait donc être assez hautement estimé. Tous les problèmes biologiques ayant trait à ces corps ne peuvent être mentionnés ici. Nous allons donc nous limiter à leur rôle en tant que molécules filiformes.

Les molécules filiformes ne se rencontrent jamais à l'état gazeux ni à l'état liquide, mais seulement à l'état solide ou à l'état gommoïdal, ou encore en solution ou sous forme de gelée. Tous les systèmes contenant des molécules filiformes se comportent très différemment, au point de vue physico-chimique, des systèmes à petites molécules. Nous allons dans ce qui suit esquisser brièvement les propriétés particulières physico-chimiques et physiques de chaque système contenant des molécules filiformes puis nous regarderons où se trouvent ces systèmes dans la nature animée et quel est leur rôle biologique.

Etat gommoïdal : Beaucoup de substances à molécules filiformes se trouvent à température ordinaire à l'état gommoïdal. Cet état est caractérisé par une extensibilité réversible excessivement grande ; la force qui s'oppose à la déformation est due au mouvement thermique des segments de molécules¹. Sous l'influence

¹ Théorie de K.-H. MEYER, SUSICH et VALKO, *Kolloid Ztschr.* 59, 208 (1932).

de ce mouvement, le système a tendance à retourner à l'état primitif, non déformé, qui, du point de vue statistique moléculaire est moins régulier, donc plus probable que l'état déformé. La nature vivante se sert très souvent de cette élasticité dite « cinétique ». Les ligaments élastiques ont des propriétés thermodynamiques similaires à celles du caoutchouc ; à l'état tendu, ils se contractent, lors d'une élévation de température, tandis que d'autres corps élastiques s'allongent¹. Des fibres élastiques entourent les vaisseaux sanguins. La plupart des membranes animales sont composées de cette sorte de molécules. La fig. 1 montre l'extensibilité réversible

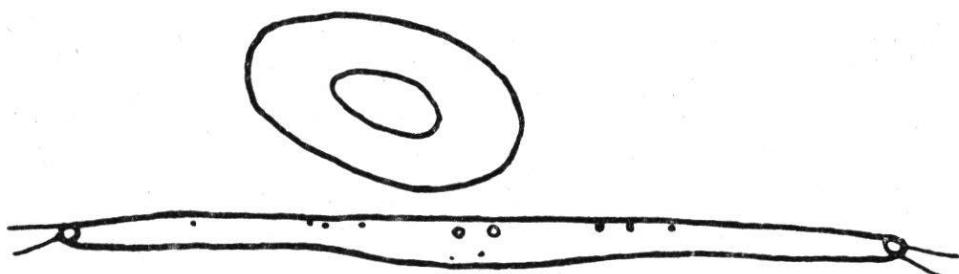


Fig. 1. Erythrocyte de cryptobranchus normale et étirée (Seifriz).

des membranes des globules rouges d'un amphibia, d'après une publication de SEIFRIZ². Les fasciae qui enveloppent les muscles, et finalement les fibrilles musculaires en repos présentent également le phénomène de l'élasticité gommoïdale comme PICKEN et moi-même³ avons pu le prouver par des recherches sur leur thermoélasticité.

Cristallisation des corps gommoïdaux : Lorsqu'on étire le caoutchouc, les fils moléculaires ayant des formes sinueuses et irrégulières sont étendus et se disposent parallèlement en faisceaux. Cet ordre facilite la cristallisation : les molécules, ou mieux encore les segments, s'emboîtent en un réseau cristallin. Le caoutchouc perd ainsi son élasticité et devient rigide. Nous observons ces mêmes phénomènes lors de la fabrication du fil de soie par le ver à soie : les glandes séricigènes contiennent une substance gommoïdale que

¹ K.-H. MEYER et C. FERRI, *Pflügers Archiv* 238, 78 (1936).

² W. SEIFRIZ, *The Americ. Naturalist* 63, 410 (1928).

³ K.-H. MEYER et L.E.R. PICKEN, *Proc. Roy. Soc. London B* 124, 29 (1937).

l'on peut obtenir en ouvrant les glandes. Cette substance se présente sous forme d'un fil très élastique d'un millimètre de diamètre et de 20 cm. de longueur qui, lorsqu'on l'étire et le relâche immédiatement après, se contracte comme le caoutchouc ; lorsqu'on le maintient 10 secondes dans la position allongée, il ne se contracte plus : il est solide et cristallisé¹. C'est en effet par un mouvement d'étirage que le ver fabrique le fil de soie. L'étirage est d'ailleurs utilisé dans la fabrication de la soie artificielle ou de la soie Nylon pour obtenir les fils solides dans lesquels les molécules caténi-

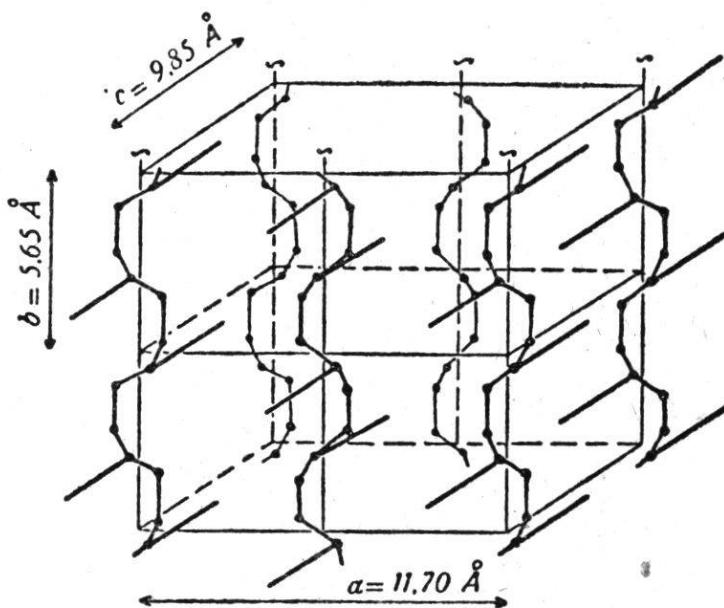


Fig. 2. Arrangement des chaînes de myosine dans le muscle (Lotmar et Picken).

formes sont ordonnées parallèlement en réseau cristallin. Selon la nature du corps gommoïdal, et la traction exercée, la partie cristallisée varie. Elle peut être très grande, ce qui donne des fibres qui ne sont plus du tout élastiques ; si, au contraire, il reste encore une partie considérable de substance à l'état gommoïdal, le fil reste élastique comme nous le constatons chez le fil que tisse l'araignée. L'on peut voir ainsi que, selon le but biologique, la nature fournit des propriétés mécaniques différentes.

La nature cristalline du fil de soie est démontrée par le diagramme aux rayons X. Les interférences permettent d'établir la position des chaînes polypeptidiques dans la partie cristallisée et

¹ K.-H. MEYER, J. JEANNERAT, *Helv. Chim. Acta* 22, 22 (1939).

la forme des chaînes: elles sont droites. Le muscle étiré et séché peut également cristalliser. Malheureusement cette cristallisation n'a pu être observée qu'à deux reprises: en 1925 par HERZOG et en 1938 par PICKEN. Mais le diagramme remarquable obtenu par PICKEN a suffi à LOTMAR et à PICKEN¹ pour établir la cellule élémentaire et se faire une idée de la forme des molécules de myosine. Elles sont très probablement disposées en spirale; les chaînes latérales, par exemple, les restes de leucine ou de tyrosine, sont marqués par des traits dans le dessin (Fig. 2).

Les fibres cristallines: S'agit-il dans tous ces cas d'une véritable cristallisation? Quoique nous ne voyons pas de faces de cristaux, nous observons des interférences aux rayons X. Mais ces interférences sont beaucoup plus floues que les interférences de cristaux bien formés. On peut conclure de ces «diagrammes de fibres» que les régions cristallines sont très petites, certainement plus petites que la longueur d'onde de la lumière visible. A part les régions cristallines, les fibres contiennent également des régions amorphes. Tout en formant une unité morphologique, le fil de soie et la fibre cellulosique sont composés d'un amas de cristallites et de régions plus ou moins amorphes; nous trouvons toutes les transitions entre une fibre bien cristallisée, une fibre avec un ordre imparfait, des fibres qui ne montrent pas d'interférences cristallines mais dont la biréfringence révèle une structure anisotrope et finalement des produits ayant une structure amorphe et isotrope.

En voici l'explication: les segments de fibres peuvent cristalliser individuellement, de sorte que les molécules filiformes peuvent appartenir à plusieurs régions cristallines et à des régions amorphes et que, inversément, les cristallites sont liés entre eux par des fils moléculaires (théorie des «micelles à franges» proposée par HERRMANN et GERNGROSS² pour la gélatine et généralisée par K. H. MEYER, VALKO et SUSICH³). Des fibres solides et non élastiques dont la texture correspond à ce principe sont très répandues dans la nature animée. La fibre cellulosique, les fibres des tendons et les fi-

¹ W. LOTMAR et L.E.R. PICKEN, *Helv. Chim. Acta* 25, 538 (1942).

² K. HERRMANN, O. GERNGROSS et W. ABITZ, *Zeitschrift physik. Chem.* 10, 371 (1930).

³ K.-H. MEYER, G. v. SUSICH et E. VALKO, *Koll. Zeitschrift* 59, 208 (1932).

bres de collagène qui forment en grande partie le tissu conjonctif, les cheveux, les piquants du hérisson et du porc-épic peuvent être cités ici. Les membranes très solides telles que la dure-mère du cerveau, les membranes cellulosiques et la carapace de chitine des insectes sont formées d'un feutre de fils solides.

Plasticité des corps gommoïdaux : Retournons maintenant aux substances à l'état gommoïdal. Lorsqu'on malaxe le caoutchouc sur des calandres chauffées, il devient plastique. Les longues molécules sont dégradées et les fils devenus courts peuvent maintenant glisser les uns sur les autres de sorte que, sous tension constante le caout-

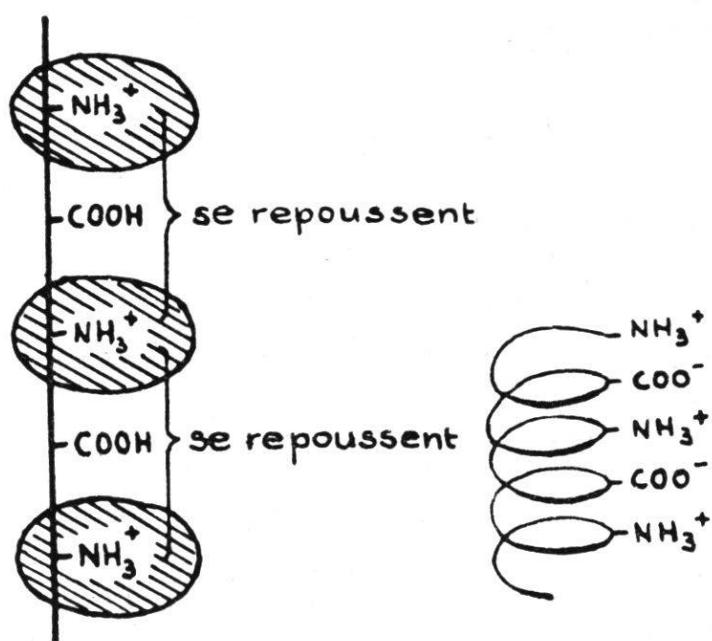


Fig. 3. Contraction de chaînes de protéine lors d'une variation du pH (K.-H. Meyer).

chouc s'allonge progressivement ; il est devenu plastique. La vulcanisation supprime la plasticité ; il se transforme ainsi, selon une idée émise par MARK et moi-même¹ en une molécule réticulée géante. Il est évident que dans un caoutchouc très faiblement vulcanisé, une partie des chaînes sera réticulée ; la majorité reste libre. Lorsqu'un tel caoutchouc est soumis à une tension, il s'allonge — on dit qu'il coule — lentement jusqu'à ce que les fils du système réticulé soient entièrement étirés. Lorsqu'on le relâche, le caoutchouc se contracte sous l'influence du système réticulé, mais cette contraction est très lente parce que le système plas-

¹ K.-H. MEYER, et H. MARK, *Ber. dtsch. Chem. Gesell.* 61, 1939 (1928).

tique qui s'était déjà relâché doit maintenant couler en sens inverse. On voit donc qu'il y a deux systèmes dans ce produit: un système réticulé élastique et un système plastique.

On est frappé de rencontrer chez les muscles de certains animaux marins un comportement absolument identique, comme l'a observé JORDAN¹. Lorsqu'on suspend par le pied une anémone de mer (un cœlenteré) à l'air, elle s'allonge très lentement jusqu'à sept fois sa longueur primitive; remise à la mer, elle reprend en quelques heures sa forme originale. C'est le muscle annulaire entourant le corps de l'animal comme un tube, qui se comporte donc

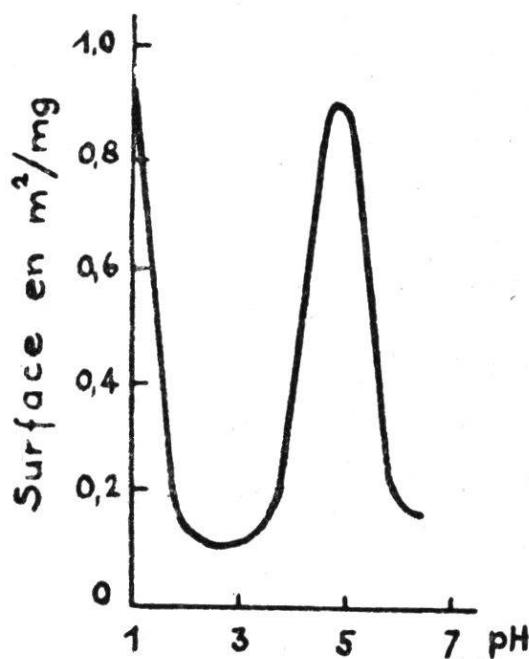


Fig. 4. Surface d'un film d'albumine (Gorter).

comme du caoutchouc faiblement vulcanisé. Je ne mets pas en doute que le dispositif sous-microscopique moléculaire est la cause de ce phénomène et qu'il est analogue à celui d'un caoutchouc faiblement vulcanisé.

La contraction musculaire: Cependant le muscle a une propriété que le caoutchouc et d'autres substances élastiques ne possèdent pas: la faculté de contraction sous l'influence d'une excitation.

Examinons d'abord par des méthodes optiques la variation de l'arrangement moléculaire lors d'une contraction. La forte diminution de la biréfringence et le changement du diagramme aux

¹ H.-J. JORDAN, *Naturwiss.* 25, 17, 34 (1937).

rayons X qui — à partir d'un diagramme de fibres devient un diagramme amorphe — nous indique que dans le muscle contracté les fils moléculaires de la myosine sont recroquevillés. A l'état non contracté, par contre, ils sont plutôt étendus et orientés parallèlement à l'axe de la fibrille. Quelle serait ici la cause de ce recroquevillage réversible ? Car il doit être réversible vu que le muscle s'allonge spontanément lorsque l'excitation cesse. Nous pouvons admettre que ce changement de forme de la chaîne de myosine est dû à des réactions chimiques dans le muscle qui sont déclenchées par le stimulus. Nous avons proposé il y a bien des années¹ le schéma suivant (cf. Fig. 3): au point isoélectrique les chaînes de la myosine porteraient des charges négatives et positives. Ces charges s'attirent et il résulterait une forme compacte de la molécule. A un pH alcalin, les cations seraient déchargés et les anions garderaient seuls leur charge. Ils se repoussent et il en résulte un allongement spontané de la chaîne. GORTER² a observé en effet que les protéines peuvent changer de forme lors d'une variation du pH. L'albumine, à un pH déterminé peut être étalée sous forme d'un film très mince sur la surface de l'eau. Lors d'une variation du pH, ce film se contracte considérablement comme le montre la Fig. 4.

Nous ne voulons toutefois pas affirmer que la contraction de la myosine est nécessairement fonction d'une variation du pH. Il peut s'agir d'une autre réaction chimique ; mais l'essentiel de notre théorie est l'idée que la contraction macroscopique est due à la variation de forme des chaînes de myosine sous l'influence d'une réaction chimique.

Les solutions des molécules filiformes : Une solution de caoutchouc, ainsi qu'une solution de nitro-cellulose sont très visqueuses. La viscosité d'un liquide peut être mesurée par l'amortissement d'une barre oscillante. Contrairement au comportement des liquides vrais, la viscosité de ces solutions dépend de la fréquence de l'oscillation³. A haute fréquence, la viscosité est petite ;

¹ K.-H. MEYER, *Biochem. Ztschr.* 214, 253 (1923).

² E. GORTER, J. v. ORMONDT et F.-J.-P. DOM, *Proc. Ac. Amsterd.* 35, 838 (1932).

³ R. EISENSCHITZ et W. PHILIPPOFF, *Naturwiss.* 21, 527 (1933). W. PHILIPPOFF, *Kautschuk* 12, 179 (1936).

la solution se comporte comme un corps élastique et peu visqueux. A basse fréquence, la viscosité est grande: la solution se comporte comme un liquide très visqueux. Chez un vrai liquide, si visqueux soit-il, la viscosité ne varie pas avec la fréquence. Ceci a été prouvé par exemple par des expériences avec des solutions très concentrées de glucose. Une autre expérience démontre peut-être encore plus clairement la différence entre un liquide vrai et une solution de molécules filiformes. Lorsqu'on centrifuge dans un récipient cylindrique un liquide ordinaire en plaçant au centre une barre qui ne tourne pas, le liquide est projeté contre la paroi extérieure. Si, par contre, une solution visqueuse de caoutchouc est soumise à la même centrifugation, elle se trouve finalement rassemblée autour de la barre, au centre¹. Ces solutions ne peuvent donc être appelées de véritables solutions. Ce sont plutôt des feutres dans lesquels les fils moléculaires ne sont pas indépendants comme dans une véritable solution. Dans tous les liquides biologiques tels que le sang, le sérum, on trouve des molécules filiformes. On ne peut pas étudier avec succès les propriétés de ces liquides sans avoir posé la base d'une théorie hydrodynamique des solutions de molécules filiformes de constitution simple et connue.

La pression osmotique d'une telle solution est, même à des concentrations d'environ 0,1 %, de beaucoup supérieure à la pression qui correspondrait au nombre de fils moléculaires, car ici aussi les segments contribuent à la pression² et c'est seulement à des concentrations extrêmement petites où des mesures ne sont plus possibles que la loi de van't Hoff est valable.

La gelée: Comment une telle solution va-t-elle cristalliser ? Dans une solution ordinaire sursaturée, des groupes de molécules se mettent en paquets et forment un réseau cristallin. Chez nos solutions de corps filiformes, ce sont les segments qui se fusionnent et forment des cristaux sous-microscopiques qui sont liés entre eux par d'autres segments n'ayant pas cristallisé. La solution qui pouvait couler devient alors une gelée, car dans

¹ C. WEISSENBERG, à publier.

² W. HALLER, *Kolloid Ztsch.* 56, 257 (1931). K.-H. MEYER et R. LÜHDEMANN, *Helv. Chim. Acta* 18, 307 (1935).

les régions cristallines, les chaînes sont solidement fixées les unes aux autres et le glissement est supprimé. Les gelées formées par cristallisation — comme par exemple la gelée de pectine, de gélatine, d'empois d'amidon — sont réversibles. Elles fondent lors d'une élévation de température. La formation d'une telle gelée est particulièrement aisée si les molécules sont très longues et pas tout à fait régulières. Les parties régulières cristallisent, les parties irrégulières restent libres; dans l'amylopectine par exemple (un

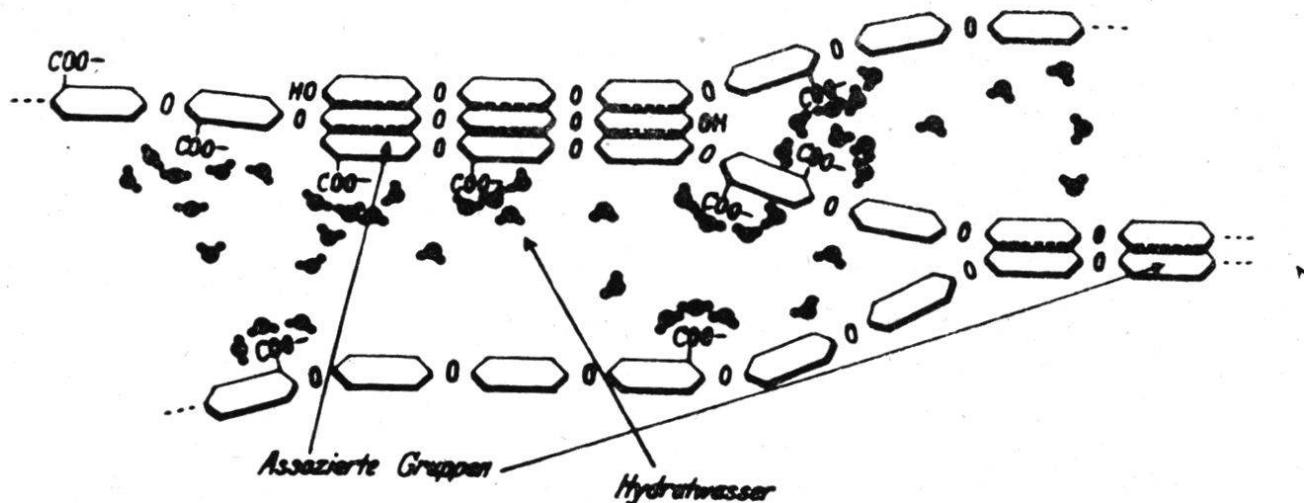


Fig. 5. Structure sous-microscopique d'une cellule végétale (K.-H. Meyer 1930).

polysaccharide ramifié se trouvant dans l'amidon) les points de ramification ne peuvent pas s'emboîter en un réseau; elle donne au froid une gelée. Les parties irrégulières des chaînes restent entourées de liquide et forment les fils moléculaires qui relient les régions cristallines. L'amylose, par contre (polysaccharide non ramifié de l'amidon) cristallise d'une solution sous forme de flocons ou de poudre.

La structure sous-microscopique de la matière vivante (protoplasme). On peut trouver toutes les transitions entre un liquide très visqueux et une gelée relativement solide. On peut aussi trouver des liquides dans lesquels on observe des paquets de régions gélatineuses collant ensemble. Des systèmes de ce genre sont très répandus dans la nature animée. C'est en 1929 que nous avons développé¹ une conception de la structure sous-microscopique de la matière

¹ K.-H. MEYER, *Biochem. Ztsch.* 214, 253 (1929). K.-H. MEYER et H. MARK, *Aufbau der Hochpolymeren*. Leipzig, 1930.

vivante, qui devait remplacer les théories de la structure micellaire ou de la structure en écume du protoplasme. Dans chaque cellule, il se trouve des chaînes de protéines ou d'hydrate de carbone qui forment un réseau lâche ; elles sont fixées entre elles par des valences résiduelles à certains endroits (« Haftstellen », plus tard dénommées « Haftpunkte » par FREY-WYSSLING)¹. Des liquides comme le sérum résident dans les interstices du réseau et les lipides sont liés aux chaînes latérales apolaires des protéines, ainsi que le reste isobutyl de la leucine. Nous avons appelé ces restes : groupes lipophiles. La fig. 5 qui date de 1930 schématise cette idée². Presque en même temps que nous, SEIFRIZ à Philadelphie³ et PETERS d'Oxford⁴ ont proposé des idées semblables. PETERS parle d'une « mosaïque moléculaire formée de molécules filiformes ». Mais cette théorie lui semble tellement révolutionnaire qu'il s'en excuse presque dans sa publication en citant une phrase du biologiste HILL : « It is dangerous to speculate too far but it is foolish not to speculate at all ».

Il a fallu du temps jusqu'à ce que les biologistes aient finalement accepté cette théorie. Ce n'est qu'en 1938 que FREY-WYSSLING écrivit un livre sur la structure sous-microscopique du protoplasme. Dans ce livre, il introduisit la nouvelle conception dans tout le domaine de la morphologie animale et végétale.

La perméabilité sélective des membranes. Des membranes constituées d'un filet de molécules filiformes avec des groupes acides fixés à la chaîne sont sélectivement perméables aux cations. En voici l'explication : les groupes acides sont dissociés en anions et cations ; les anions sont immobiles, car ils sont fixés aux fils de la membrane ; les cations, par contre, peuvent s'échanger contre d'autres cations. Si donc la membrane est baignée des deux côtés de sels aux cations différents, ces derniers s'échangent contre les cations se trouvant à l'intérieur de la membrane et peuvent ainsi passer à travers la membrane. Des membranes sélectivement

¹ A. FREY-WYSSLING, *Submicroskopische Morphologie des Protoplasmas*, Berlin, 1938.

² K.-H. MEYER, *New Phytologist* 30, 9 (1931).

³ W. SEIFRIZ, *lc.*

⁴ R.-A. PETERS, *Journ. of State Med.* 37, n° 12 (1930).

perméables entourent les globules du sang; leur membrane est perméable aux anions. Le sarcolemme est sélectivement perméable aux ions H^1 . L'écorce de la pomme et beaucoup d'autres membranes végétales sont perméables aux cations. Cette sélectivité joue certainement un grand rôle dans l'origine des potentiels bioélectriques, car nous savons que ces potentiels ne sont pas causés uniquement par des phénomènes de diffusion d'ions entre des solu-

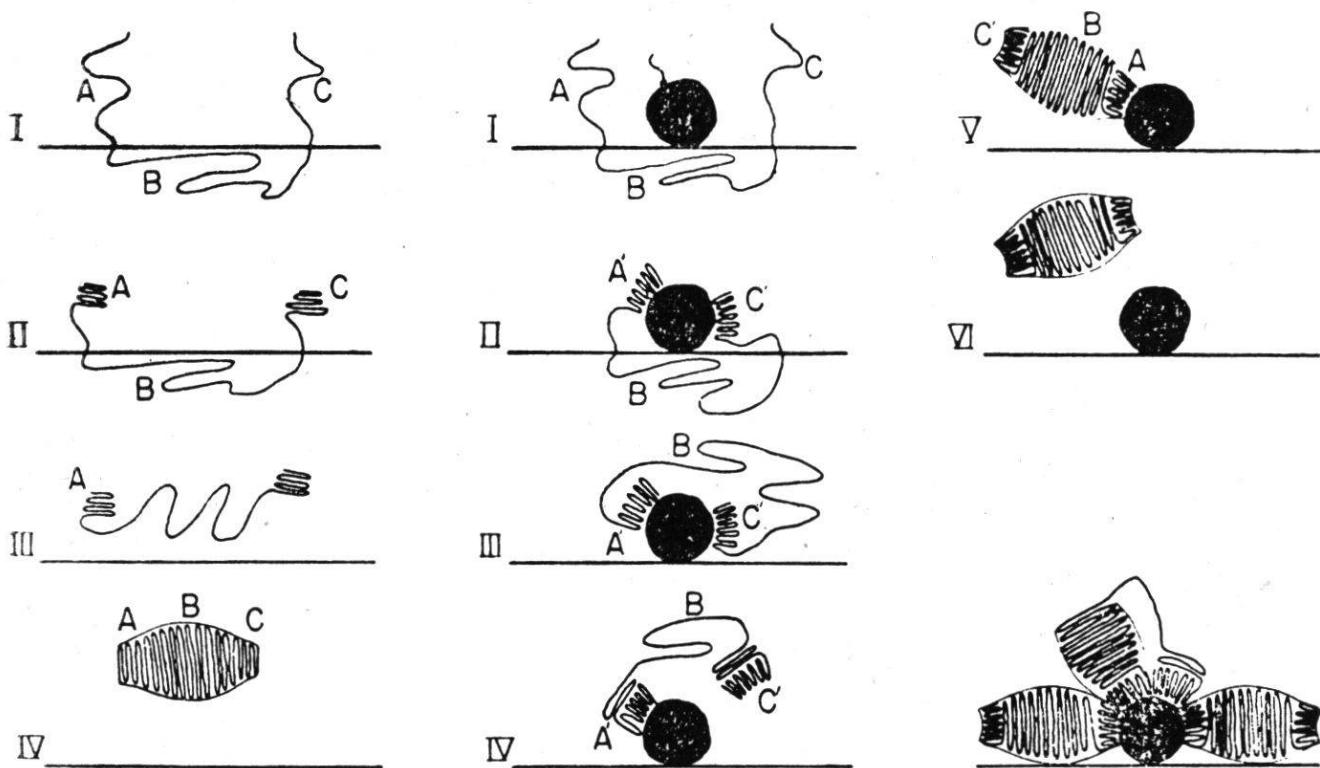


Fig. 6. Formation des anticorps (théorie de Pauling).

tions de concentration ionique différentes, mais qu'il s'agit de diffusions à travers les membranes sélectives.

Dénaturation et formation d'anticorps : Je ne voudrais pas terminer ce rapport sans avoir mentionné les protéines globulaires, c'est-à-dire les protéines dont les particules se trouvent sous une forme enroulée et compacte dans les liquides de l'organisme. Toutes ces protéines sont soumises à un phénomène curieux appelé la dénaturation. Elles changent de solubilité et de propriétés sous l'influence de certains dissolvants ou d'une température élevée, ou d'une action mécanique. On peut admettre d'après Astbury²

¹ K.-H. MEYER et P. BERNFELD, *J. gen. Physiol.*, 29, 353 (1946).

² W.-T. ASTBURY et R. LOMAX, *J. Chem. Soc. Lond.* 1935, 846.

que cette dénaturation est due à un dépliage des chaînes de ces paquets de protéines. En effet, la viscosité des protéines dénaturées est plus grande que la viscosité primitive. Partant de cette théorie, PAULING a développé tout récemment une théorie de la formation des anticorps, ces substances énigmatiques que produit l'organisme pour se protéger contre des toxines. On sait que les anticorps ont le même poids moléculaire que des protéines naturelles se trouvant dans le sang. On en a tiré la conclusion que les anticorps sont des produits de transformation de ces protéines ou qu'ils dérivent du moins de la même substance-mère. PAULING¹ admet que la substance-mère d'une globuline naturelle est une protéine se présentant sous forme d'un fil qui, dans des conditions normales, se plie jusqu'à sa forme définitive. Lorsqu'il y a dans le sang un antigène c'est-à-dire une substance étrangère, qui provoque la formation d'un anticorps, cette substance modifie la formation de ses plis. La Fig. 6 montre comment PAULING se représente la formation de l'anticorps. L'antigène pose une sorte d'empreinte sur la globuline pendant le pliage. Lorsque le sang est riche de cet anticorps, l'antigène — sécrété par exemple lors d'une maladie par un micro-organisme — donne un produit d'addition avec l'anticorps et est ainsi désactivé et rendu inoffensif. PAULING² rapporte avoir obtenu la formation d'anticorps dans l'éprouvette en ajoutant à la solution de certaines protéines naturelles l'antigène et un peu d'une substance dénaturante, par exemple de l'urée. L'urée facilite le dépliage de la protéine et lui permet de se transformer en anticorps en présence de l'antigène.

Vous voyez de ce qui précède que la nature se sert de façon ingénieuse de toutes les propriétés particulières des molécules filiformes. Elle fournit des substances dont la constitution nous est inconnue et dont la synthèse chimique nous est inaccessible. Plus nous avançons dans cette chimie, plus nous sommes remplis d'admiration et de respect devant les mystères de la nature animée.

¹ L. PAULING, *J. Am. Chem. Soc.* 62, (1940) 2643.

² L. PAULING et D.-H. CAMPBELL, *Science* 95, 440 (1942).