

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1. Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par [Eclydre](#).
2. Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :
 - la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - <https://cnum.cnam.fr>)
 - la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.
3. Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :
 - les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
4. Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)
5. L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.
6. Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif
Auteur(s)	Conservatoire national des arts
Titre	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Collection	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Adresse	Paris : Hermann & Cie, 1930-1943
Collation	27 vol.
Nombre de volumes	27
Sujet(s)	Sciences et industrie
Notice complète	
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8CY54_8B83
LISTE DES VOLUMES	
	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles. Année 1929
	Température des flammes : Rayonnement des gaz incandescents et des flammes [28 et 29 avril 1930]
	Anisotropie des molécules : effet Raman [2 et 3 mai 1930]
	Les ondes électriques de très courtes longueurs et leurs applications [6 mai 1930]
	Couleurs (étude physique) et colorimétrie [7 mai 1930]
	L'électro-acoustique : rapports de l'acoustique moderne et de l'électricité [9 mai 1930]
	Les statistiques quantiques et leur application aux électrons libres dans les métaux [12 et 13 mai 1930]
	La constitution des comètes [14 mai 1930]
	La structure et les mouvements de l'univers stellaire [16 mai 1930]
	La haute précision des mesures de longueur au laboratoire et dans l'industrie [22 avril 1931]
	L'effet photo-électrique des rayons X dans les gaz [23 avril 1931]
	Fluorescence : durée élémentaire d'émission lumineuse [28 avril 1931]
	Les récents progrès de la désintégration artificielle des éléments par bombardement de rayons alpha [29 avril 1931]
	Les applications des rayons X à l'étude des composés organiques [4 mai 1931]
	L'état liquide et les états mésomorphes [5 mai 1931]
	Les systèmes autoentretenus et les oscillations de relaxation [6 et 7 mai 1931]
	Le quartz piézo-électrique : ses applications à la T.S.F. [8 mai 1931]
	L'hydrogène est un mélange : ortho et parahydrogène [12 mai 1931]
	Les piles sensibles à l'action de la lumière : leur mécanisme et leurs applications [28 mai 1931]
	Application des théories modernes à l'étude de la structure des molécules : les théories quantiques [14 mars 1935]
	Polarisation diélectrique [1935]
	Applications à la chimie des théories modernes sur la structure des molécules : les données spectrales [18 mars 1935]
	La chimie colloïdale et ses applications : les constituants colloïdaux des terres arables : le complexe argilo-humique et les phénomènes d'échanges d'ions [1er et 2 octobre 1941]

	Physique colloïdale et biologie [3 octobre 1941]
	Chimie colloïdale et biologie [7 octobre 1941]
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	La chimie colloïdale et ses applications. Les processus colloïdaux de la défense de l'organisme contre les maladies infectieuses : Les virus et les plus simples des édifices colloïdaux bâtis par la vie [8 et 9 octobre 1941]
	Combustibles et lubrifiants de remplacement [28 octobre 1941]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Conservatoire national des arts
Titre	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles
Volume	La chimie colloïdale et ses applications. Les processus colloïdaux de la défense de l'organisme contre les maladies infectieuses : Les virus et les plus simples des édifices colloïdaux bâtis par la vie
Adresse	Paris : Hermann & Cie, éditeurs, 1942
Collection	Conférences d'actualités scientifiques et industrielles, 931
Collation	1 vol. (32 p.) ; 26 cm
Nombre de vues	36
Cote	CNAM-BIB 8 B 83 (931)
Sujet(s)	Antigènes Biochimie Colloïdes Virus
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/026037548
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8B83.931

8° B. 83 (931)



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

931



CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS
ET MÉTIERS

XXXIII

LA CHIMIE COLLOÏDALE

ET

SES APPLICATIONS

LES PROCESSUS COLLOÏDAUX
DE LA DÉFENSE DE L'ORGANISME
CONTRE LES MALADIES INFECTIEUSES



LES VIRUS
ET LES PLUS SIMPLES DES ÉDIFICES COLLOÏDAUX
BÂTIS PAR LA VIE

PAR

André BOIVIN

Membre de l'Académie de Médecine
Chef de Service à l'Institut Pasteur



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1942





ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Séries publiées sous la direction de MM.



- ANTHONY (R.), Paris. — Anatomie comparée.
- AUDUBERT (René), Paris. — Electrochimie théorique.
- BALACHOWSKY (Alfred), Grignon. — Entomologie appliquée.
- BEQUEREL (J.-P.), Paris. — Optique et magnétisme aux très basses températures.
- BERNSTEIN (S.), U. R. S. S. — Le Calcul des probabilités et l'approximation des fonctions.
- BERTRAND (G.), Paris. — Chimie biologique.
- BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
- BOUTRY (G.-A.), Paris. — Mesures.
- BLARINGHEM (L.), Paris. — Biologie végétale.
- BLASCHKE (W.), Hambourg. — Géométrie.
- BLOCH (Eugène), Paris. — Physique atomique et spectroscopie.
- BOHN (Georges), Paris. — Zoologie expérimentale.
- BORDET (J.), Bruxelles. — Microbiologie.
- BOSLER (J.), Marseille. — Astrophysique.
- BRILLOUIN (Léon), Paris. — Théorie des quanta.
- Acoustique théorique et Pratique.
- BRILLOUIN (J.), Paris. — Acoustique du Bâtiment.
- BROGLIE (Louis de), Paris. — I. Physique théorique ; II. Philosophie des Sciences.
- BROGLIE (Maurice de), Paris. — I. Physique atomique expérimentale ; II. Applications des Rayons X.
- BRUNSCHVIG (Léon), Paris. — Le Progrès de l'esprit.
- CABRERA (D.), Madrid. — Exposés sur la théorie de la matière.
- CAMICHEL (Ch.), Toulouse. — Hydraulique (générale et appliquée).
- CARNAP (Rudolph), Chicago.
- CARTAN (E.), Paris. — Géométrie.
- CAULLERY (M.), Paris. — Biologie générale.
- CAYEUX (L.), Paris. — Géologie.
- CHEVALIER (Jacques), Grenoble. — La Morale.
- COLLÈGE DE FRANCE. — Conférences publiées sous les auspices et aux frais de la Fondation Singer Polignac.
- CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES (Paris, 1935).
- CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHYSIQUE organisé par l'Union Internationale de Physique et la Physical Society of London (1934).
- CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS. — Conférences d'Actualités scientifiques et industrielles.
- COTTON (A.), Paris. — Magnéto-optique.
- CURIE (M^{me} Pierre), Paris. — Radioactivité et physique nucléaire.
- DAMIANOVICH (M. Horacio), Argentine. — La Chimie de l'Hélium et des éléments analogues.
- DANTCHAKOFF (Véra), Lithuanie. — La cellule germinale dans l'ontogenèse et l'évolution.
- DARMOIS (E.), Paris. — Chimie-physique.
- DARMOIS (Georges), Paris. — Statistique mathématique.
- DARROW (K. K.), New York. — L'Effet thermionique et la Photoélectricité.
- DEBYE (P.), Berlin. — Structure de la Matière.
- DENJOY (Arnaud), Paris. — Ensembles et Fonctions.
- DONNAN (F. G.), F. R. S., Londres. — The Colloidal state (L'Etat colloïdal).
- DUCLAUX (J.), Paris. — Leçons de Chimie Physique appliquée à la Biologie.
- DUESBERG (J.), Liège. — Biologie générale en rapport avec la cytologie.
- ENRIQUES (F.), Rome. — Philosophie et histoire de la pensée scientifique.
- ENRIQUES (F.) et SANTILLANA (G. de), Rome. — Histoire de la Pensée Scientifique.
- EPHRUSSI (Boris), Paris. — Génétique.
- FABRE (R.), Paris. — I. Toxicologie et Hygiène Industrielle ; II. Leçons de Toxicologie.
- FABRY (Ch.), Paris. — Optique et Radiations.
- FAURÉ-FREMIET (E.), Paris. — Biologie (Embryologie et Histogenèse).
- FESSEKOFF (B.), U. R. S. S. — Astrophysique (Photométrie).
- FLEURY (P.), Paris. — Leçons de Métrologie (générale et appliquée).
- FOUCHÉ (P.), Paris. — Phonétique générale et expérimentale.
- FOURNEAU (E.), Paris. — Chimie thérapeutique.
- FRAIPONT (Ch.), Liège. — Paléontologie et les grands problèmes de la biologie générale.
- FRECHET (Maurice), Paris. — Analyse générale.
- FROUMKINE (Alexandre), U. R. S. S. — Phénomènes superficiels.
- GAY (M. L.), Montpellier. — Thermodynamique et chimie.

8° B.83 (931)

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

931

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS
ET MÉTIERS

XXXIII

LA CHIMIE COLLOÏDALE
ET
SES APPLICATIONS



LES PROCESSUS COLLOÏDAUX
DE LA DÉFENSE DE L'ORGANISME
CONTRE LES MALADIES INFECTIEUSES

LES VIRUS
ET LES PLUS SIMPLES DES ÉDIFICES COLLOÏDAUX
BATIS PAR LA VIE

PAR

André BOIVIN

Membre de l'Académie de Médecine
Chef de Service à l'Institut Pasteur



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1942

62.38

Printed in France.

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1942 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie}
PARIS.



LES PROCESSUS COLLOÏDAUX DE LA DÉFENSE DE L'ORGANISME CONTRE LES MALADIES INFECTIEUSES

Conférence faite le 8 Octobre 1941
au Conservatoire National des Arts et Métiers
dans le Cycle

LA CHIMIE COLLOÏDALE ET SES APPLICATIONS

PAR

André BOIVIN

Membre de l'Académie de Médecine
Chef de Service de l'Institut Pasteur



Au cours des deux conférences précédentes, M. Jacques DUCLAUX a indiqué le rôle capital que jouent les colloïdes dans la constitution et dans le fonctionnement des êtres vivants. Il s'est préoccupé d'êtres vivants normaux, placés dans des conditions physiologiques. Nous nous proposons de montrer maintenant comment interviennent les colloïdes dans la lutte qui, au cours des maladies infectieuses, met aux prises l'organisme animal ou humain d'une part et les bactéries pathogènes d'autre part.

Végétaux tout à fait inférieurs, les bactéries sont constituées par des cellules isolées, de structure fort rudimentaire et de taille minuscule. En milieu nutritif approprié, ces êtres se multiplient avec une extraordinaire rapidité, par un processus de simple division : une bactérie s'accroît, pour se scinder bientôt en deux bactéries-filles. Souvent, il ne s'écoule pas plus de 20 à 30 minutes entre le

moment où, s'étant suffisamment accrue, elle va se diviser à son tour. A une pareille cadence, un individu bactérien auquel les matières alimentaires seraient offertes en quantité illimitée aurait, en quelques jours, une descendance représentant au total la masse du globe terrestre. Beaucoup de bactéries mènent une vie libre dans le sol et dans les eaux continentales et marines, en décomposant les matières organiques qui se rencontrent dans ces milieux : ce sont les bactéries non pathogènes, dont l'importance est considérable comme agents des fermentations les plus diverses. D'autres bactéries, tout en demeurant capables de mener à l'occasion une vie libre en milieu nutritif convenable, par exemple dans les bouillons de culture de nos laboratoires, ont pour habitat normal des êtres vivants supérieurs, au sein desquels elles se multiplient. Il s'agit alors des bactéries pathogènes, qui envahissent les tissus et les organes de l'homme et des animaux pour y puiser les matières organiques dont elles ont besoin et qui provoquent, de ce fait, des maladies souvent redoutables. Citons, par exemple, le bacille de la typhoïde, le bacille de la diphtérie, le bacille du tétanos, le bacille de la tuberculose, le bacille de la peste, le vibron du choléra, le tréponème de la syphilis, etc...

Nous allons envisager successivement les moyens d'attaque dont disposent les bactéries pathogènes à l'égard de l'organisme et les moyens de défense que ce dernier leur oppose. Nous verrons, ici comme là, les colloïdes jouer un rôle de tout premier plan.

* * *

Ce n'est pas par voie mécanique, en tant que simples corps étrangers, mais essentiellement par voie chimique que les bactéries pathogènes exercent une action nocive sur les êtres qu'elles parasitent. Dans les tissus où elles vivent, elles puisent les matières organiques dont elles ont besoin pour leur alimentation et elles rejettent les déchets de leur métabolisme. Souvent aussi, elles laissent diffuser leurs nombreux et puissants enzymes qui viennent provoquer, chez l'hôte, des réactions chimiques insolites. De tout cela, il résulte que les cellules et que les humeurs du sujet infecté peuvent subir des perturbations profondes et complexes dans leur constitution chimique. Mais ce ne sont pas là, à beaucoup près, les seuls moyens d'attaque dont disposent les bactéries pathogènes.

Beaucoup d'entre elles, en effet, produisent de redoutables poisons de nature colloïdale, qu'on appelle des « toxines ».

La première toxine bactérienne découverte le fut par Roux et YERSIN, sur l'exemple de la toxine diphtérique. Cultivons le bacille de la diphtérie sur un bouillon de viande. Filtrons la culture à travers une bougie de porcelaine afin de retenir tous les corps bactériens, puis injectons sous la peau d'un cobaye un tout petit volume du filtrat rigoureusement privé de bactéries. L'animal meurt avec des symptômes rappelant de très près ceux que déclenchent les bacilles de la diphtérie vivants, quand on vient à les inoculer au cobaye. Qu'ils se multiplient dans un bouillon de culture ou bien qu'ils se développent au sein de l'organisme animal ou humain, les bacilles de la diphtérie produisent et libèrent un poison très actif auquel ils doivent l'essentiel de leur pouvoir pathogène. La toxine diphtérique a été isolée récemment à l'état pur, sous la forme d'une protéine dont il suffit d'un dix-millième de milligramme pour tuer le cobaye (EATON, PAPPENHEIMER). Plusieurs autres toxines bactériennes, comme la toxine tétanique par exemple, sont également des protéines. Mais on connaît des toxines bactériennes qui ne sont pas des protéines. En effet, la toxine typhique, la toxine cholérique et quelques autres sont formées par des matières colloïdales glucidiques, ou mieux glucido-lipidiques, car il s'agit d'immenses édifices moléculaires résultant de l'union d'un très grand nombre de molécules de sucres, d'acides gras, d'acide phosphorique, etc... (BOIVIN).

* * *

Envisageons maintenant les divers moyens de défense que l'organisme animal ou humain peut opposer aux bactéries pathogènes.

Le revêtement cutané, la muqueuse digestive, la muqueuse respiratoire opposent des barrières cellulaires continues à la pénétration des bactéries dans l'organisme. Mais cette résistance, de caractère purement passif, est souvent vaincue et les bactéries trouvent accès dans l'intimité des tissus. On voit alors entrer en jeu des processus de défense active. Une véritable gendarmerie cellulaire, constituée par des cellules mobiles qu'on appelle des « phagocytes » accourt au lieu menacé et elle entreprend, sans délai, la lutte contre les bactéries. Des colloïdes interviennent dans la mobilisation des phagocytes. La résistance de cette sorte de troupe de couverture

donne à l'organisme le loisir de forger des armes nouvelles qui, fait hautement remarquable, sont étroitement adaptées à l'espèce bactérienne en cause. Ces armes, qu'on nomme des « anticorps », sont des colloïdes. En effet, il s'agit de protéines spéciales qui apparaissent peu à peu dans le sang et dans les humeurs du sujet infecté. Voyons donc successivement comment agissent les phagocytes et les anticorps.

Rappelons une observation que chacun a pu faire sur lui-même ou autour de lui. Vient-on à se blesser, à la main par exemple, avec un objet souillé : aiguille, écharde de bois, etc... Le lendemain ou les jours suivants, la région intéressée est le siège d'une réaction inflammatoire très nette : les tissus où les bactéries ont pénétré sont distendus par l'œdème (enflure), ils sont congestionnés (rougeur) et du pus s'accumule progressivement dans leur intimité. Ainsi que l'a découvert METCHNIKOFF, l'arrivée en foule des phagocytes, au lieu menacé par les bactéries, représente l'élément le plus caractéristique du processus d'inflammation. Les phagocytes accourent du sang (dont ils constituent les globules blancs encore appelés « leucocytes ») et des divers tissus. Ce sont des cellules libres et mobiles, qui se déplacent par de continuelles déformations de leur corps. Arrivé au contact d'une bactérie, un phagocyte peut l'englober dans sa propre substance et la digérer ensuite plus ou moins rapidement. Aussi ces extraordinaires gendarmes cellulaires, qui sont capables de dévorer les bactéries, méritent-ils bien leur nom signifiant « cellule qui mange ». Voyons maintenant par quelle voie mystérieuse les phagocytes, au repos dans le sang et dans les tissus, sont informés de la présence des bactéries en un point quelconque de l'organisme. Les messages d'alarme sont de nature chimique. On savait depuis longtemps que des bactéries mortes peuvent, tout aussi bien que des bactéries vivantes, provoquer l'appel des phagocytes et on avait tout lieu de rendre responsables de cet appel certains des constituants de la cellule bactérienne. Dans notre laboratoire, DELAUNAY vient d'identifier les principales de ces substances actives, qui ne sont autres que des colloïdes de nature glucidique présents à la surface des corps bactériens et susceptibles de diffuser — au moins en trace — des corps bactériens dans le milieu ambiant. Dans la lutte qui s'installe entre phagocytes et bactéries, les premiers tentent de dévorer les secondes, mais les secondes disposent de leur extraordinaire capacité de multiplication et aussi, assez

souvent, de l'action nocive que leurs toxines peuvent exercer sur les phagocytes. Le pus n'est autre qu'un prodigieux amoncellement de phagocytes, dont certains sont encore vivants et pleinement actifs alors que les autres (ils représentent souvent la grande majorité) ont succombé sous l'action des toxines bactériennes.

Pour qu'une infection se développe, il faut que les bactéries parviennent tout d'abord à forcer les barrières que l'organisme oppose à leur pénétration, puis qu'elles réussissent ensuite, non seulement à s'installer mais encore à se multiplier au sein des tissus, malgré les efforts que déploient les phagocytes pour les détruire. Il est fort curieux de constater qu'une espèce bactérienne donnée ne peut réaliser une telle chose que chez des espèces animales bien déterminées. Ainsi, par exemple, le bacille de la typhoïde, absorbé par l'homme avec de l'eau de boisson, envahit l'organisme (on le retrouve dans le sang et dans les organes) et cause cette maladie grave qu'est la fièvre typhoïde, alors qu'il n'est capable de provoquer aucun trouble chez des souris et des lapins qui viennent à l'ingérer. A l'inverse, les *Pasteurella* sont des bactéries qui déclenchent des infections redoutables chez la souris ou le lapin, mais non chez l'homme. On pourrait multiplier à l'envi de tels exemples. On demeure malheureusement fort ignorant, à l'heure actuelle, de ce qui rend possible ou impossible l'infection de l'homme ou d'une espèce animale donnée, par une bactérie d'espèce déterminée. Quelques délicats rapports, qui nous échappent encore complètement, doivent sans doute exister entre la structure chimique de certains constituants des bactéries et la structure de certains composants des humeurs et des tissus (cellules phagocytaires en particulier) de l'animal, pour que la pénétration et pour que la multiplication des bactéries puissent s'effectuer. Il y a tout lieu de penser que, de part et d'autre, les constituants intéressés sont les colloïdes (protéines, etc...) qui caractérisent tant l'espèce bactérienne que l'espèce animale en cause. Quant au résultat du conflit mettant aux prises phagocytes et bactéries, il peut être fort variable selon les cas et aller de la victoire rapide et totale de l'organisme, par destruction de toutes les bactéries ayant trouvé accès dans les tissus, à la déroute rapide et complète du même organisme succombant devant l'invasion bactérienne.

* * *

Les phagocytes engagent le combat contre les bactéries dès que celles-ci ont trouvé accès dans les tissus et ils poursuivent leur lutte pied à pied partout où les bactéries viennent à se propager et aussi longtemps qu'elles demeurent au sein de l'organisme. Ainsi que nous l'avons signalé déjà, la résistance opposée par les phagocytes donne au sujet infecté le loisir de forger des armes nouvelles faites, pourrait-on dire, à la mesure de l'espèce bactérienne en cause et capables de participer efficacement à la défense de l'organisme. Ces armes nouvelles, nous le savons, s'appellent des anticorps et leur création, par le sujet infecté, est un exemple combien remarquable de cette extraordinaire faculté d'adaptation que présentent les êtres vivants. Les grands noms de von BEHRING, d'ERLICH, de BORDET s'attachent tout spécialement aux découvertes fondamentales sur les anticorps. Il s'agit de protéines spéciales (ce sont des « globulines » particulières) qui viennent progressivement s'accumuler dans le plasma sanguin du sujet infecté. Leur production demande quelques jours ou même un petit nombre de semaines pour s'effectuer. En ce qui concerne le lieu et leur mode de formation, on en est réduit à des hypothèses... comme il en va, du reste, en ce qui concerne le lieu et le mode de formation des protéines normales du sang. Nous dirons un mot, plus loin, de la plus plausible de ces hypothèses. Un fait est certain cependant : les colloïdes protéiques que sont les anticorps apparaissent en réponse à l'action, sur l'organisme animal ou humain, d'autres colloïdes, d'origine bactérienne ceux-là, qu'on appelle des « antigènes ». Les antigènes comprennent les toxines des bactéries, qu'elles soient de nature protéique ou de nature glucido-lipidique, et aussi certains colloïdes, les uns glucidiques et les autres glucido-lipidiques, qui tapissent la surface des corps bactériens.

Longtemps, on a admis comme un dogme que seules les substances de nature protéique se montrent capables d'exercer une action antigénique, c'est-à-dire d'engendrer des anticorps dans l'organisme. Ce point de vue ne saurait être maintenu, depuis qu'on est parvenu à isoler des bactéries certaines substances éminemment antigéniques malgré leur constitution glucido-lipidique. Mais quelle que soit la structure des antigènes, les anticorps correspondants sont toujours des protéines.

Chaque espèce bactérienne possède un ou généralement plusieurs

antigènes caractéristiques de l'espèce, se différenciant entre eux et se différenciant des antigènes des autres bactéries par le détail de leur structure chimique. Un antigène provoque l'apparition, dans l'organisme animal, d'un anticorps qui lui correspond fidèlement, comme une clef répond à sa serrure. On exprime ce fait en disant qu'antigène et anticorps sont « spécifiques » l'un de l'autre. Cette spécificité se traduit par la propriété que possèdent les deux colloïdes de se combiner entre eux. En effet, qu'un anticorps vienne en contact avec l'antigène correspondant et les deux colloïdes s'unissent l'un à l'autre. Si l'antigène est une toxine libérée par une bactérie, sa toxicité se trouve abolie du fait de la combinaison avec l'anticorps. Si l'antigène considéré demeure attaché à la surface d'une bactérie, la combinaison de l'anticorps à l'antigène amène une modification profonde de l'état superficiel de la bactérie et cette dernière devient beaucoup plus sensible à l'action des phagocytes. Mais pareille capacité de combinaison n'existe aucunement entre un antigène donné et l'anticorps répondant à un autre antigène. Il en résulte que l'action défensive des anticorps, qu'elle s'exerce en neutralisant les toxines ou en sensibilisant les bactéries à la phagocytose, ne peut jouer strictement qu'à l'égard des bactéries auxquelles correspondent ces anticorps.

L'apparition d'un anticorps n'est pas liée, de façon nécessaire, à l'infection d'un sujet par une bactérie. Il suffit, en effet, qu'un antigène pénètre dans l'organisme pour qu'on assiste à la production de l'anticorps correspondant. C'est dire qu'il est parfaitement possible de provoquer l'apparition d'un anticorps, chez l'animal, en se bornant à lui injecter l'antigène en cause. On peut mettre en œuvre un antigène qu'on a isolé des corps bactériens par voie chimique, ou encore les corps bactériens eux-mêmes, après qu'on les a tués par chauffage à 55°, traitement qui respecte l'intégrité des antigènes. En multipliant les injections, on aboutit à une accumulation d'anticorps dans le sang qui est bien supérieure à ce que l'on rencontre usuellement chez les sujets infectés. Dans le cas des toxines, il faut commencer par des doses infimes de poison, sous peine de tuer les animaux et n'augmenter ensuite que très prudemment les doses au cours des injections successives. Au fur et à mesure que se développent les anticorps neutralisants, les animaux peuvent supporter des quantités de plus en plus élevées de toxines. Mais il est infiniment plus commode et plus sûr de recourir aux « anatoxines »

découvertes par RAMON. En effet, une toxine, comme la toxine diphtérique par exemple, traitée par le formol dilué, se transforme en un corps nouveau, qu'on appelle une anatoxine, qui n'est absolument plus toxique mais qui garde intact le pouvoir antigénique de la toxine d'où il dérive. Quelques injections, à fortes doses, d'une anatoxine, suffisent pour provoquer la formation d'abondantes quantités de l'anticorps neutralisant et cela sans aucun risque pour l'animal d'expérience.

N'est-il pas curieux de voir l'organisme animal ou humain être capable de synthétiser l'extraordinaire variété des colloïdes-anticorps répondant aux antigènes des très nombreuses espèces de bactéries pathogènes ? La chose s'explique cependant dès qu'on considère la structure chimique des protéines. Ces cathédrales de la chimie organique sont en effet de gigantesques édifices moléculaires formés par la combinaison de nombreux corps à petites molécules, les acides aminés. Les acides aminés, dont on connaît une vingtaine de formes (glycocolle, alanine, leucine, tyrosine, arginine, histidine, tryptophane, cystine, etc...) s'unissant entre eux, dans des proportions variables et selon des ordres variables, donnent naissance à l'infinie diversité des protéines se rencontrant dans la nature : protéines qui sont les constituants constants des cellules des diverses espèces animales, végétales et bactériennes et protéines-anticorps de formation occasionnelle. Qu'on songe au nombre énorme de possibilités distinctes qui s'offre à une maîtresse de maison désirant ranger ses invités autour d'une table ronde ! Pour 10 invités seulement, le nombre des combinaisons est de :

$$1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \times 9 \times 10 = 3.628.800$$

et l'on imagine sans peine le nombre colossal de combinaisons chimiques différentes devant lesquelles peut choisir la nature, lorsqu'il s'agit de grouper des centaines et des milliers d'acides aminés pour former une molécule protéique. On a quelque raison de penser que les anticorps sont produits par de bien curieuses cellules, réparties en proportions variables dans les divers organes et qui constituent, au total, ce que les histologistes appellent le tissu réticulo-endothélial. Ce sont de proches parents des phagocytes. Mais le plus souvent elles ne se mobilisent pas, elles demeurent en embuscade dans l'organe auquel elles appartiennent, arrêtant au passage, pour les englober, les bactéries — et plus généralement les particules étran-

gères de nature quelconque — que charrient le sang ou la lymphe. On imagine les cellules du tissu réticulo-endothélial fixant des molécules d'un colloïde-antigène et présidant à la synthèse du colloïde-anticorps correspondant, dont les molécules viendraient, en quelque sorte, se mouler sur celles de l'antigène, pour se libérer ensuite dans le sang au fur et à mesure de leur production. On s'explique, par là-même, la capacité de combinaison que présentent antigène et anticorps. Cette combinaison se déroule au sein de l'organisme infecté et, comme nous l'avons déjà dit, elle aboutit à une neutralisation de la toxicité si l'antigène est une toxine, à une sensibilisation des bactéries à la phagocytose si l'antigène est de ceux qui demeurent fixés sur la surface des bactéries. Mais, tout aussi bien, ainsi que nous allons le montrer maintenant, la combinaison antigène-anticorps peut se manifester en dehors de l'organisme, *in vitro* comme on dit. Elle donne lieu, alors, à des phénomènes intéressants qui trahissent la nature colloïdale des substances en réaction.

* * *

Les anticorps, une fois formés, se déversent dans le sang ou, plus exactement, dans le « plasma » sanguin, liquide très riche en protéines qui tient en suspension les globules blancs et rouges du sang. Lorsque le sang est extrait des vaisseaux, il se coagule bientôt : un caillot de fibrine s'organise qui emprisonne globules blancs et rouges, pendant que le « sérum » sanguin se sépare. Le sérum est un liquide clair, de couleur jaune, qui tient en dissolution d'abondantes quantités de protéines parmi lesquelles se retrouvent, éventuellement, les protéines-anticorps.

Envisageons tout d'abord la combinaison entre une toxine et l'anticorps neutralisant correspondant, qu'on appelle une « antitoxine ». Cette combinaison se traduit par le phénomène de la « floculation » découvert par RAMON. Raisonnons sur l'exemple de la toxine et de l'antitoxine diphtériques. Dans une série de tubes à essais, versons un même volume d'un filtrat de culture du bacille diphtérique (filtrat renfermant la toxine), ajoutons, dans les divers tubes, des quantités croissantes d'un sérum contenant de l'antitoxine diphtérique puis abandonnons le tout à l'étuve vers 40 degrés. Au début de l'expérience, tous les mélanges sont absolument limpides. Au bout d'un petit nombre d'heures de séjour à l'étuve, on

voit le liquide contenu dans l'un des tubes se troubler, puis un précipité apparaît, qui finit par se séparer en flocons. Les tubes voisins floculeront plus tardivement et d'autant plus qu'on s'éloigne davantage, dans un sens comme dans l'autre, des proportions d'antigène et d'anticorps réalisées dans le tube où a lieu la floculation initiale. A première vue, on se trouve là en présence d'un phénomène fort banal en chimie colloïdale : la précipitation mutuelle de deux colloïdes, n'ayant lieu que pour certaines proportions, par suite de l'effet protecteur qu'exerce un excès suffisant de l'un ou de l'autre des colloïdes. Mais, fait capital, le mélange qui flocule le premier est celui pour lequel a lieu l'exacte neutralisation de la toxine par l'antitoxine. En effet, injecté sous la peau du cobaye, ce mélange et tous ceux qui sont plus riches que lui en sérum se montrent inoffensifs, alors que tous les mélanges plus pauvres en sérum tuent l'animal avec les symptômes caractéristiques de l'intoxication par la toxine diphtérique. Cela permet de titrer très commodément les sérums par les toxines ou aussi bien les toxines par les sérums, en utilisant la floculation initiale comme indicateur de la neutralisation, un peu comme on titre les acides par les bases ou réciproquement, en ayant recours au virage d'un indicateur de *pH*. Ajoutons qu'une anatoxine flocule tout aussi bien que la toxine d'où elle dérive, par mélange avec l'antitoxine correspondante.

Le précipité qui se forme dans le mélange à floculation initiale renferme, en combinaison, à la fois le colloïde-antigène (toxine ou anatoxine selon le cas) et le colloïde-anticorps (antitoxine). On discute encore sur la nature de l'union des deux colloïdes : union par entrée en jeu de valences primaires ou de valences secondaires, véritable combinaison ou simple adsorption. Quoi qu'il en soit, le complexe antigène-anticorps est de caractère assez fragile et il peut se dissocier sous diverses influences, avec libération de ses composants. Notons que ces composants sont eux-mêmes fragiles, surtout lorsqu'il s'agit de protéines (toxines protéiques et tous les anticorps). On sait, par exemple, que les protéines peuvent usuellement être dénaturées par chauffage de leurs solutions aqueuses à des températures se situant très au-dessous de 100 degrés.

La précipitation d'un antigène par l'anticorps correspondant est un phénomène général. On le retrouve quand on expérimente sur les antigènes qui tapissent la surface des bactéries. Il faut alors, bien entendu, isoler ces antigènes par voie chimique, puis les redissoudre

dans l'eau avant de les soumettre à la précipitation. Mais c'est surtout lorsqu'ils demeurent fixés à la surface des bactéries que de tels antigènes donnent lieu à des phénomènes intéressants, dès qu'ils viennent à se combiner avec les anticorps correspondants.

La surface des corps bactériens est usuellement recouverte d'un film de colloïdes antigéniques se rattachant, par leur constitution chimique, non pas aux protéines mais aux polysaccharides, car leurs gigantesques molécules sont essentiellement bâties avec de petites molécules de sucres, ou avec des sucres et des acides gras. Ce sont des corps glucidiques (HEIDELBERGER, AVERY) ou glucido-lipidiques (BOIVIN). Les cils locomoteurs ou flagelles que possèdent certaines espèces de bactéries (bactéries mobiles) portent d'autres antigènes dont la nature chimique n'est pas encore parfaitement connue. La combinaison des anticorps correspondants avec ces antigènes somatiques et flagellaires demeurant fixés aux bactéries se traduit par une diminution considérable de la stabilité des suspensions que donnent ces bactéries dans les solutions d'électrolytes. Aussi voit-on les microorganismes s'agglutiner en amas. Donnons quelques détails sur l'intéressant et important phénomène de l'agglutination des bactéries par les anticorps.

Rappelons brièvement les actions qui concourent à augmenter ou à diminuer la stabilité des suspensions que peuvent donner, dans l'eau et dans les solutions d'électrolytes, des particules microscopiques quelconques, ou encore des micelles ultra-microscopiques de sols colloïdaux. Une différence de potentiel électrique existe toujours entre les corpuscules et le milieu ambiant où ils baignent (couche double d'électricité d'HELMHOLTZ). Cette différence de potentiel peut se mesurer au cours d'expériences de cataphorèse. Elle varie en fonction de la nature des particules, de la nature et de la concentration des électrolytes présents dans le liquide et du pH de ce dernier. Les particules se repoussent mutuellement avec d'autant plus de force qu'elles portent une charge électrique plus grande et cela quel que soit le signe de cette charge. D'autre part, les molécules qui forment la surface des corpuscules peuvent présenter des groupes polaires grâce auxquels s'exerce une attraction entre les particules et l'eau ambiante et des groupes non polaires responsables d'une attraction mutuelle des particules. C'est la résultante de toutes ces actions, venant se combiner avec l'agitation brownienne, qui fait que les particules demeurent stables en

suspension, ou bien qu'elles s'agglutinent les unes aux autres en amas se séparant rapidement du liquide.

Les bactéries ne se comportent pas autrement, qu'elles soient dépourvues de mouvement propre et soumises à la seule agitation brownienne, ou bien qu'elles possèdent, en outre, un mouvement propre dû à des flagelles. Elles représentent des particules hydrophiles, qui ne s'agglutinent que sous l'action des cations polyvalents ou des *pH* très bas et qui restent en suspension parfaitement stable dans les solutions diluées et neutres des cations monovalents (chlorure de sodium, etc...). Rien n'est changé si les bactéries sont mises en contact avec des sérums sanguins normaux. Au contraire, lorsqu'on fait agir, sur des bactéries, des sérums renfermant les anticorps correspondants, les protéines-anticorps viennent se fixer sur les antigènes superficiels des bactéries et ces dernières se comportent comme des particules hydrophobes, s'agglutinant dans les solutions diluées et neutres des cations monovalents. Qu'elles soient ou non pourvues de cils, les bactéries s'agglomèrent alors progressivement les unes aux autres, en donnant des amas de plus en plus gros. On peut suivre le phénomène tout d'abord au microscope, puis bientôt à l'œil nu dès que les flocons deviennent suffisamment volumineux. Ajoutons que des bactéries tuées par chauffage à 55° — ce qui respecte l'intégrité de leurs antigènes superficiels — s'agglutinent par les anticorps tout aussi bien que les bactéries vivantes. Remarquons enfin que l'agglutination des bactéries peut se déclencher sous l'action des anticorps correspondant aussi bien aux antigènes flagellaires qu'aux antigènes somatiques. Le phénomène de l'agglutination des bactéries par les anticorps est rigoureusement spécifique. Aussi est-il mis en œuvre de façon fort courante, au laboratoire, pour identifier des bactéries à l'aide de sérums connus ou inversement, des sérums grâce à des bactéries déterminées. Précisons cela par deux exemples. Des matières fécales ou du sang d'un malade ayant la fièvre, on isole, par culture, une bactérie. S'agit-il du bacille de la typhoïde ? On fait une suspension de la bactérie dans une solution diluée de chlorure de sodium et on ajoute un peu de sérum sanguin provenant d'un lapin à qui on a fait antérieurement de multiples injections de bacilles typhiques tués. Ce sérum, riche en anticorps dirigés contre le bacille typhique, vient-il à agglutiner la bactérie en cause, on peut affirmer qu'on est bien en présence du bacille de la typhoïde. Passons au problème inverse.

On prend du sang à un malade en proie à la fièvre, puis on en recueille le sérum qu'on met en contact avec une suspension de bacilles de la typhoïde. Ces derniers sont-ils agglutinés, cela indique que le sujet possède, dans son sang, les anticorps correspondant au bacille typhique et, par conséquent, qu'il est en proie à l'infection typhoïdique (séro-diagnostic de WIDAL).

Une bactérie vivante qui vient d'être atteinte par un anticorps n'est aucunement tuée de ce fait. Mais les modifications de l'état superficiel du microorganisme qui résultent de la fixation de l'anticorps sur l'antigène, ont pour conséquence de sensibiliser plus ou moins énergiquement cet individu bactérien à l'action des phagocytes. Les bactéries ainsi lestées d'anticorps, constituent pour les phagocytes des proies bien plus faciles que les bactéries normales. A ce point de vue, les anticorps somatiques sont incomparablement plus actifs que les anticorps flagellaires. Il en résulte que les premiers exercent, dans l'organisme, une remarquable action anti-infectieuse qui demeure spécifique, car elle n'est rigoureusement valable que contre les bactéries correspondantes. Nous sommes, hélas, encore fort ignorants des facteurs exacts qui jouent pour faciliter ou pour gêner la capture d'une bactérie par un phagocyte, aussi ne nous est-il pas possible de formuler une théorie quelque peu sérieuse de l'action sensibilisante des anticorps. Tout aussi bien, nous ignorons ce qui conditionne les mouvements des phagocytes et il nous est impossible, par conséquent, d'expliquer cette curieuse attraction qu'exercent, sur les cellules phagocytaires, certains colloïdes bactériens, lorsqu'ils viennent à diffuser à partir du foyer infectieux.

L'action des seuls phagocytes au début, puis ultérieurement l'action conjuguée des phagocytes et des anticorps peuvent demeurer impuissantes à empêcher une invasion sans cesse plus profonde de l'organisme par les bactéries et une intoxication croissante de cet organisme par les poisons bactériens. La mort du sujet en résulte. Mais souvent, fort heureusement, l'organisme humain ou animal triomphe de ses ennemis : les bactéries sont détruites, les toxines neutralisées et la guérison s'établit. Durant des mois et même des années après la guérison, le sujet garde dans son sang des quantités notables de l'anticorps ou des anticorps correspondant à l'espèce bactérienne qui l'avait envahi et, de ce fait, il demeure à l'abri d'une nouvelle infection par des microorganismes de même espèce.

Voyons, pour en terminer avec ces si curieux colloïdes que sont

les anticorps, dans quelle mesure on peut les mettre en œuvre tant dans le but de soigner que dans le but de prévenir les maladies infectieuses.

* * *

Aux sujets en proie à des infections bactériennes, on peut se proposer d'administrer, dans un but thérapeutique, les anticorps qui sont capables de neutraliser les toxines des bactéries en cause, ou de sensibiliser ces bactéries à la phagocytose. De tels anticorps se rencontrent tout formés et immédiatement utilisables par les malades dans les « sérums thérapeutiques ». Il s'agit de sérums sanguins de chevaux qui ont reçu des injections répétées soit d'anatoxines, lorsqu'on désire obtenir des antitoxines, soit de corps bactériens tués quand on vise à provoquer le développement d'anticorps sensibilisants. Ces sérums doivent être administrés aux malades en injection sous la peau et non pas par la bouche, car les anticorps, qui sont des protéines, se détruisent rapidement sous l'action des enzymes digestifs (pepsine, trypsine, etc...). Citons, parmi les sérums les plus précieux, le sérum antidiphtérique et le sérum antitétanique, qui renferment les antitoxines correspondant respectivement au bacille de la diphtérie et au bacille du tétanos, germes producteurs de très redoutables toxines. L'emploi de ces sérums doit être aussi précoce que possible, en sorte qu'au fur et à mesure de leur libération dans l'organisme les toxines puissent être neutralisées par les antitoxines. Dans le cas du sérum antitétanique, l'injection doit être faite dès que le sujet a été blessé et que, de ce fait, il se trouve exposé à l'infection tétanique.

Nous avons dit qu'un sujet qui vient à guérir d'une infection garde, pendant des mois et des années, des anticorps dans son sang et que durant ce temps, il est à l'abri d'une réinfection par la même bactérie. Serait-il possible, alors, de protéger quelqu'un contre une infection donnée, en lui injectant, à titre préventif, une certaine quantité d'un sérum de cheval renfermant les anticorps valables contre la bactérie considérée ? Oui si l'on se contentait d'une protection de très courte durée, non quand on exige une protection de longue durée. C'est qu'en effet, les anticorps du sérum de cheval représentent, pour l'homme, des protéines étrangères, dont l'organisme humain se débarrasse très rapidement, en deux ou trois semaines par exemple. Si donc on veut qu'un sujet demeure protégé

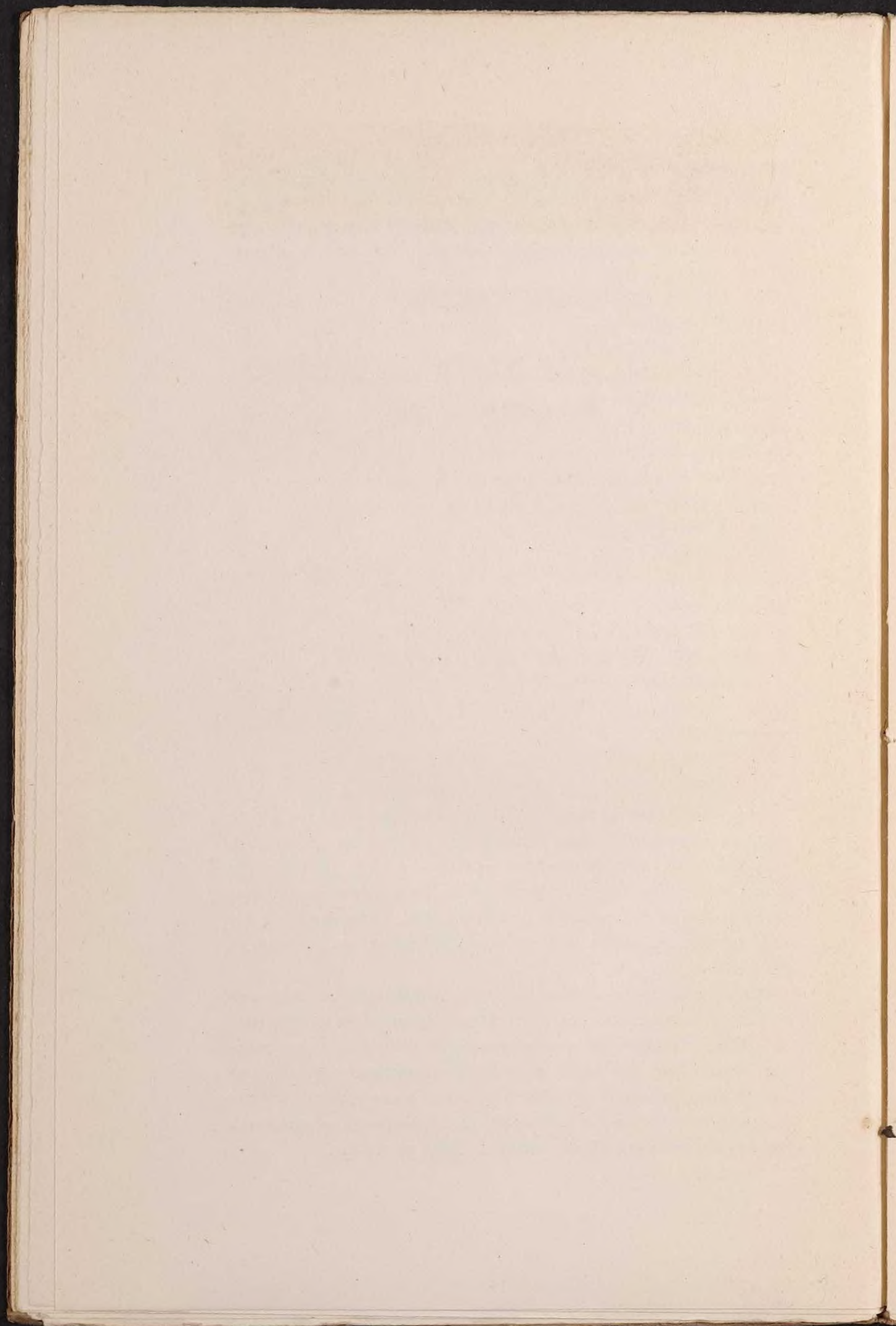
pendant des mois et des années contre l'infection par une bactérie donnée, il faut, de toute nécessité, que ce sujet fasse lui-même les frais de la production d'anticorps qui, étant du type humain, persisteront durant très longtemps dans son sang. Pour cela, il convient de « vacciner » le sujet.

Au cours de ses géniales recherches, PASTEUR avait montré : 1^o que les bactéries peuvent souvent perdre beaucoup de leur virulence, lorsqu'on vient à les cultiver dans des conditions peu favorables à leur multiplication et 2^o que de tels germes peu virulents, inoculés à l'animal, l'immunisent contre l'infection expérimentale ultérieure par des formes hautement virulentes de la même espèce bactérienne. On sait maintenant que cette immunisation est due à la production d'anticorps. Mais la tendance actuelle est d'employer, comme vaccins, non pas des bactéries vivantes, mais des bactéries tuées ou des antigènes isolés de ces bactéries. Citons quelques exemples choisis parmi les vaccinations dont l'efficacité est hors de doute et qui ont été appliquées déjà à des millions et des millions de sujets dans tous les pays. Dans la vaccination contre la fièvre typhoïde, on injecte sous la peau et à plusieurs reprises des bacilles typhiques tués. Dans la vaccination des enfants contre la diphtérie et des soldats contre le tétanos, on injecte les anatoxines de RAMON. Mais nous ne saurions nous étendre davantage ici sur ces intéressantes questions.

* * *

Ainsi donc, avec les toxines et avec les antigènes des bactéries, avec les substances d'origine bactérienne attirant les phagocytes, avec les anticorps neutralisant les toxines et avec les anticorps sensibilisant les bactéries à la phagocytose, on se trouve en présence de toute une série de colloïdes jouant un rôle capital dans la lutte ouverte entre l'organisme humain ou animal infecté et les bactéries pathogènes.

Dans la conférence suivante, nous allons envisager un tout autre aspect des rapports existant entre colloïdes et maladies infectieuses, en étudiant la composition et les propriétés des virus, de ces parasites encore bien plus petits et bien plus simplement organisés que les bactéries, puisqu'ils se réduisent souvent à une molécule unique et supergéante de nucléoprotéine, et qui apparaissent comme étant les plus simples des édifices colloïdaux bâtis par la Vie.





LES VIRUS et **LES PLUS SIMPLES DES ÉDIFICES COLLOÏDAUX** **BATIS PAR LA VIE**

Conférence faite le 9 Octobre 1941
au Conservatoire National des Arts et Métiers
dans le Cycle

LA CHIMIE COLLOÏDALE ET SES APPLICATIONS

PAR

André BOIVIN

Membre de l'Académie de Médecine
Chef de Service à l'Institut Pasteur

Nous nous proposons d'indiquer ici ce qu'on sait des virus, de ces curieux édifices colloïdaux venant se placer aux ultimes frontières entre le monde vivant et le monde inorganisé et de montrer quels espoirs on peut placer dans leur étude, en ce qui concerne une meilleure compréhension de ce qu'est la Vie.

Les êtres vivants apparaissent comme étant des édifices colloïdaux extrêmement complexes qui sont essentiellement bâtis à l'aide de protéines. Chaque espèce vivante, qu'il s'agisse d'un animal, d'une plante ou d'une bactérie, présente sa morphologie propre, son organisation interne propre et sa composition chimique particulière se manifestant, avant tout, par l'existence de protéines caractéristiques de l'espèce. Or un être vivant est le siège de continuelles réactions chimiques : processus de construction et processus inverses de destruction de la matière organique. Malgré cela, il garde sa constitution constante, il s'accroît et se multiplie en demeurant semblable à lui-même. Il faut donc que les réactions chimiques

subissent quelque contrôle fort précis au sein de l'être vivant, afin que se déroulent celles-là et celles-là seulement qui doivent intervenir. Ce contrôle s'opère par catalyse. On sait de quoi il s'agit. La thermodynamique indique si une réaction donnée est spontanément possible ou non (D'après le principe de CARNOT, une réaction n'est spontanément possible que si elle s'accompagne d'une diminution de « l'énergie utilisable » du système). Mais elle ne préjuge en rien de la vitesse avec laquelle peut s'effectuer cette réaction, vitesse qui est capable de varier, selon les conditions d'expérience, de pratiquement zéro à des valeurs très grandes. Un catalyseur est un corps qui, par sa seule présence, peut accélérer beaucoup une réaction chimique déterminée, en « activant » les molécules réagissantes. Les enzymes ou diastases, dont on rencontre une grande variété dans les sucs digestifs et aussi bien dans l'intimité de toutes les cellules, ne sont autres que des catalyseurs extrêmement puissants et remarquablement spécialisés dans leur action, chaque enzyme n'accéléralant qu'une transformation chimique bien déterminée. Avec son équipement de catalyseurs qu'il fabrique lui-même et qu'il utilise dans le but de garder une constitution chimique constante, un être vivant apparaît comme étant un système colloïdal « autocatalytique » extraordinairement complexe. Cet aspect se rencontre chez les animaux et chez les végétaux, aussi bien dans le cas des formes supérieures constituées par de multiples cellules entre lesquelles se divise le travail physiologique, que dans le cas des formes inférieures qui se réduisent à une seule cellule cumulant toutes les fonctions. Il se retrouve chez les bactéries, où la cellule unique devient minuscule et ne montre plus qu'une structure rudimentaire. Il se retrouve enfin, au degré de la complexité près, chez ces virus dont nous allons parler maintenant et qui représentent les plus simples des édifices colloïdaux autonomes bâtis par la Vie. Voyons donc ce que sont les virus.

* * *

On connaît de nombreuses et redoutables maladies de l'homme, des animaux et des plantes, qui sont contagieuses de toute évidence et qui, pourtant, n'ont pas pour cause une bactérie pathogène (comme le bacille de la diphtérie, le vibrion du choléra, etc...) ou un animal unicellulaire — un protozoaire — parasite (comme l'hématozoaire du paludisme, le trypanosome de la maladie du

sommeil, etc...). Citons le rhume commun, la grippe ou influenza, la rougeole, la poliomyélite ou paralysie infantile, la variole, la fièvre jaune, la rage, etc... parmi les maladies humaines ; la fièvre aphteuse, la peste bovine, la peste porcine, la clavelée du mouton, la maladie des jeunes chiens, etc... en ce qui concerne les affections animales ; la mosaïque du tabac, diverses maladies de la pomme de terre, etc... parmi les maladies des plantes. Chacune de ces maladies est causée par un virus. Comme le fait une bactérie pathogène d'espèce donnée, l'agent infectant que représente un virus déterminé ne peut s'attaquer qu'à certaines espèces animales ou végétales bien définies, chez lesquelles apparaissent des symptômes et des lésions caractéristiques du virus en cause.

Un virus est constitué par de minuscules particules qu'on appelle des « corpuscules élémentaires ». Ces corpuscules-virus sont encore bien plus petits que les bactéries et, comme nous allons le voir, encore bien plus simplement organisés qu'elles. La taille des corpuscules est caractéristique de chaque virus et elle varie beaucoup d'un virus à l'autre. Pour l'exprimer, on emploie comme unité le millimicron ($m\mu$) qui n'est autre que le millionième de millimètre. Disons de suite, pour fixer les idées, que cette taille peut aller, selon les virus, d'une dizaine seulement de $m\mu$ à quelques centaines de $m\mu$. Mais il convient d'abord de donner une idée des méthodes, les unes indirectes et les autres directes, qui permettent de mesurer les dimensions de ces corpuscules, dont chacun représente l'unité infectante d'un virus, on pourrait dire l'individu en matière de virus.

Les méthodes indirectes comprennent avant tout l'ultrafiltration et l'ultracentrifugation. Dans le premier cas, on jette un liquide chargé de virus (suc d'un organe malade, par exemple) sur une série d'ultrafiltres en collodion présentant une perméabilité de plus en plus faible — c'est-à-dire ayant des pores de plus en plus étroits — et on recherche la perméabilité minimum qui demeure compatible avec le passage de l'agent infectant. La recherche du virus, dans les divers filtrats, se fait par inoculation de ceux-ci à des sujets appartenant à une espèce vivante (animale ou végétale selon les cas) sensible au virus en cause. Dans le second cas, on étudie la vitesse avec laquelle se fait l'appauvrissement, en agent infectant, du liquide chargé de virus lorsqu'on le soumet à la force centrifuge colossale que peuvent développer des ultracentrifugeuses tournant à 50.000 ou 100.000 tours par minute. L'appau-

vrissement est d'autant plus lent que les corpuscules sont plus petits. Ultrafiltration et ultracentrifugation représentent, en outre, des méthodes précieuses pour recueillir les corpuscules-virus qui viennent s'accumuler, en masse, à la surface des membranes de collodion leur refusant le passage ou au fond des tubes de l'ultracentrifugeuse. Un tel matériel rend possible l'étude de la constitution chimique des virus.

Passons maintenant aux méthodes directes, qui permettent de voir les corpuscules-virus et, par conséquent, non seulement d'évaluer leurs dimensions mais encore de déterminer de façon précise leur forme. Avec une taille de l'ordre de quelques centaines de $m\mu$, les plus gros des corpuscules-virus sont à la limite du pouvoir séparateur de nos meilleurs microscopes ordinaires ou microscopes « optiques », qui grossissent de 2.000 à 3.000 fois. Grâce à ces instruments, on parvient à voir les corpuscules du virus de la variole et ceux du virus très voisin de la vaccine jennérienne (virus varioleux qui s'est adapté à l'organisme des bovidés) sous l'aspect de minuscules sphérules ayant environ 200 $m\mu$ de diamètre. Mais tout ce qui est inférieur à 100 $m\mu$ échappe à l'examen au microscope ordinaire. Le microscope « électronique », qu'ont réalisé tout récemment RUSKA et von BORRIES, permet tous les espoirs en ce qui concerne l'étude directe des petits corpuscules-virus. On sait que cet instrument met en œuvre les propriétés ondulatoires de la matière découverte par Louis DE BROGLIE, des faisceaux d'électrons tenant la place des rayons lumineux et des bobines parcourues par le courant électrique la place des lentilles du microscope ordinaire. Un grossissement de 20.000 à 50.000 fois peut être obtenu aisément et des résultats du plus haut intérêt ont déjà été atteints, tout spécialement en ce qui concerne le virus de la mosaïque du tabac. Nous allons avoir l'occasion de revenir, en détail, sur ces résultats. Nous verrons, en particulier, que les corpuscules du virus de la mosaïque ne sont pas sphériques, mais allongés en bâtonnets. Ajoutons que toutes les fois qu'il a été possible de confronter les données des méthodes indirectes avec celles des méthodes directes de mesure de la taille des corpuscules d'un virus, l'accord s'est révélé suffisant, au moins en ce qui concerne l'ordre de grandeur de cette taille. Avant le recours au microscope électronique, les méthodes indirectes avaient même révélé non seulement les dimensions, mais encore la forme en bâtonnets des corpuscules du virus

de la mosaïque du tabac. On peut donc faire confiance aux résultats que donnent les méthodes indirectes, dans tous les cas où il n'a pas encore été possible de les contrôler par l'examen au microscope optique ou électronique.

Avec leurs dimensions s'élevant à quelques centaines de $m\mu$, les plus gros des corpuscules-virus (variole et vaccine, par exemple) approchent des plus petites bactéries. En effet, les bactéries mesurent entre 500 $m\mu$ et quelques milliers de $m\mu$. Mais avec des dimensions s'abaissant à 10 $m\mu$ seulement, les plus petits des corpuscules-virus (fièvre aphteuse et poliomyélite, par exemple) tombent dans l'ordre de grandeur appartenant aux molécules isolées des protéines. Nous ne pouvons nous étendre ici sur les méthodes qui permettent de déterminer la taille et la masse (masse relative, la masse de l'atome d'hydrogène étant prise pour unité) de la molécule des protéines. Bornons-nous à un rappel succinct des résultats qu'on a pu atteindre. Les protéines les moins complexes (celles du sang, du lait, de l'œuf par exemple) ont des molécules ne mesurant qu'un tout petit nombre de $m\mu$; leur masse moléculaire ne dépasse pas quelques dizaines de milliers ou une à deux centaines de milliers. Mais on connaît des protéines à molécules beaucoup plus volumineuses. C'est ainsi que les hémocyanines (protéines renfermant un peu de cuivre dans leur molécule et qui tiennent, chez nombre d'invertébrés, la place de l'hémoglobine des vertébrés) ont des dimensions moléculaires supérieures à 20 $m\mu$ et des masses moléculaires s'élevant à plusieurs millions. Il en résulte ce fait extrêmement remarquable que les plus petits des corpuscules-virus sont inférieurs, par la taille, aux plus grosses des molécules protéiques connues. Le moment est venu de nous demander quelle peut bien être la constitution chimique des corpuscules-virus.

* * *

Tous les corpuscules-virus qu'on a pu analyser se sont révélés comme étant constitués principalement ou uniquement par des « nucléoprotéines », combinaisons résultant de l'union entre des protéines et des « acides nucléiques ». Ces derniers sont des corps organiques complexes contenant du phosphore dans leur molécule. *Fait capital, les virus ne renferment aucun de ces nombreux enzymes qu'on rencontre dans toutes les cellules animales, végétales ou bactériennes et qui président à aux innombrables réactions chimiques dont*

les cellules sont sans cesse le siège. Au bénéfice des cellules, de telles réactions assurent, d'une part, la transformation des matières organiques fournies par le milieu ambiant et leur incorporation à la matière vivante, d'autre part la libération d'énergie résultant des combustions exothermiques (respiration) ou des décompositions exothermiques (fermentations) des mêmes matières organiques du milieu ambiant. Cette énergie vient couvrir les dépenses en chaleur, en mouvement, etc... des cellules et, en outre, elle permet à ces dernières d'effectuer la synthèse endothermique de certains de leurs constituants. A l'inverse des bactéries, les virus ne donnent lieu à aucun phénomène de respiration ni de fermentation. On comprend maintenant pourquoi les virus ne peuvent jamais être cultivés sur ces milieux artificiels (bouillon, etc...) qui permettent d'obtenir, au laboratoire, la culture des bactéries, pathogènes ou non pathogènes. *Les virus sont des parasites rigoureusement obligatoires, car les corpuscules qui les représentent sont incapables de se multiplier ailleurs que dans l'intimité de cellules vivantes, que ces dernières soient en place dans l'hôte infecté ou bien qu'elles soient entretenues expérimentalement en survie, au laboratoire (culture des tissus).* Au virus qui l'infecte, une cellule offre à la fois des matières organiques hautement élaborées et de l'énergie disponible pour les synthèses chimiques. Les corpuscules-virus préexistants n'ont qu'à exercer quelque action directrice, d'ordre catalytique sans doute, pour présider à la construction de nouveaux corpuscules du même type, en mettant en œuvre à la fois ces matériaux et cette énergie. Nous reviendrons sur ce point un peu plus loin. Ajoutons qu'au moyen du microscope, les plus gros des corpuscules-virus (ceux de la variole, de la vaccine, etc...) peuvent être observés en place dans l'intérieur des cellules malades. On les voit sous l'aspect de granules isolés et aussi de granules agglomérés en amas qui ne sont rien d'autre que des microcolonies du virus. Notons bien, en outre, que si les corpuscules-virus sont incapables de se multiplier en dehors des cellules vivantes, ils peuvent cependant, en dehors de ces cellules, garder intact leur pouvoir infectant et cela durant un temps plus ou moins long. La résistance des virus aux diverses actions nocives physiques et chimiques (température, antiseptiques, etc...) rappelle celle des bactéries. Pas plus que les bactéries, les virus ne peuvent résulter, semble-t-il bien, de quelque processus de génération spontanée et les corpuscules-virus qui infectent un sujet

dérivent toujours, en dernière analyse, de la multiplication d'un ou de plusieurs corpuscules-virus de même espèce, provenant d'un autre sujet antérieurement infecté. Le mode de transmission des virus est aussi variable que le mode de propagation des bactéries pathogènes. La porte d'entrée peut être située dans les voies respiratoires, dans les voies digestives, etc... ou bien un insecte piqueur peut servir d'agent de transmission de sujet à sujet (exemple du virus de la fièvre jaune transmis par le moustique *Aedes*).

Mais revenons à la constitution chimique des virus. Dans les gros corpuscules-virus, comme ceux de la vaccine, qui ont été longuement étudiés de ce point de vue, les nucléoprotéines sont accompagnées par de faibles quantités de matières grasses et de matières sucrées, qu'on ne peut éliminer, semble-t-il bien, sans détruire les virus. Le corpuscule élémentaire de tels virus représente, selon toute vraisemblance, un édifice beaucoup plus simple qu'une cellule mais qui n'en est pas moins constitué par la réunion de nombreuses molécules de colloïdes, protéiques et autres. On peut qualifier de polymoléculaires les virus qui sont dans ce cas. Il paraît bien en aller tout autrement en ce qui concerne les virus à petits corpuscules, qui ne sont plus constitués que par des nucléoprotéines pures. La démonstration en a été donnée sur l'exemple de quelques virus s'attaquant aux animaux, comme le virus de la fièvre aphteuse par exemple, qu'on a pu obtenir sous l'espèce de nucléoprotéines voisines de la pureté chimique. Elle a été donnée surtout au cours de remarquables travaux qui ont conduit à l'isolement, sous la forme de nucléoprotéines pures et cristallisables, du virus de la mosaïque du tabac et de plusieurs autres virus s'attaquant aux plantes. A chacun de ces virus, caractérisé par les espèces animales ou végétales qu'il infecte et par les symptômes qu'il provoque, correspond une nucléoprotéine particulière. En solution dans l'eau, cette nucléoprotéine se résout en molécules isolées, comme le fait toute protéine qu'on vient à dissoudre. Chacune de ces molécules ne représente rien d'autre qu'un corpuscule élémentaire du virus, lequel mérite, par conséquent, le qualificatif de monomoléculaire. Dans le grand groupe des virus, toute une série de formes intermédiaires quant à la taille de leurs corpuscules jettent un pont entre les virus à gros corpuscules et les virus à tout petits corpuscules. On peut penser, par conséquent, que des virus aux corpuscules constitués par un petit nombre seulement de molé-

eules (virus oligomoléculaires) viennent s'intercaler entre les virus polymoléculaires et les virus monomoléculaires. Mais on ne saurait rien dire de plus, en l'état actuel de nos connaissances. Voyons maintenant quelles sont les propriétés essentielles des virus monomoléculaires les mieux étudiés, c'est-à-dire du virus de la mosaïque du tabac et de quelques agents d'infection voisins s'attaquant, comme lui, aux végétaux supérieurs.

* * *

C'est en 1935 que STANLEY, soumettant le suc de pieds de tabac atteints de mosaïque à des traitements chimiques de caractère doux, (précipitations fractionnées par le sulfate d'ammoniaque, etc...), parvint à isoler le virus de la mosaïque du tabac sous la forme d'une nucléoprotéine pure et cristallisable. STANLEY obtint alors des cristaux microscopiques en forme d'aiguilles qui, à l'analyse des cristallographes, se révélèrent comme étant plutôt des pseudo-cristaux que des cristaux vrais, des sortes de fibres analogues par leur texture aux fibres naturelles cellulosiques et protéiques, dans lesquelles les molécules ne s'orientent que dans deux dimensions seulement de l'espace. Depuis lors on a obtenu, de la même nucléoprotéine, des cristaux vrais, en tablettes hexagonales qui satisfont à toutes les exigences des cristallographes. Il est aisé d'isoler la nucléoprotéine-virus du suc des plantes malades, en soumettant ce suc à l'ultracentrifugation fractionnée : la nucléoprotéine-virus, aux molécules supergéantes, se dépose au fond des tubes de l'ultracentrifugeuse bien avant les protéines normales de la plante, dont les molécules sont relativement petites. La nucléoprotéine-virus n'existe pas chez la plante saine. Inoculée en trace à un pied de tabac, elle déclanche la maladie de la mosaïque, avec ses taches caractéristiques sur les feuilles. Des tissus du végétal malade, on peut bientôt retirer d'importantes quantités d'une nucléoprotéine-virus en tous points identique à celle qui a servi pour l'inoculation, en simple trace répétons-le. Les molécules de nucléoprotéine-virus trouvent donc le moyen de se multiplier au sein de l'hôte infecté. Ces molécules, on a pu les voir au microscope électronique (PFANKUCH, KAUSCHE, RUSKA) sous la forme de minuscules bâtonnets, ayant 15 μ de longueur sur 150 μ de largeur. La masse d'une telle molécule est de l'ordre de 25 millions. Il s'agit donc d'édifices moléculaires surclassant ceux de toutes les protéines propre-

ment dites connues jusqu'à ce jour, puisque les plus grosses molécules protéiques (celles des hémocyanines) ont une masse ne dépassant pas un petit nombre de millions. Remarquons qu'on connaît, dans d'autres classes de composés organiques, des molécules plus volumineuses encore. C'est ainsi que la molécule du caoutchouc semble atteindre 800 $m\mu$, c'est-à-dire la dimension d'une bactérie ! Dans les solutions de nucléoprotéine-virus de la mosaïque, les molécules ont tendance à s'unir par deux, bout à bout, pour donner des éléments longs de 300 $m\mu$ (« dimérisation » de la nucléoprotéine) et même à s'agréger à plusieurs en longues chaînes (« polymérisation » de la nucléoprotéine). Comme nous l'avons déjà dit, plusieurs autres virus des plantes ont pu également être isolés en nucléoprotéines pures et cristallisables. Ces nucléoprotéines-virus diffèrent de celle de la mosaïque du tabac et elles diffèrent entre elles par leur constitution chimique (teneur en phosphore, etc...), par leur forme cristalline, par la taille et la forme de leur molécule (on en connaît à molécule sphérique), etc... Ajoutons que dans la nature, la transmission de ces virus des plantes malades aux plantes saines qui vont s'infecter est généralement due à des insectes venant piquer les végétaux pour se nourrir de leur suc. Notons bien que le fait, pour certaines nucléoprotéines-virus, d'être aisément cristallisables n'a, par lui-même, aucune signification profonde. Il est banal, en effet, de voir cristalliser des protéines. Ce qui s'avère comme hautement remarquable, ce n'est donc pas que des virus soient cristallisables, mais bien qu'ils aient des molécules isolées de nucléoprotéine pour unité infectante.

On peut imaginer qu'au sein de l'hôte infecté, la multiplication des gros corpuscules-virus, à structure polymoléculaire, s'effectue par quelque processus rappelant celui qui entre en jeu dans la multiplication des bactéries : accroissement de l'élément, puis son étranglement en deux éléments-fils, etc... De fait, le microscope a révélé l'existence, chez les gros virus (vaccine) de corpuscules en voie d'étranglement, à côté de corpuscules régulièrement arrondis. Mais rien de tel ne peut plus jouer en ce qui concerne les corpuscules monomoléculaires. Une molécule isolée n'est pas susceptible de se multiplier par division. Il est fréquent, au cours d'une réaction chimique, de voir une molécule se couper en deux, mais les deux molécules ainsi obtenues n'ont aucunement la valeur de molécules-filles, car elles correspondent à des espèces chimiques bien distinctes

de l'espèce chimique initiale. Au sein de l'hôte infecté, la multiplication des molécules d'une nucléoprotéine-virus ne peut se faire que par quelque processus de copie des molécules préexistantes. On imagine la molécule géante d'une nucléoprotéine-virus comme exerçant, autour d'elle, une sorte de champ directeur dans lequel viendraient se grouper, s'orienter et se combiner des corps à petites molécules (acides aminés, etc...) tous fournis par la cellule-hôte et dont l'union donnerait naissance à une nouvelle molécule de nucléoprotéine. Autrement dit, la multiplication des molécules d'une nucléoprotéine-virus relèverait d'une réaction chimique autocatalytique. Au fond, c'est bien par un processus de cet ordre que doit s'effectuer la multiplication des molécules des protéines et nucléoprotéines normales, chez un être supérieur (animal ou plante) en voie de croissance...

Biologiquement autonome par rapport à l'hôte qu'il vient infecter, se multipliant dans le sein de cet hôte en demeurant semblable à lui-même, un virus monomoléculaire ne garde-t-il pas, de ce fait, quelques-uns des attributs les plus fondamentaux des être vivants ? Autrement dit, un virus monomoléculaire ne doit-il pas être laissé parmi les êtres vivants, ou du moins dans leur voisinage immédiat ? Nous voudrions montrer qu'à un examen attentif, une pareille conception n'est pas aussi inadmissible, on serait tenté de dire aussi folle, qu'elle peut le sembler à première vue. Mais pour cela, il nous faut préciser le rôle combien spécial et curieux que jouent les nucléoprotéines chez les êtres supérieurs. Nous allons montrer que quelque chose de tout à fait fondamental chez ces êtres supérieurs, leur squelette chimique essentiel, est formé par des éléments rappelant de très près les virus.

* * *

Toute cellule, qu'il s'agisse d'une des cellules hautement différenciées qui constituent un organisme animal ou végétal, ou bien de la minuscule et rudimentaire cellule isolée représentant à elle seule une bactérie, montre quelque part, dans son intimité, un « organite » particulier auquel on donne le nom du noyau. Les généticiens (c'est-à-dire les spécialistes des questions d'hérédité) font jouer un rôle capital aux noyaux des cellules dans la persistance, chez chaque individu, des caractères de l'espèce vivante à laquelle il appartient et dans la transmission de ces caractères des

parents à leurs descendants. Sans qu'il soit possible de nous étendre ici sur la question, disons qu'on a tout lieu de penser qu'un véritable conseil d'administration a son siège dans le noyau de chaque cellule. Les administrateurs en cause s'appellent des « gènes » (1). Le conseil des gènes se retrouve, identique, dans toutes les cellules de tous les individus appartenant à une même espèce et il est caractéristique de cette espèce. Chacun des gènes du conseil a pour fonction de présider, plus spécialement, à la persistance et à la transmission de certains caractères particuliers de l'espèce en cause. Dans chaque noyau, les gènes se groupent dans un ordre parfaitement défini, pour constituer ces filaments allongés, bien connus des histologistes qui les décrivent sous le nom de « chromosomes ». Ce sont les chromosomes qui, en se pelotonnant entre eux, constituent essentiellement le noyau. Or, ils sont formés par des nucléoprotéines et on est conduit à admettre que chaque gène ne représente rien d'autre qu'une molécule unique et géante d'une nucléoprotéine particulière. Les molécules des nucléoprotéines-gènes et les molécules des nucléoprotéines-virus sont tout à fait comparables quant à l'ordre de grandeur de la taille qu'il est possible de leur attribuer. Il est fort probable que c'est par des actions d'ordre catalytique que les gènes dirigent la machinerie chimique si complexe des cellules vivantes, qu'ils président à la synthèse des constituants protoplasmiques et plus généralement au déroulement incessant de toutes les réactions chimiques dont les usines cellulaires sont le siège sous le contrôle immédiat des enzymes. Quand une cellule vient à se diviser en deux cellules-filles, on a tout lieu de penser que chaque molécule-gène donne naissance, dans son voisinage immédiat et par un processus de copie, à une molécule-gène identique, en sorte que se constituent les deux lots de gènes, semblables en tous points, que vont se partager les cellules-filles.

On voit ainsi une analogie profonde se dessiner entre les gènes et les virus. Imaginons que des gènes soient capables d'aller s'installer en parasites dans des cellules étrangères, qu'ils en dévient l'activité à leur profit afin de pouvoir se multiplier sans frein au sein de ces cellules : on aurait en fait des virus. On peut donc penser que les virus monomoléculaires ne sont que des gènes libres, ou plutôt, comme nous allons le montrer, que des gènes qui sont devenus

(1) On dit *un gène*.

libres par une régression parasitaire, poussée à l'extrême, des microorganismes auxquels primitivement ils appartenaient. Ceci exige quelques mots d'explication. C'est une grande loi biologique que le parasitisme dégrade la structure et les fonctions des êtres qui s'y abandonnent. On connaît maints exemples d'animaux, appartenant de par leur origine à des classes d'êtres très élevées en organisation et qui, du fait d'une étroite adaptation au parasitisme chez d'autres animaux, se sont réduits à d'informes sacs à œufs, par persistance des seules fonctions de nutrition et de reproduction. Une pareille régression parasitaire ne peut-elle pas conduire, au cours de myriades de générations successives, d'une bactérie pathogène à un virus ? Sous sa forme typique, une bactérie pathogène est une cellule rudimentaire parfaitement capable de mener une vie autonome et de se multiplier non seulement au sein d'un hôte sensible, mais encore dans les bouillons de culture de nos laboratoires. Dans son minuscule noyau (car on est bien certain maintenant que les bactéries renferment quelque chose de l'ordre d'un noyau), la bactérie possède sans doute une collection de gènes fort réduite, peut-être même un seul gène, du fait de la grande simplicité d'organisation qui la caractérise. Ces gènes (ou ce gène) dirigent toute la machinerie chimique de la cellule bactérienne. Mais qu'une adaptation au parasitisme, de plus en plus étroite, vienne dégrader progressivement l'organisation de la cellule bactérienne, que les enzymes disparaissent les uns après les autres et l'on aboutira finalement à un virus absolument incapable de se multiplier ailleurs que dans l'intimité d'une cellule vivante étrangère. Disons, sous une forme imagée, que le conseil d'administration qui présidait initialement à la vie du microorganisme, après s'être privé en quelque sorte de tous les ouvriers qu'il dirigeait, ne peut plus que faire travailler à son profit une autre cellule, dont il devient à la fois le maître et l'esclave. Une régression parasitaire limitée conduirait des bactéries aux gros corpuscules-virus, comme ceux de la vaccine par l'intermédiaire de ces microbes pathogènes particuliers et minuscules, qu'on appelle des *Rickettsies* (l'agent du typhus exanthématique en est un exemple) et dont spécialistes des bactéries et spécialistes des virus se disputent l'étude. Que la régression parasitaire soit poussée à son terme ultime, que le conseil d'administration des gènes se réduise à son seul administrateur-délégué, la molécule-gène libre, et l'on aboutirait à un virus monomoléculaire...

* * *

Quoi qu'il en soit de ces hypothèses — car, de toute évidence, il ne s'agit-là que d'hypothèses — les virus semblent bien cacher, sous son aspect le plus simple, le plus facilement abordable par l'expérimentateur, l'un des plus grands secrets de la biologie, celui de l'augmentation autocatalytique de masse des constituants colloïdaux les plus caractéristiques des êtres vivants.

Malheureusement, à l'heure actuelle on manque encore d'une théorie quelque peu solide non seulement de l'autocatalyse biologique, mais même de la catalyse tout court. Tout au plus est-il possible de deviner dans quelle direction les bases d'une telle théorie pourraient être recherchées. On connaît la conception ondulatoire de la matière qui a triomphé, à la suite des mémorables travaux de LOUIS DE BROGLIE, de SHRÖDINGER, de DIRAC, etc... La stabilité des édifices moléculaires, tout comme celle des édifices atomiques, est liée à l'existence d'ondes stationnaires. Les ondes dont il est question n'ont du reste pas de signification physique directe, elles ne représentent pas les vibrations de quelque chose, mais des êtres purement mathématiques dont la considération permet de prévoir le comportement statistique des particules matérielles. En langage ondulatoire, il est probable que la catalyse et que l'autocatalyse, avec la remarquable activation des molécules qu'elles mettent en jeu, répondent plus ou moins à quelque chose de l'ordre d'un phénomène de résonance. Mais pour descendre à l'explication détaillée des faits, il faudrait pouvoir donner une forme précise à une telle théorie, puis écrire les équations différentielles dans lesquelles elle se résumerait et enfin intégrer ces équations. Remarquons bien que la seule résolution de semblables équations concernant le comportement de nombreuses particules (atomes, électrons, etc., etc...) risquerait fort de présenter d'inextricables difficultés. Qu'on songe, pour s'en convaincre, à l'impossibilité dans laquelle se sont trouvés, jusqu'à présent, les spécialistes de la mécanique céleste, de résoudre le célèbre problème dit « des trois corps », si simple pourtant en apparence (calculer le mouvement de trois corps, ou d'un plus grand nombre de corps, s'attirant entre eux selon les lois de la gravitation universelle. Ce problème est résolu, depuis NEWTON, dans le cas de deux corps seulement).

On est donc encore extrêmement loin, semble-t-il bien, de parve-

nir à une explication détaillée de l'autocatalyse biologique, explication qui donnerait probablement la clef de l'un des aspects fondamentaux — l'aspect chimique, pourrait-on dire — du mystère de la Vie. Mais il existe d'autres aspects non moins fondamentaux de ce grandiose mystère, auxquels les études sur les virus ne sauraient apporter aucun éclaircissement.

Imaginons, en effet, que le progrès des connaissances permette un jour au savant de pénétrer dans le menu détail des réactions chimiques se déroulant dans les cellules d'un cerveau, qu'on parvienne à examiner le mécanisme intime de ce cerveau comme on examine celui d'un moulin, pour reprendre la comparaison classique du moulin de LEIBNIZ (*Monadologie*). Selon l'image plaisante d'Henri POINCARÉ (*La Science et l'Hypothèse*), notre savant assisterait à une extraordinaire « partie de billard » entre d'innombrables particules matérielles (atomes, électrons, etc...) en mouvement incessant, mais il ne rencontrerait rien qui ait les qualités d'un quelconque état de conscience. C'est que la Vie se présente, à qui la considère dans la totalité de ses manifestations, sous deux aspects bien distincts : d'une part, un aspect matériel, celui qu'étudie la physique (au sens le plus large du terme : science de la Nature, de la *Physis* des Grecs) et dont elle cherche à rendre compte par des théories mécanistes et, d'autre part, un aspect psychique ou spirituel, relevant de la métaphysique. Il y a là deux faces de la réalité dont le rapport s'avère comme un irréductible irrationnel et qui sont complémentaires l'une de l'autre, un peu comme — sur un tout autre plan — sont complémentaires, au sens que NIELS BOHR donne à ce qualificatif, les concepts de corpuscules et d'onde auxquels le physicien fait simultanément appel lorsqu'il étudie les phénomènes de l'échelle atomique. Mais il n'est que trop permis de craindre, avec BERGSON, que l'Intelligence humaine, fille de la Vie et de valeur essentiellement pragmatique, se montre bien incapable d'embrasser, dans sa plénitude, la Cause première dont elle dérive.

Mais arrêtons-nous là. Restons aux ultimes frontières entre le monde vivant et le monde inorganisé où l'étude des virus nous a conduits et ne nous aventurons pas davantage dans ce domaine si attirant certes, mais combien rempli d'embûches et de mirages, qu'est celui de la métaphysique.





ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Séries publiées sous la direction de MM.



- GIBRAT (Robert), Paris. — Impasses économiques.
- GIBSON (G. S.), London.
- GOMEZ (Domingo M.), Paris. — Recherches d'Hémodynamique et Cardiologie.
- GOURSAT (E.), Paris. — Leçons sur les Hypergéométriques (et sur quelques fonctions qui s'y rattachent).
- GREENWOOD (Thomas), London. — Logique et méthodologie.
- GUICHARD (Marcel), Paris. — Philosophie et histoire des mesures.
- GUILLAUME (G. et Ed.), Paris. — Économique Rationnelle.
- HADAMARD (J.), Paris. — Analyse mathématique et ses applications.
- HENRI (Victor), Liège. — Physique moléculaire.
- HERBRAND (Jacques), Paris. — Exposées mathématiques publiées à sa mémoire.
- HUBER (M.), Paris. — Statistique et Applications.
- JARRY-GUÉROULT (Robert), Paris. — Dynamique Sociale.
- JAVILLIER (Maurice), Paris. — Chimie agricole.
- JOFFÉ (A. F.), Leningrad. — Physique des corps solides.
- JOLEAUD (L.), Paris. — Biogéographie.
- JOLIOT (F.), Paris. — Physique et chimie nucléaire.
- JOUNIAUX (A.), Lille. — Chimie analytique (Chimie physique, minérale et industrielle).
- Leçons de Chimie analytique.
- KOLTZOFF (N.-K.), Moscou. — La génétique et les problèmes de l'évolution.
- KRYLOFF (N.), U. R. S. S. — Mécanique non linéaire (Étude des oscillations non linéaires et des systèmes dynamiques y intervenant).
- LAHY (J. M.), Paris. — Psychologie appliquée.
- LANGEVIN (P.), Paris. — I. Relativité ; II. Physique générale.
- LAPIQUE (Louis), Paris. — Physiologie générale du système nerveux.
- LAUGIER (H.), Paris. — Biologie du travail et Biotypologie.
- LECOMTE DU NOUY (P.), Paris. — Biophysique moléculaire.
- LEVI (Giuseppe), Turin. — L'accroissement des organismes.
- LUTFALLA (Georges), Paris. — Économie théorique et Statistique économique.
- MAGNAN (A.), Paris. — Morphologie dynamique et mécanique du mouvement.
- MARGARIA (Rodolfo), Parme. — Physiologie du travail musculaire.
- MARIE (Ch.), Paris. — Electrochimie appliquée.
- MAURAIN (Ch.), Paris. — Physique du globe.
- MAYER (André), Paris. — Physiologie.
- MILLOT (J.), Paris. — Anthropologie physiologique et pathologique.
- MINEUR (Henri), Paris. — Astronomie stellaire.
- MISES (Richard de), Istanbul. — Théorie moderne des probabilités.
- MONTEL (P.), Paris. — Théorie des Fonctions.
- MORRIS (Charles W.), Chicago. — Philosophie scientifique.
- MUSCELEANU (Chr.), Bucarest. — Physique générale et Quantique.
- NADSON (G. A.), U. R. S. S. — Biologie (Rayonnements, Facteurs chimiques et physiques).
- NEEDHAM (J.), Cambridge. — Chemical Embryology (Embryologie chimique).
- NICLOUX (M.), Strasbourg. — Chimie analytique (Chimie organique et biologique).
- NOYES (Albert W. Jr.), Providence R. I. (U. S. A.). — Photochimie.
- OCAGNE (Maurice d'), Paris. — Procédés généraux de calcul (Calcul numérique. — Calcul graphique. — Calcul nomographique. — Calcul mécanique).
- OEHMISCHEN (E.), Paris. — Mécanismes naturels et technique humaine.
- OMBREDANE (A.), Paris. — Psycho-physiologie du langage.
- ORCEL (J.), Paris. — Minéralogie.
- PASCAL (P.), Paris. — Chimie générale et minérale.
- PÉREZ (Ch.), Paris. — Biologie zoologique.
- PERRIN (J.), Paris. — Atomistique.
- PIÉRON (Henri), Paris. — Physiologie des Sensations.
- PLATRIER (Ch.), Paris. — Géométrie cinématique ; Mécanique Newtonienne (Cours de l'Ecole Polytechnique).
- POLICARD (A.), Lyon. — Histophysiologie.
- PORTEVIN (A.), Paris. — Métallurgie et Métallographie.
- PUBLICATIONS DU LABORATOIRE D'ESSAIS (Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris).
- PRENANT (Marcel), Paris. — I. Biologie écologique ; Leçons de Zoologie ; Publications de l'Institut mathématique de l'Université de Strasbourg.
- RANDOIN (L.). — Équilibre d'alimentation et de nutrition.



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

Séries publiées sous la direction de MM.



- REICHENBACH (Hans), Istanbul. — Logique et théorie de la Science.
- RÉUNION INTERNATIONALE DE CHIMIE PHYSIQUE 1933. — Paris.
- REY (A.), Paris. — Histoire des Sciences.
- RIBAUD (G.), Paris. — Hautes températures.
- RIVERS (Thomas M.), New-York. — Filterable Viruses.
- ROCARD (Y.), Paris. — Théories mécaniques (Hydrodynamique-acoustique).
- SAND (René), Bruxelles. — Médecine sociale et service social.
- SANNIÉ (D^r Charles), Paris. — Criminologie. — Identification et Police scientifique.
- SANTILLANA (G. de), New-York. — L'Homme et l'outil (Man and Gadget).
- SARTIAUX (M. F.), Paris. — Histoire des Techniques.
- SERVIEN (Pius), Bucarest. — Esthétique.
- SESMAT (Augustin), Paris. — Systèmes de Référence et Mouvements (Physique classique).
- Systèmes de Référence et Mouvements (Physique relativiste).
- SIMON (Franz), Oxford. — Physique des basses températures.
- SOUÈGES (R.), Paris. — Embryologie et morphologie végétales.
- SPEARMAN (G.), Londres. — Analyse factorielle en psychologie.
- TAKAGI, Tokyo. — Mathématiques générales.
- TAMIYA-(HIROSHI), Tokyo. — Biologie (Physiologie cellulaire).
- TARSKI (Alfred), Varsovie. — Métalogique et mathématique.
- TAYLOR (Hugh S.), Princeton. — Hétérogènes catalyses.
- TCHAKHOTINE (S.), Paris. — L'Organisation dans la Science.
- TCHITCHIBABINE (A.), U. R. S. S. — Chimie organique (Série hétérocyclique).
- TEISSIER (Georges), Paris. — Biométrie et statistique biologique.
- TERROINE (E.-F.), Strasbourg. — Nutrition.
- TOUSSAINT (M. A.), Paris. — Leçons d'aérodynamique appliquée.
- URBAIN (G.), Paris. — Théories chimiques.
- URBAIN (Pierre), Paris. — Géochimie.
- VALÉRY (Paul), Paris. — Conférences du Centre Universitaire Méditerranéen de Nice.
- VERLAINE (Y.), Liège. — Psychologie animale.
- VERNADSKY (W. J.), U. R. S. S. — Problèmes biogéochimiques.
- WALLON (D^r Henri), Paris. — Psycho-biologie de l'enfant.
- WAVRE (R.), Genève. — Conférences internationales des Sciences mathématiques de l'Université de Genève.
- WEISS (P.), Strasbourg. — Magnétisme.
- WURMSER (R.), Paris. — Biophysique.

Actualités Scientifiques et Industrielles

Série 1940 (Suite).

891. N. OBRECHKOFF. Quelques classes de fonctions entières limites de polynômes et de fonctions méromorphes limites de fractions rationnelles..... 20 fr.
892. J. PERRIN. A la surface des choses. Physique générale VI. L'Energie..... 28 fr.
893. — — — — — VII. Evolution..... 25 fr.
894. P. CHOUARD, J. DUFRENOY, A. EICHORN, L. EMBERGER, R. GAUTHERET, G. MANGENOT, H. J. MARESQUELLE et H. Prat. Les idées modernes sur le mécanisme de la photosynthèse..... 25 fr.
895. KNUT LUNDMARK, SERGI GAPOSCHKIN, BENGT EDLEN, C. P. GAPOSCHKIN, F. J. M. STRATTON et C. S. BEALS. Observations des Novae..... 60 fr.
896. P. SWINGS, B. STROMGREN et WALTER BAADE. Théorie des Novae, Supernovae 25 fr.
897. G. P. KUIPER, S. CHANDRASEKHAR et Sir ARTHUR EDDINGTON. Naines blanches..... 35 fr.
898. M. FAGUET. La Photoélectricité dans l'Enregistrement des Courbes de Croissance. 40 fr.
899. F. ENRIQUES. Causalité et Déterminisme dans la Philosophie et l'Histoire des Sciences..... 40 fr.
900. A. HAUTOT et J. FARINEAU. Application de la Spectrographie des Rayons X à l'étude de l'Etat métallique. I^{re} partie. Etude historique..... 25 fr.