

*Annuaire de
V. S.*

10

RECUEIL
DE
L'INSTITUT BOTANIQUE

(UNIVERSITÉ DE BRUXELLES)

PUBLIÉ PAR

L. ERRERA

—
TOME VI
—

EXTRAIT

L. ERRERA

SUR LA LIMITE DE PETITESSE DES ORGANISMES.

BRUXELLES

HENRI LAMERTIN, ÉDITEUR-LIBRAIRE

20, RUE DU MARCHÉ AU BOIS, 20

—
1903

SUR
LA
LIMITE DE PETITESSE DES ORGANISMES

PAR

L. ERRERA (*)

On connaît aujourd'hui l'existence d'un certain nombre de microbes tellement petits qu'ils demeurent invisibles sous nos objectifs les plus puissants : ils se révèlent seulement par la très légère opalescence qu'ils donnent aux liquides dans lesquels ils pullulent, par leur aptitude à être retenus sur des bougies filtrantes suffisamment compactes et par leurs effets pathogènes. Tel est le cas notamment pour le virus de la fièvre aphteuse (Löffler), celui de la péripneumonie bovine (Nocard, Roux), celui de la « horse-sickness » (Nocard), celui de la clavelée (Borrel) et, sans doute aussi, celui de la maladie de la mosaïque du tabac (Beijerinck) (**).

Est-on en droit d'espérer que d'ici peu de temps un perfectionnement dans nos microscopes nous permettra d'apercevoir ces « microbes invisibles » ? S'il suffisait pour cela d'augmenter le grossissement, comme on se l'est longtemps imaginé, la chose serait aisée. Mais il n'en est pas ainsi.

(*) Ce travail paraît également dans le *Bulletin de la Société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles*, janvier 1903.

(**) On peut se demander s'il n'en est pas de même pour la panachure des végétaux, qui est parfois transmissible par inoculation.

Grâce surtout aux travaux classiques d'Abbe, nous savons que la visibilité des structures très fines dépend de tout autres facteurs : elle s'accroît proportionnellement à l'ouverture numérique de l'objectif et en raison inverse de la longueur d'onde de la lumière utilisée. Reprenant à ce point de vue l'étude dont s'était déjà occupé Helmholtz, le Dr S. Czapski, d'Iéna, particulièrement compétent en ces matières, est arrivé à la conclusion que nos microscopes sont bien près de l'extrême limite de ce qu'on peut attendre d'eux — du moins, comme il a soin de l'ajouter, « avec les moyens actuellement connus, dans les conditions actuellement données, d'après l'état actuel de nos connaissances théoriques (*) ». En effet, même en se servant de l'éclairage oblique, Czapski trouve que l'on ne pourra guère pousser le pouvoir de « résolution » de nos microscopes au delà d'éléments qui aient une largeur de $0^{\mu},10$ à $0^{\mu},13$; et il est intéressant de constater que les plus petits organismes observés jusqu'ici sont précisément de cet ordre de grandeur. Un microbe pathogène pour le Lapin, étudié par Koch (*Micrococcus der progressiven Abscessbildung bei Kaninchen* Flügge — *Micrococcus progrediens* Schröter), ne mesure que $0^{\mu},15$ de diamètre, et une Bactérie colorée, trouvée par Voges dans l'eau (*Pseudomonas indigofera* Migula (**)), n'aurait qu'une largeur de $0^{\mu},06$ sur une longueur de $0^{\mu},18$. Mentionnons

(*) S. CZAPSKI, *Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops*. (BIOLOG. CENTRALBL., 1^{er} novembre 1891, p. 611.)

(**) MIGULA. *Syst. der Bakt.*, II, 1900, pp. 192 et 950. — Une liste de Bactéries rangées suivant leurs dimensions vient d'être commencée par AL. RAMSAY, *The Scientific Roll*, Londres, novembre 1902, p. 174. Elle peut rendre des services; malheureusement, l'auteur y fait preuve de peu d'esprit critique.

encore, en dehors des Bactéries, le *Micromonas Mesnili* de Borrel, que celui-ci rapproche des Flagellates et qui a seulement 0^m,25 de large sur 3-4^m de long (*).

D'après tout cela, il semble que la recherche optique des « microbes invisibles » n'ait quelque chance d'aboutir dans un avenir prochain que par l'une des trois méthodes que voici. D'abord, par des procédés convenables de fixation et de coloration : leur utilité n'a plus besoin aujourd'hui d'être démontrée ; elle apparaît avec évidence lorsqu'il s'agit d'éléments si petits et dont l'indice de réfraction se confond à peu près avec celui du milieu ambiant. Des tentatives dans cette voie seraient d'autant plus justifiées que certaines méthodes de coloration (par exemple celle de Löffler) ont la propriété de dilater en quelque sorte le corps des microbes. En second lieu, suivant une suggestion de Czapski, il faudrait essayer d'un éclairage monochromatique, bleu. Enfin, il y aurait lieu de recourir à la microphotographie, en faisant usage d'objectifs apochromatiques et d'un éclairage par des rayons très réfrangibles : pour l'infiniment petit comme pour l'infiniment lointain, la plaque sensible, grâce à sa faculté d'emmagasiner les radiations et surtout celles dont les longueurs d'onde sont le plus courtes, peut très bien fixer les images trop ténues pour impressionner notre œil.

Mais la flore ultra-microscopique dont nous commençons à soupçonner la richesse conduit à envisager encore un autre problème : j'ai l'occasion de le traiter depuis assez long-

(*) A. BORREL, *Comptes rendus de la Société de Biologie*, Paris. Séance du 18 janvier 1902.

temps dans mes cours et je voudrais me permettre de le signaler ici.

Y a-t-il des organismes qui soient extrêmement petits en comparaison des microbes ordinaires, de même que ceux-ci sont extrêmement petits par rapport aux grands animaux et aux grandes plantes? Si l'on considère une Bactérie usuelle de la putréfaction — de l'ancien groupe *Bacterium termo* de Cohn, par exemple — mesurant 1^m.5 à 2^m de long, on voit que ses dimensions linéaires sont *un million de fois* moindres que celles de l'homme et *cent millions de fois* moindres que celles des arbres les plus élevés (certains *Sequoia* de la Californie et certains *Eucalyptus* de l'Australie atteignent environ 150 mètres de hauteur). A première vue, rien ne semble s'opposer à ce qu'il existe aussi des êtres vivants un million de fois, ou au moins cent mille fois, ou au moins mille fois plus petits que les Bactéries aujourd'hui connues. C'est là cependant ce qu'il importe d'examiner de plus près.

La physique et la chimie mènent, on le sait, à cette idée, que la matière a une structure discontinue, qu'elle est formée de parties très petites, mais non pas infiniment petites, les molécules, constituées elles-mêmes par la réunion d'un certain nombre d'atomes. *Si l'on admet cette hypothèse*, il en découle immédiatement que les êtres vivants, même les plus simples, qui sont des agrégats de molécules complexes et diverses, ne peuvent descendre au-dessous de certaines dimensions minimales : essayons de les déterminer.

Depuis Loschmidt, auquel sont dues les premières estimations, on s'est efforcé d'arriver, par des voies multiples, à des données sur la grandeur absolue et le poids des molécules;

et, chose remarquable, malgré la diversité des raisonnements sur lesquels on s'est fondé, les résultats concordent d'une manière satisfaisante, c'est-à-dire que tous indiquent un même ordre de grandeur : celui des dix-millionièmes de millimètre (ou, si l'on nous permet ce néologisme, des décimillimicrons) pour le diamètre des molécules gazeuses, et des millièmes de millièmième de millièmième de millièmième de milligramme, pour leur poids. Le poids de l'atome d'hydrogène serait, par exemple (*), 8,6 dix-millièmes de millièmième de millièmième de millièmième de milligramme ou $8,6 \times 10^{-22}$ milligr.; par conséquent, le poids de la molécule d'hydrogène :

$$(H_2) = 8,6 \times 2 \times 10^{-22} \text{ milligr.},$$

et celui d'une molécule quelconque ayant le poids moléculaire M :

$$(M) = 8,6 M \times 10^{-22} \text{ milligr.} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Appliquons cette valeur à l'estimation du nombre des

(*) NERNST, *Theoretische Chemie*, 3^{me} édit., 1900, pp. 394-395. — Dans le tableau et les valeurs donnés par cet ouvrage, il y a malheureusement plusieurs erreurs de calcul. Il peut donc être utile d'indiquer ici les chiffres rectifiés.

Si l'on représente par L la longueur moyenne du chemin que parcourt une molécule gazeuse, par x la fraction du volume total du gaz, dans les conditions normales de température et de pression, qui est réellement occupée par ses molécules, et par N le nombre de molécules contenues à 0° et à la pression atmosphérique dans un millimètre cube du gaz considéré, on a, d'après la théorie cinétique des gaz :

$$N = \frac{1}{72 \sqrt{2\pi} L^3 x^2} = \frac{1}{319,7 L^3 x^2}$$

atomes d'un élément nécessaire, mais peu abondant, qui existe dans les plus petits microbes mesurés jusqu'ici (*).

Voici maintenant les valeurs de L et de x indiquées par Nernst pour quelques gaz, et les produits L^3x^2 rectifiés :

	$L \times 10^6$	$x \times 10^5$	$L^3x^2 \times 10^{20}$
Protoxyde d'azote N_2O	68	48	7,2
Anhydride carbonique CO_2	68	50	7,9
Éthylène C_2H_4	58	56	6,1
Chlorure d'éthyle C_2H_5Cl	37	97	4,8
Anhydride sulfureux SO_2	48	62	4,2
MOYENNE			$6,0 \times 10^{-20}$

D'après cela, le nombre des molécules contenues dans le millimètre cube d'un gaz à 0° et 760 millimètres de pression :

$$N = \frac{1}{319,7 \times 6} 10^{20} = 5,21 \times 10^{16}.$$

Comme 1 millimètre cube d'hydrogène pèse, dans les conditions données, $0,00009$, l'atome d'hydrogène pèse :

$$(H) = \frac{0,00009}{2N} = 8,6 \times 10^{-22} \text{ milligr.}$$

(*) MAXWELL (cité dans LEHMANN, *Molekularphysik*, Bd II, 1889, p. 531) a déjà fait des calculs relatifs au nombre des molécules qui composent les plus petits microbes, et EDM. PERRIER (*Les Colonies animales*, 1881, p. 43) a cherché à établir que nous pouvons voir dans nos microscopes des objets de l'ordre de grandeur des molécules des substances albuminoïdes. Mais le raisonnement de ce dernier est fondé sur la supposition inexacte que les images microscopiques se forment par voie purement dioptrique, au lieu qu'elles sont, en grande partie, d'origine interférentielle.

On sait que les Bactéries sont constituées par environ 85 % d'eau et 15 % de substance sèche (*). La substance sèche des végétaux renferme d'ordinaire (**) $\frac{24}{10000}$ de SO_3 , ce qui fait environ $\frac{1}{1000}$ de soufre. En admettant la même proportion pour les Bactéries (non sulfuraires), on ne saurait s'éloigner beaucoup de la vérité; nos Bactéries contiendraient donc

$$\frac{1}{1000} \cdot \frac{15}{100} = 15 \times 10^{-5} \dots \dots \dots (2)$$

de soufre, par rapport à leur poids total.

D'autre part, d'après l'équation (1), l'atome de soufre pèse :

$$8,6 \times 32 \times 10^{-22} \text{ milligr.} = 275 \times 10^{-22} \text{ milligr.}$$

Or le *Micrococcus progreiens*, dont il a été question plus haut, ne mesure que $0^{\mu}.15$ de diamètre, soit un volume de $\frac{1}{6} \pi (0^{\mu}.15)^3 =$ environ $18 \times 10^{-4} \mu^3$; et (en lui supposant la densité de l'eau, ce qui est très près de la vérité) un poids de :

$$18 \times 10^{-4} \times 10^{-9} \text{ milligr.} = 18 \times 10^{-13} \text{ milligr.} \dots (3)$$

De cette faible masse, le soufre représente, en vertu de l'égalité (2), les $\frac{15}{100000}$, soit :

$$15 \times 10^{-5} \times 18 \times 10^{-13} = 27 \times 10^{-17} \text{ milligr.}$$

Divisant par le poids d'un atome de soufre obtenu ci-dessus, on a :

$$27 \times 10^{-17} : 275 \times 10^{-22} = \text{environ } 10000.$$

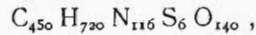
(*) Cf. A. FISCHER, *Vorlesungen über Bakterien*, 1897, p. 50.

(**) ERRERA, *Sommaire du cours de Botanique*, 1898, p. 106.

Le *Micrococcus progrediens* contiendrait donc environ dix mille atomes de soufre.

On arrive à un résultat du même ordre en envisageant le nombre des molécules albuminoïdes qu'un tel microbe peut renfermer.

F. Hofmeister (1898) attribue à l'albumine cristallisée du sérum sanguin la formule moléculaire



ce qui répond à un poids moléculaire de 10 166 (*).

Une telle molécule pèse, en vertu de (1) :

$$8,6 \times 10166 \times 10^{-22} = 8,7 \times 10^{-18} \text{ milligr.};$$

et les autres albuminoïdes, non cristallisés, ont, sans doute, des molécules plus grosses encore.

Les Bactéries analysées par Nencki renferment environ 14 % d'albuminoïdes (*) par rapport à leur poids total, ce qui, suivant (3), représente un poids de :

$$\frac{14}{100} \times 18 \times 10^{-13} = 2,5 \times 10^{-13} \text{ milligr.}$$

Divisant ce poids par celui que nous venons de trouver comme minimum pour une molécule albuminoïde, nous obtenons :

$$2,5 \times 10^{-13} : 8,7 \times 10^{-18} = 2,9 \times 10^4;$$

(*) O. COHNHEIM, *Chemie der Eiweisskörper*, Brunswick, 1900, p. 18.

c'est-à-dire que notre *Micrococcus* contient moins, et probablement bien moins, que 30 000 molécules albuminoïdes.

Les deux calculs donnent donc, d'une façon concordante, un *maximum* de quelques dizaines de mille molécules d'albuminoïdes dans le protoplasme des plus petits *Micrococcus* observés.

Et, comme les volumes des organismes semblables sont proportionnels aux cubes de leurs dimensions linéaires, on trouverait de même qu'un *Micrococcus* de $0^{\mu},1$ de diamètre renferme, au maximum, 10 000 molécules de substance albuminoïde et 3000 atomes de soufre; un *Micrococcus* de $0^{\mu},05$ ne renfermerait qu'un millier de molécules albuminoïdes et quelques centaines d'atomes de soufre; enfin un *Micrococcus* de $0^{\mu},01$ (soit un quinzième du diamètre du *Micrococcus progreadiens*) n'aurait plus qu'une dizaine de molécules albuminoïdes et trois atomes de soufre.

Il faut en conclure, avec un degré de probabilité qui est du même ordre que la probabilité de la théorie moléculaire de la matière, qu'il ne saurait exister des organismes qui soient aux Bactéries ordinaires ce que celles-ci sont aux organismes supérieurs, c'est-à-dire d'une taille un million de fois moindre et, par conséquent, d'un poids un million de millions de millions de fois plus faible. Bien mieux : l'existence de microbes quelques centaines de fois plus petits que ceux que nous connaissons serait déjà une impossibilité.

Les « microbes invisibles » dont nous avons parlé au début de cette étude ne sont donc, très probablement, qu'un peu plus petits que les plus petits des microbes visibles.

(⁶) Cf. A. FISCHER, *Op. cit.*, p. 50.

Une douzaine seulement de corps simples diversement combinés et une soixantaine de degrés centigrades comme écarts extrêmes de température, telles sont, on le sait, les bornes étroites entre lesquelles se déroule tout le magnifique spectacle de la vie. On vient de voir que la petitesse des organismes a aussi ses limites, et celles-ci ne sont pas fort éloignées de ce que le microscope nous a déjà permis d'apercevoir.

[P. S. — Après l'impression de la note qu'on vient de lire et qui reproduit, ainsi que je l'ai dit, des remarques exposées depuis bien des années dans mes cours universitaires, j'ai eu connaissance du *Discours présidentiel* sur la structure moléculaire des organismes, prononcé, en septembre 1901, par le professeur Mac Kendrick, de Glasgow, à la Section de Physiologie de l'Association britannique pour l'Avancement des Sciences (*Report British Association* pour 1901, p. 808). Ce discours intéressant m'avait complètement échappé jusqu'ici, et je le regrette. Discutant le passage de Maxwell (v^o « Atom » de l'*Encyclopaedia britannica*, 1875) auquel j'ai fait allusion plus haut (p. 78, note), l'auteur arrive à cette conclusion que les plus petites particules organisées, visibles au microscope, contiennent environ 1250 molécules de matières protéiques. C'est là une estimation assez semblable à la mienne. Si l'on compare les raisonnements et les calculs développés dans la présente communication avec ceux de Mac Kendrick, on verra toutefois aisément que j'aurais diverses objections à faire contre les données sur lesquelles s'appuie le savant physiologiste écossais. Mais il serait oiseux d'y insister, puisque nous sommes dans le domaine des hypothèses et des approximations; et il suffit de constater que, malgré ces divergences, le sens général de nos conclusions est le même.

Février 1903.]

