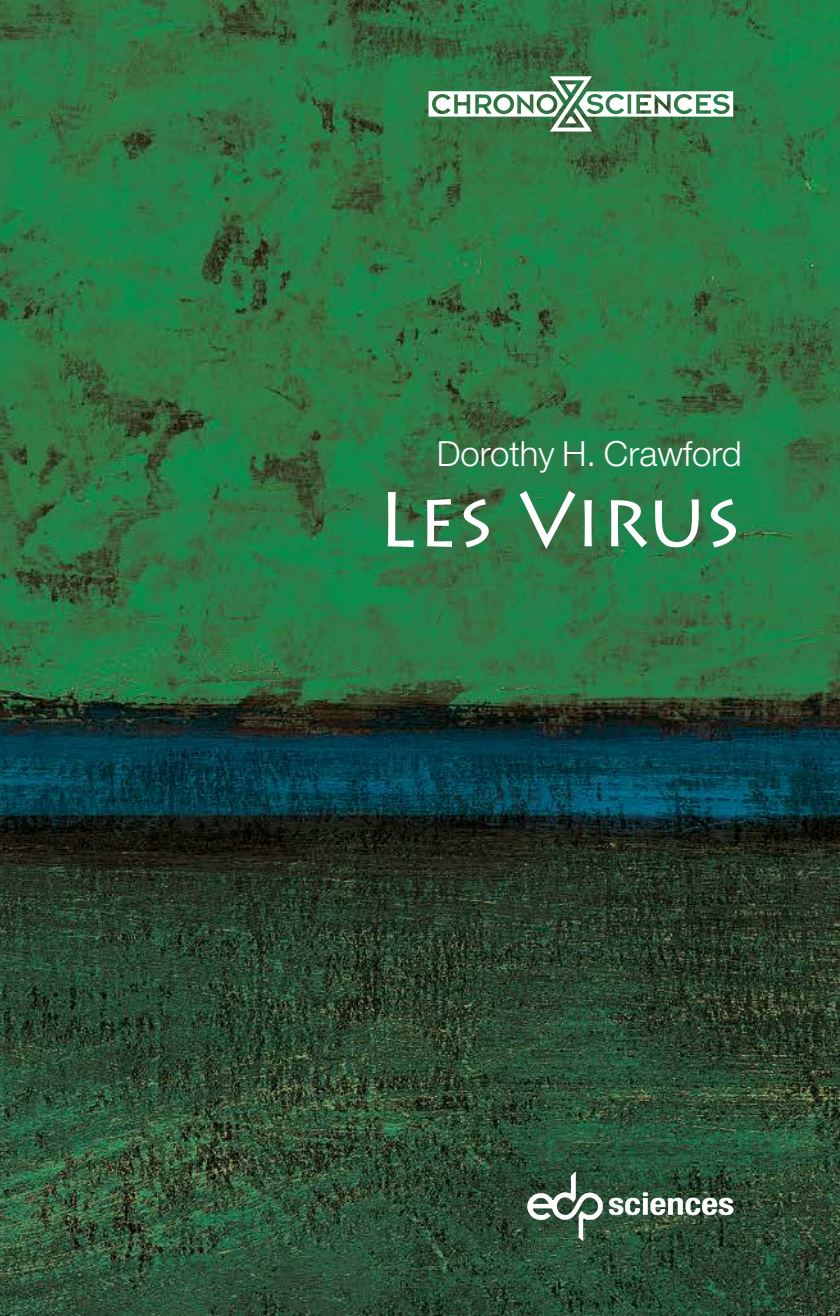
CHRONOSCIENCES

Dorothy H. Crawford

Les Virus



edp sciences

Les virus

CHRONO SCIENCES

Dorothy H. Crawford

Les virus

Traduit de l'anglais par Alan Rodney

edp sciences

ChronoSciences

Collection destinée à un large public qui invite le lecteur à découvrir de façon très complète mais de manière abordable un sujet ou une thématique précise.

« Dans la même collection »

L'Intelligence artificielle, M. A. Boden, 2021
La Théorie quantique, J. Polkinghorne, 2021
Les Marées, D. G. Bowers et E. M. Roberts, 2021
L'Anthropocène, E. C. Ellis, 2021
L'Odorat, M. Cobb, 2021
Le Changement climatique, M. Maslin, 2022
Les Énergies renouvelables, N. Jelley, 2022
L'écologie, J. Ghazoul, 2022
Le temps, Jenann Ismael, 2022
La physique, Sidney Perkowitz, 2022
La théorie des nombres, Robin Wilson, 2023
Les ondes, Mike Goldsmith, 2023
Les insectes, Simon Leather, 2023

Viruses – 3rd edn: A Very Short Introduction was originally published in English in 2022. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.
© Dorothy H. Crawford 2011, 2018, 2022
© Pour la traduction française, EDP sciences 2023

Composition et mise en page : Desk (www.desk53.com.fr)

Imprimé en France

Papier : 978-2-7598-3054-1
E-book : 978-2-7598-3055-8

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Table des matières

Remerciements 7

1. C'est quoi un virus ? 8

2. Tuer ou être tué, voilà la question 28

3. Les infections virales émergentes : transmission par les vertébrés 43

4. Les infections virales émergentes : transmission par les arthropodes 60

5. Infections virales émergentes : les coronavirus 75

6. Transmission et éradication d'un virus 94

7. Virus persistants 112

8. Virus tumoraux 133

9. Virus passés et à venir 153

Glossaire 160

Lectures supplémentaires 166

Remerciements de l'éditeur 169

Index 170

Remerciements

Je remercie sincèrement le Dr Karen McAulay pour sa révision critique du manuscrit et pour avoir fourni des informations essentielles sur les virus transmis par les arthropodes.

1

C'est quoi un virus ?

The microbe is so very small
You cannot make him out at all,
But many sanguine people hope
To see him through a microscope.
His jointed tongue that lies beneath
A hundred curious rows of teeth;
His seven tufted tails with lots
Of lovely pink and purple spots,
On each of which a pattern stands,
Composed of forty separate bands;
His eyebrows of a tender green;
All these have never yet been seen —
But Scientists, who ought to know,
Assure us that they must be so.
Oh! let us never, never doubt
What nobody is sure about.

"The Microbe" (1896),
Hilaire Belloc

Traduction littérale :

Le microbe est tellement petit / Qu'on peine à le distinguer / Mais nombreux sont les obstinés / Qui espèrent le

> voir, par microscope / Une langue fourchue surmonte / Une centaine de rangées de dents / Il arbore sept queues à plume avec / Plein de points rose et violets / Et sur chacune, quarante bandes nettes / Ses sourcils sont d'un vert tendre / Et rien de tout cela n'a été vu à ce jour / Mais les savants, qui devraient le savoir / Nous assurent qu'ils doivent être ainsi… / Ah ! Ne doutons jamais, au grand jamais / De ce dont personne n'est certain.

Les microbes primitifs existaient et évoluaient déjà sur Terre il y a environ trois milliards d'années, mais ils n'ont été isolés par l'homme qu'à la fin du XIX^e^ siècle, environ 20 ans avant que Hilaire Belloc n'écrive son poème « Le Microbe ».

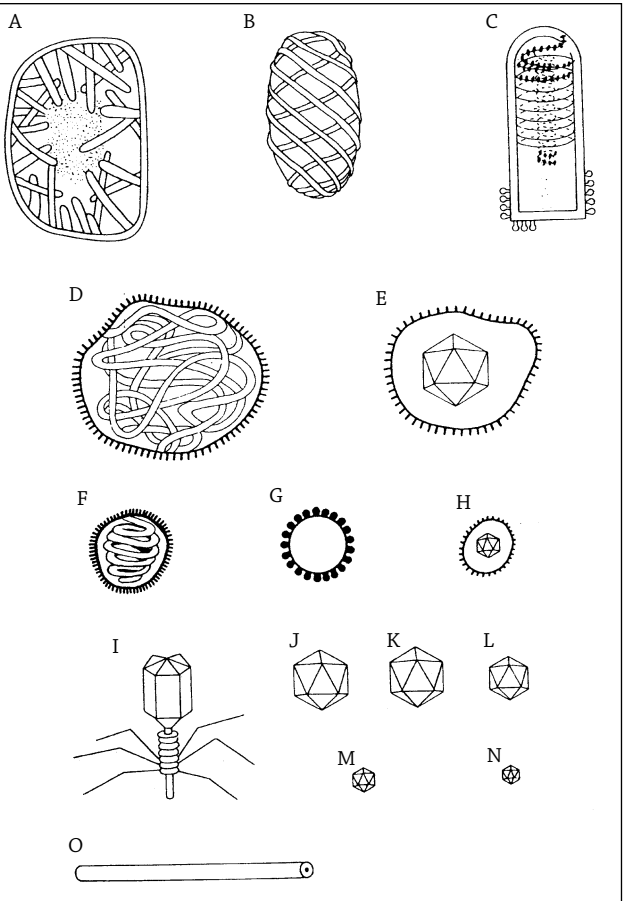
Écrit pour amuser, le poème reflète néanmoins le scepticisme de l'époque. Il a dû falloir une énorme dose de foi pour que les gens Les gens de l'époque dont dû faire preuve d'une grande ouverture d'esprit pour admettre que de minuscules organismes vivants étaient responsables de maladies jusqu'alors attribuées à la volonté des dieux, à l'alignement des planètes ou aux miasmes émanant des marécages et de la décomposition des matières organiques. Bien sûr, cette prise de conscience ne s'est pas faite du jour au lendemain ; à mesure que l'on identifiait de plus en plus de microbes, la « théorie des germes » s'est imposée et, au début du XX^e^ siècle même les milieux non scientifiques ont fini par admettre que les microbes pouvaient être à l'origine de maladies.

Les développements techniques des microscopes réalisés par le fabricant de lentilles néerlandais Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) au XVII^e^ siècle ont été déterminantes pour ce bond en avant dans notre compréhension. Il a été le premier à observer les microbes, mais ce n'est qu'au milieu du XIX^e^ siècle que Louis Pasteur (1822-1895), à Paris, et Robert Koch (1843-1910), à Berlin, ont établi que les germes étaient la cause de maladies infectieuses.

Koch a découvert la première bactérie, *Bacillus anthracis*[1], en 1876, et bientôt les microbes responsables de maladies redoutées comme le charbon, la tuberculose, le choléra, la diphtérie, le tétanos et la syphilis ont été identifiés et caractérisés. Toutes ces maladies étaient causées par des bactéries, mais il restait un groupe de maladies infectieuses pour lesquelles on ne pouvait pas trouver d'organismes responsables, telles que la variole, la rougeole, les oreillons, la rubéole et la grippe. Ces microbes étaient manifestement très petits, et passaient à travers les filtres capturant les bactéries ; ils ont donc été appelés « agents filtrables ». À l'époque, la plupart des scientifiques pensaient qu'il ne s'agissait que de minuscules bactéries. Ce n'est qu'avec l'invention du microscope électronique en 1939, capable de grossir plus de 100 000 fois, que les virus ont été observés pour la première fois et que leur structure a été déterminée, démontrant qu'ils constituaient ainsi une classe unique de microbes.

Les virus ne sont pas des cellules mais des particules. Ils sont constitués d'une enveloppe protéique, la « capside », qui entoure et protège une partie du matériel génétique. L'ensemble de la structure s'appelle un « virion ». Les capsides sont de formes et de tailles différentes, selon la famille à laquelle appartient le virus. Elles sont constituées de sous-unités protéiques appelées « capsomères » et la disposition de celles-ci autour du matériel génétique central détermine la forme du virion. Par exemple, les virus de la variole ont la forme d'une brique de construction, les virus de l'herpès sont icosaédriques (polygones à 20 côtés), le virus de la rage prend la forme d'une balle et le virus de la mosaïque du tabac est long et fin comme une tige (voir la figure 1).

1. *Bacillus anthracis*, ou bacille du charbon, est l'agent responsable de l'anthrax.



A Orthopoxvirus
B Parapoxvirus
C Rhabdovirus
D Paramyxovirus
E Herpèsvirus
F Orthomyxovirus
G Coronavirus
H Togavirus
I Coliphage de type T
J Adénovirus
K Réovirus
L Papovavirus
M Picornavirus
N Parvovirus
O Virus mosaïque du tabac

Fig. 1 La structure des virus.

Certains virus possèdent une couche extérieure entourant la capside, appelée « enveloppe », qui se forme en bourgeonnant à travers la membrane de la surface cellulaire.

La plupart des virus sont trop petits pour être vus au microscope optique. En général, leur taille varie de 20 à 300 nanomètres (nm) de diamètre (1 nm est un millième de millionième de mètre) (voir la figure 2).

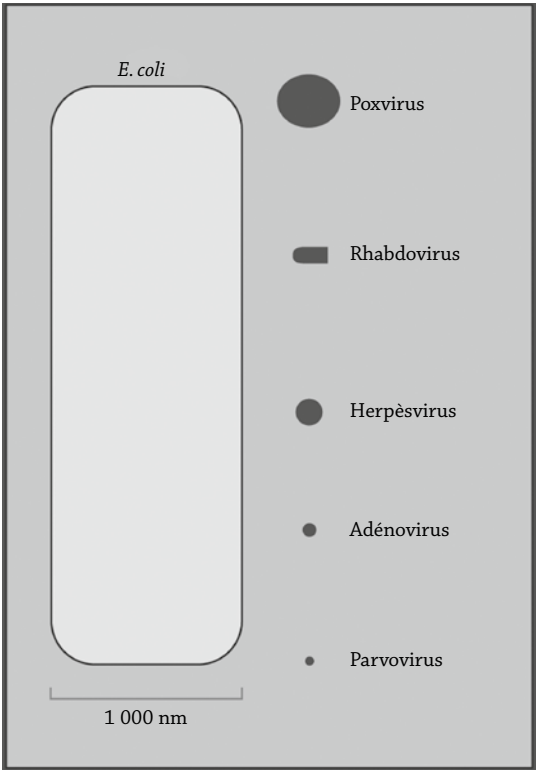


Fig. 2 Comparatif des tailles d'une bactérie typique et de plusieurs virus représentatifs.

Toutefois, le type de virus dits « géants » constitue une exception. Le « mimivirus » (abréviation de *microbe-mimicking virus* en anglais) a été le premier découvert, en 1992, et mesure 600 nm, soit plus que certaines bactéries.

À l'intérieur de la capside du virus se trouve le matériel génétique, ou génome, qui est soit de l'ARN, soit de l'ADN, selon le type de virus (voir la figure 3). Le génome contient les gènes du virus, qui portent le code permettant de fabriquer de nouveaux virus, et transmet leurs caractéristiques héréditaires à la génération suivante. Les virus possèdent généralement entre 4 et 200 gènes, mais là encore, les virus géants sont inhabituels car ils en ont entre 600 et 1 000, soit plus que de nombreuses bactéries.

Dès lors que l'on avait compris que les virus étaient porteurs soit d'ADN soit d'ARN, mais jamais les deux simultanément, un système de classification a été défini sur la base des critères suivants pour répartir les virus en familles, genres et espèces :

- le type d'acide nucléique (ADN ou ARN) ;
- la forme de la capside du virus ;
- le diamètre de la capside et/ou le nombre de capsomères ;
- la présence ou non d'une enveloppe virale.

Depuis le début des années 1980, lorsque le premier génome de virus a été entièrement cartographié, le séquençage du génome est devenu une technique éprouvée permettant de fournir des informations précieuses pour la classification des virus. En effet, grâce aux méthodes de plus en plus sophistiquées utilisées pour la découverte des virus, nombre d'entre eux sont désormais identifiés bien avant que leur structure physique réelle ne soit observée. Dans ces cas-là, la structure moléculaire de l'ADN ou de l'ARN est comparée à celle d'autres virus connus afin de classer le nouveau virus dans une famille.

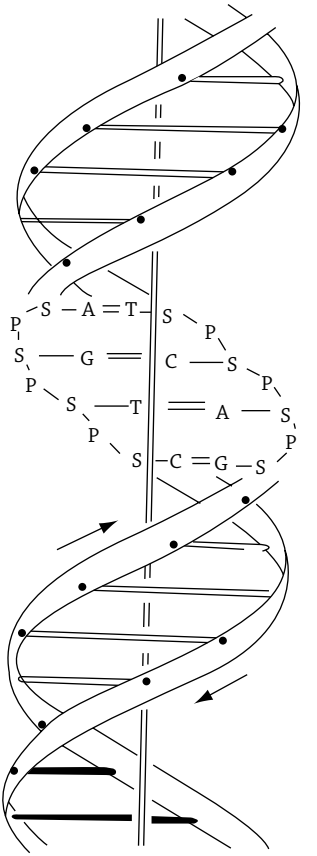


Fig. 3 Structure de l'ADN, avec les deux brins complémentaires qui forment l'hélice. L'épine dorsale de chaque brin est composée de molécules du sucre désoxyribose (S) liées entre elles par des molécules de phosphate (P). Chaque sucre est relié à une molécule de nucléotide, qui constitue les « lettres » de l'alphabet génétique. Ce sont l'adénine (A), la guanine (G), la cytosine (C) et la thymine (T). La structure de l'ARN est similaire à celle de l'ADN, mais ses nucléotides sont l'adénine, la guanine, la cytosine et l'uracile ALAN complète, pour être cohérent [U].

Les cellules des organismes vivants, y compris les bactéries, contiennent une variété d'organites essentiels à la vie : les ribosomes qui fabriquent les protéines, les mitochondries ou d'autres structures qui produisent de l'énergie, et des membranes complexes permettant aux molécules de traverser la paroi cellulaire vers l'intérieur de la cellule. Les virus – qui ne sont pas, rappelons-le, des cellules – ne possèdent aucun de ces éléments et sont donc inertes jusqu'à ce qu'ils infectent une cellule vivante. Une fois à l'intérieur, ils détournent les organelles de la cellule et utilisent ce dont ils ont besoin pour achever leurs cycles de vie, tuant souvent la cellule au passage. C'est pourquoi on les appelle des parasites obligatoires. Même le « mimivirus », qui infecte les amibes, doit utiliser les organelles de l'amibe pour fabriquer ses protéines afin d'assembler de nouveaux mimivirus.

Les virus des plantes pénètrent dans les cellules par une brèche dans la paroi cellulaire ou sont injectés par des insectes vecteurs, suceurs de sève, comme les pucerons. Ils se propagent ensuite très efficacement de cellule en cellule *via* les plasmodesmes, des pores qui acheminent les molécules entre les cellules. En revanche, les virus animaux infectent les cellules en se liant à des molécules réceptrices spécifiques de la surface cellulaire. Le récepteur cellulaire est comme une serrure, et seuls les virus qui possèdent la bonne clé de liaison au récepteur peuvent l'ouvrir et pénétrer dans cette cellule particulière. Les molécules réceptrices diffèrent d'un type de virus à l'autre, et si certaines sont présentes sur de nombreux types de cellules, d'autres ont une distribution beaucoup plus restreinte. Deux virus pandémiques illustrent ces cas : le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), à l'origine du syndrome d'immunodéficience acquise (sida), et le syndrome respiratoire aigu sévère, coronavirus-2 (SARS-CoV-2), à l'origine du Covid-19. Le récepteur cellulaire du VIH est la molécule CD4, principalement exprimée sur les

cellules immunitaires appelées cellules T auxiliaires. Cette interaction spécifique définit l'effet de l'infection par le VIH, puisqu'elle entraîne la destruction des cellules T CD4-positives, essentielles à la réponse immunitaire. Sans traitement antiviral, le système immunitaire finit par s'effondrer et des infections opportunistes mortelles s'ensuivent. En revanche, le récepteur cellulaire du SARS-CoV-2, l'ACE-2 (enzyme de conversion de l'angiotensine-2), est largement exprimé dans l'organisme, en particulier sur les cellules des voies respiratoires, des vaisseaux sanguins, du cœur et des reins, et cette distribution détermine les manifestations du Covid-19 grave (voir le chapitre 5).

Une fois qu'un virus s'est lié à son récepteur cellulaire, la capside pénètre dans la cellule et son génome (ADN ou ARN) est libéré dans le cytoplasme cellulaire. Le principal « objectif » d'un virus est de se reproduire, et pour ce faire, son matériel génétique doit « télécharger » les informations qu'il transporte. La plupart du temps, cela se passe dans le noyau de la cellule, où le virus peut accéder aux molécules dont il a besoin pour fabriquer ses propres protéines. Certains grands virus, comme le virus de la variole, portent les gènes des enzymes dont ils ont besoin pour fabriquer leurs protéines ; ils sont donc plus autonomes et peuvent accomplir l'ensemble du cycle de vie dans le cytoplasme.

À l'intérieur d'une cellule donnée, les virus à ADN se font simplement passer pour des morceaux d'ADN cellulaire, et leurs gènes sont transcrits et traduits en utilisant toute les mécanismes de la cellule dont ils ont besoin. Le code ADN viral est transcrit en messages ARN (transcription) qui sont lus et traduits en protéines virales individuelles (traduction) par les ribosomes de la cellule.

Les différents composants du virus sont ensuite assemblés en des milliers de nouveaux virus qui sont souvent si