

Sources, ressources et commentaires du diaporama complet « virus et chauves-souris » Fabien Darne – Avril 2020

Diapo 1

- *Rhinolophus affinis* – Un coronavirus isolé de la chauve-souris est le plus proche génétiquement de Sars-CoV-2 (sous-genre Sarbecovirus), l'agent étiologique du Covid-19. Photo Alexandre Hassanin, cf. article dans The conversation.
- Représentation artistique du virus de la grippe (encore appelé influenza virus ou *Myxovirus influenzae*), un virus ARN de la famille des Orthomyxoviridae, morphologiquement assez proche du Sars-CoV-2.
- Nota Bene : les représentations schématiques ou artistiques des virus ne cherchent pas à être « réalistes », elles visent plutôt, pour des objectifs pédagogiques ou esthétiques, à mettre en avant des particularités morphologiques et biochimiques : exagération des glycoprotéines de surface (« spicules »), fausses couleurs, vue en 3D...

Diapo 3

Cette approche très « causale », à l'image du principal paradigme de la médecine occidentale, le **modèle ontologique**, c'est-à-dire la maladie considérée comme entité ennemie (Laplantine, 1986) ne peut suffire à appréhender la complexité des interactions au sein du vivant.

F. Laplantine, *Anthropologie de la maladie*, Payot, Paris, 1986, 2^e édition 1992, 411 p.

Modèle ontologique, la maladie comme « être », comme entité ennemie. A partir de la médecine hippocratique qui tente de rompre avec la pensée spéculative en portant son attention aux symptômes du corps, qui obtient une formulation systématique avec le dualisme cartésien de séparation du corps et de l'esprit. (On passe de la métaphysique à la physique) :

- Médecine des espèces (essentialiste), entités morbides, modèle épistémologique : botanique. Cadre de référence : la biologie, esprit naturaliste, nosologie classificatoire.
- Médecine des lésions : anatomisme et anatomopathologie, lésions, altération fonctionnelle, expression symptomatique qui correspond forcément à une altération organique.
- Médecine des spécificités : spécifisme étiologique (il y a toujours une cause précise) avec les progrès de la bactériologie (Pasteur, etc.), cette représentation appréhende la maladie selon les catégories de l'entrée et de la sortie.

Avantage : maladie isolable, procède d'une objectivation rassurante, au détriment de la prise en compte des dispositions personnelles et de l'individualisation du traitement.

Diapo 5

Vue d'artiste de l'éon Hadéen, la Terre primitive. © WC/T. Bertelink/CC BY-SA 4.0

L'Hadéen est le premier éon de l'histoire de la Terre. Il commence avec la formation de la Terre il y a environ 4,6 milliards d'années (Ga) pour se terminer autour de -4 Ga, et dure donc approximativement 600 millions d'années (Ma). L'Hadéen, division la plus ancienne des temps géologiques, forme avec l'Archéen et le Protérozoïque (les deux éons suivants) le Précambrien.

L'éon est l'intervalle de temps géochronologique correspondant à la plus grande subdivision chronostratigraphique de l'échelle des temps géologiques, l'éonothème.

Les quatre éons terrestres sont les suivants, du plus ancien au plus récent :

- Hadéen (de - 4,6 à - 4 milliards d'années),
- Archéen (de - 4 à - 2,5 milliards d'années),
- Protérozoïque (de - 2,5 à - 0,541 milliards d'années),
- Phanérozoïque (depuis l'explosion biologique cambrienne il y a 541 millions d'années, jusqu'à nos jours).

Diapo 6, 7, 8, 9

- Source : **Les origines de la vie**, Le journal du CNRS, 03.04.2018

Diapo 10

- Jean GAYON, « **ESPÈCE, biologie** », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 7 avril 2020. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/espece-biologie/>
- Ill. : **Les pinsons de Darwin** (connus aussi sous le nom de pinsons des Galápagos) sont 13 ou 14 espèces mais apparentées dont Charles Darwin a recueilli des spécimens en recensant la faune sur les îles Galápagos durant son voyage sur l'HMS Beagle. Treize espèces résident sur les îles Galápagos et une sur les îles Cocos. Ces oiseaux sont tous de la même taille : de 10 à 20 cm. Les plus importantes différences entre ces espèces se trouvent dans la taille et la forme du bec. Ces variations s'expliquent par les pratiques alimentaires propres à chaque espèce. Les oiseaux sont tous bruns ou noirs. Leurs comportements sont différents, tout comme leurs chants.

Diapo 11

- Jean GAYON, « **ESPÈCE, biologie** », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 7 avril 2020. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/espece-biologie/>
 - Le **nominalisme** est une doctrine philosophique qui considère que les concepts sont des constructions humaines et que les noms qui s'y rapportent ne sont que conventions de langage.
 - Le **réalisme** désigne la position qui affirme l'existence d'une réalité extérieure indépendante de notre esprit. Le réalisme affirme à la fois l'existence et l'indépendance du monde.
 - L'opposition entre réalisme et nominalisme remonte à celle entre **Platon** et **Aristote**. La scolastique médiévale reprendra ce débat lors de la célèbre *querelle des universaux*.
- Pascal Tassy, Nommer le vivant, le classer, et puis s'émerveiller, *The conversation*, 24 juillet 2019. En ligne : <https://theconversation.com/nommer-le-vivant-le-classer-et-puis-semerveiller-120126>

Diapo 12, 13

- Jean GAYON, « **ESPÈCE, biologie** », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 7 avril 2020. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/espece-biologie/>

Diapo 14

- Jean GAYON, « **ESPÈCE, biologie** », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 7 avril 2020. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/espece-biologie/>
- P. Lherminier, M. Solignac, *De l'espèce*, Syllepse, Paris, 2005.

Diapo 15

- Pascal Tassy, Nommer le vivant, le classer, et puis s'émerveiller, *The conversation*, 24 juillet 2019. En ligne : <https://theconversation.com/nommer-le-vivant-le-classer-et-puis-semerveiller-120126>

Diapo 16

- **Mais pourquoi chauves ?** On a beau les regarder de tous les côtés et de dessus, aucune trace de calvitie ! Il semble que ce soit plutôt les linguistes qui aient la réponse... Les Gaulois (vers le ve siècle après J.C.) désignaient l'animal comme une chouette (qui vole la nuit) souris (on a vu les similitudes de premier abord) et donc en bas latin populaire *cava sorix*. Pour les Romains, *cava sorix* ne voulait rien dire alors que *calva sorix* voulait dire « **souris chauve** ». C'est donc par déformation et altération de *cava* en *calva* que *cava sorix* est devenu *calva sorix* et avec elle la « chouette-souris » est devenue la chauve-souris.
- (VIIIe siècle) (Gloses de Reichenau) Du bas latin *calvas sorices* (pluriel), altération sous l'influence de *calvus* (« chauve »), du bas latin *cava sorex*, formé de **cava* (« chouette », voir *cavannus*) et *sorex* (« souris »), littéralement « chouette-souris ». Le mot a éliminé le classique *vespertilio* en Gaule du Nord. En savoir plus sur <https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition-chauve-souris/>
- Orig. discutée. Prob. composé de *chauve** et de *souris** (*REW*³, n°8101; *FEW* t. 12, p. 114; cf. *calves sorices* viii^es., Klein-Labhardt, I, p. 196, 1640), bien que cette hyp. fasse difficulté du point de vue sém.; le wallon *chawe-sori* (Grandg.) et *cauwesoris* (fin xiii^es. *Sone ds Gdf. Compl.*) est prob. formé à partir de *cawa* (*chouette**) *sōrice* peut-être sur le modèle de *chauve souris*, les 2 types s'étant ultérieurement rencontrés, cf. *chauve* « choucas », *Gloss. Abavus*, éd. Roques, 5401; il est d'autre part peu probable que *calves sorices* soit dès le viii^es. une altération du type **cawa sorice* (Dauzat ds *Fr. mod.*, t. 19, 1951,

pp. 23-24; v. aussi Séguy, *ibid.*, t. 18, 1950, pp. 273-276). (CNRTL : <https://www.cnrtl.fr/definition/chauve-souris>)

- 1544 *Vespertilion ou Chauvesouris* (M. Scève, *Délie*, éd. E. Parturier, p. 308, XLII)

François Prud'homme, *Les chauves-souris ont-elles peur de la lumière ? 100 clés pour comprendre les chauves-souris* de, éditions Quæ.

Diapo 18

Source : sur la plateforme ACCES de l'ENS : Classification phylogénétique des métazoaires, **Gabriel Markov** : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/biodiversite/enseignement-de-la-biodiversite/mises-au-point/classification-des-metazoaires>

Diapo 19

À l'origine proposé par Carl Woese (1990), enrichi par Guillaume Lecointre & Hervé Le Guyader (2006), puis par Purificación López-García & David Moreira (2008 : Tracking microbial biodiversity through molecular and genomic ecology, in : Research in Microbiology, Vol.159, No.1, January-February 2008, p.67–73, cf. doi:10.1016/j.resmic.2007.11.019), et montrant l'histoire évolutive basée sur les caractères génétiques et l'analyse cladistique des trois domaines du vivant (bactéries, archées et eucaryotes).

Et pour celles et ceux qui veulent s'amuser à naviguer dans cet arbre phylogénétique, je vous invite à consulter l'excellent et magnifique : <http://lifemap.univ-lyon1.fr/>

Diapo 20

Gabriel Markov, Classification phylogénétique des métazoaires, sur la plateforme ACCES de l'ENS : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/biodiversite/enseignement-de-la-biodiversite/mises-au-point/classification-des-metazoaires>

Complete [NCBI taxonomy](#), The [NCBI taxonomic tree](#) represents the relationships between all species/strains that have at least one sequence in the NCBI/Entrez database. It is curated and validated by expert taxonomists and is updated regularly.

Diapo 21

Les chauves-souris roussettes paillées africaines (*Eidolon helvum*) seraient un « réservoir » du virus Ebola. © Shutterstock.com/Ivan Kuzmin

Diapo 22

- Société française pour l'étude et la protection des mammifères : <https://www.sfepm.org/presentation-des-chauves-souris.html>

Diapo 23

Espèces représentées par [Ernst Haeckel](#) — *Kunstformen der Natur* (1904), plate 67 :

Chiroptera : *Plecotus auritus* (Geoffroy) = [Plecotus auritus](#) (Linnaeus, 1758) *Plecotus auritus* (Geoffroy) = *Plecotus auritus* (Linnaeus, 1758), head from front *Nyctophilus australis* (Peters) = [Nyctophilus geoffroyi geoffroyi](#) Leach, 1821, head from front *Megaderma trifolium* (Geoffroy) = [Megaderma spasma trifolium](#) Geoffroy, 1810, head from front *Vampyrus auritus* (Peters) = [Chrotopterus auritus](#) (Peters, 1856), head from the side *Lonchorhina aurita* (Tomes) = [Lonchorhina aurita](#) Tomes, 1863, head from front *Lonchorhina aurita* (Tomes) = *Lonchorhina aurita* Tomes, 1863, head from backside *Natalus stramineus* (Gray) = [Natalus stramineus](#) Gray, 1838, head from front *Mormoops blainvillei* (Peters) = [Mormoops blainvillii](#) Leach, 1821, head from front *Anthops ornatus* (Thomas) = [Anthops ornatus](#) Thomas, 1888, face from front *Phyllostomus hastatum* (Pallas) = [Phyllostomus hastatus](#) (Pallas, 1767), head from front *Furipterus coeruleus* (Tomes) = [Furipterus horrens](#) (F.Cuvier, 1828), head from front *Rhinolophus equinus* (Schreber) = [Rhinolophus ferrumequinum](#) (Schreber, 1774), head from front *Centurio flavicularis* (Peters) = [Centurio senex](#) Gray, 1842, head from front *Vampyrus spectrum* (Geoffroy) = [Vampyrum spectrum](#) (Linnaeus, 1758),

Diapo 24

- Onychonycteris finneyi, l'ancêtre sourd des chauves-souris : <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/paleontologie-onychonycteris-finneyi-ancetre-sourd-chauves-souris-14597/>
- Nancy Simmons, Les chauves-souris, une réussite de l'évolution, *POUR LA SCIENCE* N° 386, 30 novembre 1999.
- Simmons NB, Seymour KL, Habersetzer J, Gunnell GF (2010) Inferring echolocation in ancient bats. *Nature*, 466:E8-E8.
- Veselka N, McErlain DD, Holdsworth DW, Eger JL, Chhem RK, Mason MJ, Brain KL, Faure PA, Fenton MB (2010) A bony connection signals laryngeal echolocation in bats. *Nature*, 463:939-942.

Diapo 25

- Société française pour l'étude et la protection des mammifères : <https://www.sfepm.org/presentation-des-chauves-souris.html>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chiroptera>
- <https://www.universalis.fr/encyclopedie/roussette-chiroptere/>

Communication personnelle de S. Puechmaille : Les Pteropodidae (=mégachiroptères) ont différentes stratégies, certaines espèces utilisent des 'tongue clicks' (ex. les roussettes), d'autres utilisent des 'wing clicks' (Cynopterus, Eonycteris, etc). Cf. Boonman A, Bumrungsri S, Yovel Y (2014) Nonecholocating fruit bats produce biosonar clicks with their wings. *Current Biol*.

Diapo 26

- Six espèces de chauves-souris présentes dans plusieurs provinces du Canada ainsi que la fréquence moyenne et maximum de leurs cris, © Illustrations d'Antonin Saint-Jean, Guide pratique pour la conservation des chauves-souris en milieu agricole.
- Les sonagrammes typiques des huit espèces de chiroptères présentent au Canada, ©GCQ.
- Merci à Dominique Ros et sa sonothèque sur souterweb : http://souterweb.free.fr/chauve_souris/sonotheque/sonotheque.htm
- Je vous invite à voir le magnifique film de Tanguy Stoecklé, *Une vie de Grand Rhinolophe* : <https://www.youtube.com/watch?v=tNpSfanm1io&t=0s>

Diapo 27

- Hervé Ratel, La chauve-souris, mal-aimée mais utile, *Sciences et Avenir* n°872 daté octobre 2019
- Morgane Kergoat, Question de la semaine : pourquoi la baleine boréale peut-elle vivre 200 ans ? *Sciences et Avenir* 07.01.2015. https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/animaux-marins/pourquoi-la-baleine-boreale-peut-vivre-200-ans_19366

Diapo 28

- Nathaniel Herzberg, Pourquoi l'étude de la chauve-souris, toujours aussi mystérieuse, passionne les scientifiques, *Le Monde*, publié le 21 octobre 2019
- Foley et al (Foley NM, Hughes GM, Huang Z, Clarke M, Jebb D, Whelan CV, Petit EJ, Touzalin F, Farcy O, Jones G, Ransome RD, Kacprzyk J, O'Connell MJ, Kerth G, Rebelo H, Rodrigues L, Puechmaille SJ, Teeling EC (2018) Growing old, yet staying young: the role of telomeres in bats' exceptional longevity. *Sci Adv*, 4:eaa0926.)
- Kacprzyk, Joanna & Hughes, Graham & Palsson-McDermott, Eva & Quinn, Susan & Puechmaille, Sebastien & O'Neill, Luke & Teeling, Emma. (2017). A Potent Anti-Inflammatory Response in Bat Macrophages May Be Linked to Extended Longevity and Viral Tolerance. *Acta Chiropterologica*. 19. 219-228. 10.3161/15081109ACC2017.19.2.001.
- Ces merveilles volantes disposent en vérité d'un double dispositif de défense. Une première réponse, inflammatoire, permet d'envoyer une sorte de flux permanent de cytokines qui ciblent dès leur arrivée les intrus. Mais les chercheurs ont constaté qu'au bout d'un moment des interleukines entrent en action « pour tempérer cette inflammation et éviter les effets délétères », précise la biologiste de Dublin.

Précisément ce que les réanimateurs tentent de réaliser actuellement sur les patients. « *Mais les chauves-souris font ça naturellement depuis des millions d'années* », s'émerveille la chercheuse.

- « *Sur le plan métabolique, le vol est plus coûteux que toute forme de locomotion terrestre, souligne Cara Brook, de l'université de Berkeley. Une chauve-souris en vol élèvera son métabolisme de base jusqu'à 15 fois par rapport au repos, contre 7 fois chez un rongeur en pleine course ou 2 à 3 fois chez un humain.* » Elle poursuit : « *Les chauves-souris ont développé des voies de réparation de l'ADN hyperefficaces et d'atténuation du stress oxydatif pour permettre d'abord le vol. Mais ces voies ont ensuite eu des conséquences en cascade sur la longévité des chauves-souris et sur l'immunité antivirale. Les chauves-souris ont une durée de vie extraordinairement longue – la plus longue, rapportée à la taille de tous les mammifères – qui, selon nous, est un sous-produit de ces voies de résilience cellulaire développées pour le vol.* » Extrait de Nathaniel Herzberg, Les secrets de la chauve-souris, « souche à virus » au système immunitaire d'exception, *Le Monde*, Publié le 13 avril 2020. https://www.lemonde.fr/sciences/article/2020/04/13/la-chauve-souris-alliee-ou-ennemie_6036465_1650684.html

Diapo 29

- Jean-François Julien est chargé de recherche CNRS au Muséum d'Histoire Naturelle. Il travaille sur les chauves-souris et nous parle de leur système immunitaire très développé. <https://www.franceculture.fr/emissions/le-journal-des-sciences/le-journal-des-sciences-du-mercredi-12-fevrier-2020>
- Brook CE, Ng M, Boots M, Dobson A, Graham A, Grenfell B, Chandran KC, van Leeuwen A, Accelerated viral dynamics in bat cell lines, with implications for zoonotic emergence, *eLife* 2020;9:e48401. <https://elifesciences.org/articles/48401>
- « *Leur système immunitaire est différent du nôtre, explique Meriadeg Ar Gouilh, du centre hospitalier universitaire de Caen. Il ne cherche pas à éliminer le virus, mais à le maintenir sous un niveau supportable. Il semble moduler l'inflammation plutôt que de l'utiliser à plein, comme nous, au risque de tuer le malade.* » *Le Monde*, 21octobre 2019
- Ar Gouilh M, Puechmaille SJ, Diancourt L, Vandenbergert M, Serra-Cobo J, Lopez Roïg M, Brown P, Moutou F, Caro V, Vabret A, Manuguerra J-C (2018) SARS-CoV related Betacoronavirus and diverse Alphacoronavirus members found in western old-world. *Virology*, 517:88-97.
- Le syndrome de libération de cytokines (cytokine release syndrome, CRS) est une forme de syndrome de réponse inflammatoire systémique qui peut être déclenché par plusieurs facteurs tels les infections. Invoqué pour la grippe espagnole, le SRAS, le COVID19...

Diapo 31

De gauche à droite et de haut en bas :

1. virus de la variole (famille poxviridae, genre orthopoxviridae),
2. virus de la grippe (famille orthomyxoviridae, genre alpha, beta, gamma ou delta influenzae),
3. bactériophage T4 (Famille Myoviridae, Genre T4-like viruses),
4. virus ebola (Famille Filoviridae, Genre Ebolavirus, 5 espèces),
5. poliovirus (Famille Picornaviridae, Genre Enterovirus),
6. herpesvirus (famille Herpesviridae, nombreuses espèces de l'herpès génital à la varicelle),
7. coronavirus (Famille Coronaviridae, Sous-famille Orthocoronavirinae, Genres alpha, beta, gamma, delta –coronavirus) ici le SARS-CoV (genre Betacoronavirus, sous-genre Sarbecovirus), Le nom coronavirus provient de l'aspect en couronne des spicules formées par la protéine S à la surface de l'enveloppe virale.
8. VIH (Famille Retroviridae, Sous-famille Orthoretrovirinae, Genre Lentivirus) virus de l'immunodéficience humaine type 1 (VIH-1), type 2 (VIH-2)).

Diapo 32

Nos ancêtres les virus : <https://www.science-et-vie.com/corps-et-sante/nos-ancetres-les-virus-52112>

Diapo 33

Gessain Antoine, Manuguerra Jean-Claude, « Les virus », dans : Antoine Gessain éd., *Les virus émergents*. Paris cedex 14, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », 2006, p. 11-30. URL : <https://www.cairn.info/les-virus-emergents--9782130555438-page-11.htm>

Diapo 34

Exemple du virus de la grippe. Schéma extrait de : Gessain Antoine, Manuguerra Jean-Claude, « Les virus », dans : Antoine Gessain éd., *Les virus émergents*. Paris cedex 14, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », 2006, p. 11-30. URL : <https://www.cairn.info/les-virus-emergents--9782130555438-page-11.htm>

Diapo 35

- Patrick Forterre, The origin of viruses and their possible roles in major evolutionary transitions, *Virus Research* 117 (2006) 5–16.
- Gessain Antoine, Manuguerra Jean-Claude, « Les virus », dans : Antoine Gessain éd., *Les virus émergents*. Paris cedex 14, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », 2006, p. 11-30. URL : <https://www.cairn.info/les-virus-emergents--9782130555438-page-11.htm>

Diapo 37

- Anthony SJ, Epstein JH, Murray KA, Navarrete-Macias I, Zambrana-Torrel CM, Solovyov A, Ojeda-Flores R, Arrigo NC, Islam A, Ali Khan S, Hosseini P, Bogich TL, Olival KJ, Sanchez-Leon MD, Karesh WB, Goldstein T, Luby SP, Morse SS, Mazet JAK, Daszak P, Lipkin WI. 2013. A strategy to estimate unknown viral diversity in mammals. *mBio* 4(5):e00598-13. doi:10.1128/mBio.00598-13
- Expédition Tara Oceans : 200.000 virus peuplent l'océan, Futura avec l'AFP-Relaxnews, Publié le 27/04/2019. <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/ocean-expedition-tara-oceans-200000-virus-peuplent-ocean-75893/>
- Shi, M., Lin, X., Tian, J. *et al.* Redefining the invertebrate RNA virosphere. *Nature* **540**, 539–543 (2016). <https://doi.org/10.1038/nature20167>
- Yong-Zhen Zhang, Yan-Mei Chen, Wen Wang, Xin-Chen Qin, and Edward C. Holmes, Expanding the RNA Virosphere by Unbiased Metagenomics, *Annu. Rev. Virol.* 2019. 6:119–39, <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-092818-015851>
- Jean-François Guéguan, Virus : quand les activités humaines sèment la pandémie, *The Conversation*, 13 avril 2020. <https://theconversation.com/virus-quand-les-activites-humaines-sement-la-pandemie-135907>

Diapo 38

- Isabel Reche et al. , Deposition rates of viruses and bacteria above the atmospheric boundary layer, *The ISME Journal* (2018) 12:1154–1162
- Suttle CA. Viruses in the sea. *Nature*. 2005;437:356–61.

Diapo 39

- Sarah François. Diversité et écologie des virus associés aux arthropodes : des communautés aux génomes. Thèse Sciences agricoles. Université Montpellier, 2017.
- Question de la semaine : la fonte du permafrost est-elle une menace pour l'humanité ? https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/question-de-la-semaine-la-fonte-du-permafrost-est-elle-une-menace-pour-l-humanite_142207

Diapo 41, 42

- Patrick Forterre, « L'origine des génomes modernes », Texte de la 667e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 16 juin 2008
- Patrick Forterre, La cellule virale, rouage de la vie, POUR LA SCIENCE N° 469, 6 octobre 2016

Diapo 43

- Sarah François. *Diversité et écologie des virus associés aux arthropodes : des communautés aux génomes*. Sciences agricoles. Université Montpellier, 2017.
- CNRS : <https://lejournal.cnrs.fr/videos/les-virus-maitres-meconnus-des-oceans>
- La répartition de la biomasse sur Terre, Publié le 19.06.18, Par Pascal Combemorel, <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/reactions-trophiques/la-repartition-de-la-biomasse-sur-terre>

Diapo 45

- Sarah François. *Diversité et écologie des virus associés aux arthropodes : des communautés aux génomes*. Sciences agricoles. Université Montpellier, 2017.
- S. M. Nashir Udden, M. Shamim Hasan Zahid, Kuntal Biswas, Qazi Shafi Ahmad, Alejandro Cravioto, G. Balakrish Nair, John J. Mekalanos, and Shah M. Faruque, Acquisition of classical CTX prophage from *Vibrio cholerae* O141 by El Tor strains aided by lytic phages and chitin-induced competence, PNAS August 19, 2008 105 (33) 11951-11956; <https://doi.org/10.1073/pnas.0805560105>

Diapo 47

D'après le fond d'écran « Vénus » téléchargé sur <https://abstract.desktopnexus.com/wallpaper/2494472/>

Diapo 48

- Dr Quentin BALLOUHEY, Etude de la paroi intestinale dans un modèle murin d'interruption intestinale : rôles des cellules du SNE et des cellules neuroendocrines, Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LIMOGES, Discipline / Spécialité : Biosanté présentée et soutenue le 29/05/2018
- Stilling RM, Bordenstein SR, Dinan TG, Cryan JF: **Friends with social benefits: hostmicrobe interactions as a driver of brain evolution and development ?** *Frontiers in cellular and infection microbiology* 2014, **4**:147.

Diapo 49

- Guillaume Minard, *Ecologie du microbiote bactérien associé au moustique tigre *Aedes albopictus* : une approche "omique" pour l'exploration de l'holobionte vecteur*. Ecologie, Environnement. Université Claude Bernard - Lyon I, 2014, 233 pages.

« La théorie de l'hologénomique stipule que les organismes évoluent de concert avec leur flore intestinale. Elle a été décrite pour la première fois en 2008 par Eugene Rosenberg et Ilana Zilber-Rosenberg. Selon cette théorie, l'entité subsistant l'évolution ne serait pas l'organisme mais plutôt l'holobionte, c'est-à-dire l'association entre un hôte et ses micro-organismes. L'ensemble des gènes qu'il contient est appelé l'hologénome.

Le concept de l'hologénomique est basé sur quatre points clés :

1. tous les organismes établissent des relations avec des micro-organismes ;
2. Les microbes sont transmis de génération en génération ;
3. l'association entre l'hôte et ses microbes affecte l'interaction avec l'environnement ;
4. les variations dans l'hologénome résultent d'une modification des gènes de l'hôte ou de ses microbes. »

Diapo 50

I, holobiont. Are you and your microbes a community or a single entity ? Derek J Skillings, 26 septembre 2018
<https://aeon.co/ideas/i-holobiont-are-you-and-your-microbes-a-community-or-a-single-entity>

Diapo 51

- Jean Crépu, *l'incroyable histoire des tueurs de bactéries*, Arte, 2 novembre 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=kWByzPPFRsU>
- Un biologiste français, Félix d'Hérelle, est à l'origine de cette approche originale. En Géorgie, l'Institut de virologie Georges Eliava est la référence mondiale sur cette question.
- Grands brûlés : un premier essai clinique sur la phagothérapie, mai 2019, <https://www.brulure.fr/grands-brules-phagotherapie/>
- Zuo T, et al., Bacteriophage transfer during faecal microbiota transplantation in *Clostridium difficile* infection is associated with treatment outcome, *Gut* 2018;**67**:634–643.

Diapo 52

Le virus de la mosaïque du tabac (TMV, sigle pour Tobacco mosaic virus) est un virus à ARN qui infecte les plantes, en particulier le tabac et les autres membres de la famille des Solanaceae. Ce phytovirus, le premier virus à avoir été découvert (Adol Meyer, 1892), est l'espèce-type du genre Tobamovirus, rattaché à la famille des Virgaviridae. En 1939, il est le premier virus à être observé au microscope électronique. Source : Wikipedia.

Diapo 53, 54, 55

- Dossier journal du CNRS : <https://lejournald.cnrs.fr/infographies/les-origines-de-la-vie>
- Planète Vie – ENS - Comment émergent et ré-émergent les nouveaux virus humains ? Publié le 25.05.18
- Par Élise Biquand, Aude Chanteloup, Azdeen Golamaully, Thomas Labadie, Charlotte Martinat
- <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/microbiologie/virologie/comment-emergent-et-re-emergent-les-nouveaux-virus-humains>

« Les grandes étapes et mécanismes de l'émergence virale chez l'Homme de virus issus du réservoir zoonotique ou humain

Lorsque des virus zoonotiques (A) entrent en contact avec l'Homme (C) ils rencontrent la barrière d'espèce qui est composée de facteurs cellulaires qui interfèrent avec le cycle viral : les facteurs de restriction. Les virus se répliquent dans le nouvel hôte de manière plus ou moins efficace (D). Des mutations chez les virus se répliquant inefficacement peuvent conduire à une adaptation de ces virus au nouvel hôte (E). Ces virus sont alors dits émergents (F) chez l'Homme. Parmi ces virus certains se transmettront efficacement dans la population humaine (G) et entreront dans le réservoir humain (A'), alors que d'autres, dont l'adaptation est sub-optimale, ne se transmettront pas entre Hommes. Que ce soit dans le réservoir zoonotique ou humain la réplication virale conduit à l'apparition de mutations et donc de nouveaux variants génétiques (B) qui seront sélectionnés par leur capacité à se répliquer dans l'hôte. La diversité génétique des virus est représentée par les différentes couleurs. Les pictogrammes numérotés de 1 à 5 font référence aux différents stades de l'émergence d'un virus humain décrits dans la figure 1. »

Diapo 56

- Gessain Antoine, Manuguerra Jean-Claude, « Les virus », dans : Antoine Gessain éd., Les virus émergents. Paris cedex 14, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », 2006, p. 11-30. URL : <https://www.cairn.info/les-virus-emergents--9782130555438-page-11.htm>

Diapo 58

- Société française pour l'étude et la protection des mammifères : <https://www.sfepm.org/presentation-des-chauves-souris.html>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chiroptera>
- OMS : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/rabies>

Diapo 59

- Marc Gozlan, Les chauves-souris chinoises, réservoirs de coronavirus émergents, 20 février 2020. <https://www.lemonde.fr/blog/realitesbiomedicales/2020/02/10/les-chauves-souris-reservoirs-de-coronavirus-emergents-en-chine/>

« Ces résultats ont été publiés le 23 janvier 2020 sur le site de prépublication bioRxiv par Zhou Peng, Shi Zheng-Li et leurs collègues du Wuhan Institute of Virology. Ils semblent indiquer que le 2019-nCoV a pour origine un coronavirus de chauve-souris.

Mais d'autres écartent vigoureusement cette hypothèse. « *Le virus connu le plus proche du SARS-CoV-2 reste, et de très loin, le coronavirus RaT-G13 retrouvé chez des chauves-souris rhinolophes du Yunnan [sud-ouest de la Chine], c'est à ce jour son plus proche cousin*, indique ainsi Maciej Boni, biologiste à l'université d'Etat de Pennsylvanie, coauteur d'[une récente recherche](#) sur l'origine du virus humain. *Plus de 96 % de bases communes. D'après nos analyses, ces deux virus ont divergé il y a quarante à soixante-dix ans. On sait aussi qu'un premier humain a été infecté a priori en novembre 2019. Ce qui s'est passé entre-temps, nous l'ignorons.* » »

Diapo 60

- Boni MF, Lemey P, Jiang X, Lam TT-Y, Perry B, Castoe T, Rambaut A, Robertson DL (2020) Evolutionary origins of the SARS-CoV-2 sarbecovirus lineage responsible for the COVID-19 pandemic. *bioRxiv*:2020.2003.2030.015008.

« Estimations phylogénétiques et temps de divergence mesurés dans le temps pour les lignées de sarbecovirus en utilisant un taux centré sur HCoV-OC43 auparavant. La phylogénie calibrée dans le temps représente un arbre de crédibilité de clade maximum déduit pour NRR1. Les pastilles grises correspondent aux virus des chauves-souris, vertes au pangolin, bleues au virus SARS-CoV et rouges au SARS-CoV-2. La taille des nœuds noirs est proportionnelle au support du nœud postérieur. Des barres d'intervalles crédibles à 95% sont affichées pour tous les âges des nœuds internes. L'encart représente des estimations de temps de divergence basées sur NRR1, NRR2 et NRA3. Les rectangles représentent les estimations de temps de divergence pour le SARS-CoV-2 (rectangles rouges) et le virus SARS-CoV 2002-2003 (rectangles bleus) par rapport à leur virus de chauve-souris le plus proche. Les rectangles verts montrent l'estimation TMRCA pour la lignée RaTG13 / SARS-CoV-2 et sa lignée de pangolins la plus proche (Guangdong 2020). Des cases transparentes de la largeur de la plage interquartile et de mêmes couleurs sont superposées pour mettre en évidence le chevauchement entre les estimations. Dans la figure supplémentaire S3, nous comparons ces estimations de temps de divergence à celles obtenues à l'aide des taux a priori centrés MERS-CoV pour NRR1, NRR2 et NRA3. »

Diapo 61

- Alexandre Hassanin, Covid-19 : l'analyse des génomes révélerait une origine double du virus, *The conversation*, 17 mars 2020
- Alexandre Hassanin, Covid-19 : origine naturelle ou anthropique ?, *The conversation*, 15 avril 2020
- Maciej F Boni, Philippe Lemey, Xiaowei Jiang, Tommy Tsan-Yuk Lam, Blair Perry, Todd Castoe, Andrew Rambaut, David L Robertson (2020), Evolutionary origins of the SARS-CoV-2 sarbecovirus lineage responsible for the COVID-19 pandemic, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.03.30.015008v1>

Le VIH par exemple est probablement passé du chimpanzé à l'homme au début du XXe siècle au Cameroun... Il a évolué et migré lentement (RDV Kinshasa), avec plusieurs autres "contaminations" de souches différentes, pour finalement passer aux Etats-Unis dans les années soixante. Le début "officiel" de l'épidémie est le 5 juin 1981... Bref, tout ça c'est le pangolin qui cache la forêt...

Diapo 62

BAOBAB - BASE d'OBservation des Agents Biologiques Cette base de données est une aide à l'évaluation des risques biologiques. Elle contient des fiches synthétiques destinées à un large public. La base reprend tous les agents biologiques infectieux classés par la réglementation, en apportant pour chacun des informations réglementaires et épidémiologiques. A l'aide du moteur de recherche, il est possible de connaître le groupe de risque auquel appartient un agent biologique, de trouver les réservoirs de cet agent (espèce animale, eau, sol...), les voies de transmission etc.

<http://www.inrs.fr/publications/bdd/baobab.html>

Commentaire J.P. Buch, CoMed FFS : A noter que les virus humains n'ont pas la même pénétrance selon les groupes humains. Par exemple la rougeole et la variole qui ont décimé des amérindiens par absence d'immunité puisque ces virus ont été importés par les colons européens.

Diapo 64

- Société française pour l'étude et la protection des mammifères : <https://www.sfepm.org/presentation-des-chauves-souris.html>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chiroptera>
- Hervé Ratel, La chauve-souris, mal-aimée mais utile, *Sciences et Avenir* n°872 daté octobre 2019.
- Stéphane Foucart, En trente ans, près de 80 % des insectes auraient disparu en Europe, *Le Monde*, 18 octobre 2017.

- Pedro Cardoso, Philip S. Barton, Klaus Birkhofer, Filipe Chichorro, Charl Deacon, Thomas Fartmann, Caroline S. Fukushima, René Gaigher, Jan C. Habel, Caspar A. Hallmann, Matthew J. Hill, Axel Hochkirch, Mackenzie L. Kwak, Stefano Mammola, Jorge Ari Noriega, Alexander B. Orfinger, Fernando Pedraza, James S. Pryke, Fabio O. Roque, Josef Settele, John P. Simaika, Nigel E. Stork, Frank Suhling, Carlien Vorster, Michael J. Samways, Scientists' warning to humanity on insect extinctions, *Biological Conservation*, Volume 242, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>

Diapo 65

- Nathaniel Herzberg, En dix ans, 30 % des chauves-souris françaises ont disparu, *Le Monde*, publié le 21 octobre 2019

Wikipedia : *Batrachochytrium dendrobatidis* (ou « Bd ») est une espèce de champignons aquatiques (Chytrides (récemment devenue invasive), parasite des amphibiens. Elle provoque le chytridiomycose, une maladie infectieuse occasionnant la mort des individus infectés en bloquant leurs organes respiratoires (phénomène reconnu depuis 1998, en Australie et au Panama).

Ce champignon (chytride) appartient à un groupe de moisissures qui décomposent la matière organique morte. Il est l'un des responsables du déclin des populations d'amphibiens dans différentes régions du monde, affectant plus de 200 espèces (plus de 40 % des espèces d'amphibiens ont disparu dans certaines régions d'Amérique centrale), notamment le *Bufo baxteri*. Les amphibiens comptent parmi les taxons les plus menacés (avec plus de 120 espèces disparues et 435 en forte régression en moins d'un siècle).

Origine de la dissémination et de l'épidémie

La fin des tests de grossesse utilisant des œufs de *Xenopus laevis* a eu pour effet une dissémination hors de ses élevages de cette grenouille (porteur sain du *Batrachochytrium dendrobatidis*).

Ce champignon est présent dans la nature depuis très longtemps, mais certains variants importés pourraient avoir rencontré des populations immunitairement naïves d'amphibiens et/ou des variants hautement pathogènes pourrait être des mutants dont la dispersion a été facilitée par l'Homme et dont l'évolution aurait pu avoir été favorisée par la dégradation anthropique des zones humides et de l'environnement en général.

Diapo 66

- A gauche : préparation de chauve-souris aux Philippines.
- A droite : chauve-souris grillées en Thaïlande.

Diapo 67

1. Etal de viande de brousse sur un marché de Brazzaville.
2. Marché d'animaux vivants en Asie.

Remarquez : serpents, singe, pangolins...

- Antoine Laugrand & Frédéric Laugrand, La leçon anthropologique des chauves-souris, La crise du covid-19 vue à l'envers, publié le 7 avril 2020 dans <http://laviedesidees.fr>

« La résistance des autochtones aux virus des chauves-souris et leurs témoignages autorisent à spéculer un peu. Leur contact avec ces animaux est non seulement fort ancien, mais viable et plein de potentialités. L'avenir dira si les autochtones au contact des chauves-souris survivront au coronavirus, mais l'inverse serait surprenant. Certes, leurs expériences sont spécifiques et ne permettent pas de généraliser, mais, elles conduisent à poser plusieurs séries de questions. »

Diapo 68

- En 2019, plus de 21000 scientifiques ont signé une déclaration de consensus d'avertissement à l'humanité sur les liens entre les micro-organismes et les changements climatiques (Cavicchioli et al., 2019). Cavicchioli, R., Ripple, W.J., Timmis, K.N. et al. Scientists' warning to humanity : microorganisms and climate change. *Nat Rev Microbiol* 17, 569–586 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0222-5>. Consulté en ligne le 1^{er} avril 2020.

« Aux fins de la présente déclaration de consensus, nous définissons le `` micro-organisme ''comme tout organisme microscopique ou virus non visible à l'œil nu (inférieur à 50 µm) pouvant exister sous forme unicellulaire, multicellulaire (par exemple, espèces différenciantes), agrégat (pour exemple, biofilm) ou sous forme virale. En plus des bactéries microscopiques, des archées, des eucaryotes et des virus, nous discutons de certains eucaryotes unicellulaires macroscopiques (par exemple, le phytoplancton marin plus gros) et des champignons de décomposition du bois. Notre intention n'est pas de couvrir de manière exhaustive tous les environnements ni toutes les influences anthropiques mais de fournir des exemples des principaux biomes mondiaux (marins et terrestres) qui mettent en évidence les effets du changement climatique sur les processus microbiens et leurs conséquences. »

- Ces virus exotiques qui nous menacent, Yannick Simonin, Université de Montpellier. <https://www.umontpellier.fr/articles/ces-virus-exotiques-qui-nous-menacent>

Diapo 70

- Source : OMS
- Antoine Laugrand & Frédéric Laugrand, La leçon anthropologique des chauves-souris, La crise du covid-19 vue à l'envers, publié le 7 avril 2020 dans <http://laviedesidees.fr>

« Et si les humains qui vivent dans les milieux urbains et pollués étaient devenus plus vulnérables aux virus ? Et si l'on devait pointer du doigt l'affaiblissement général de notre système immunitaire ? Dans ces mêmes sociétés industrialisées, l'explosion concomitante des allergies, des maladies auto-immunes, des cancers, est significative. Et si l'appauvrissement de notre microbiote – ces centaines de millions de bactéries qui habitent nos intestins – était un facteur majeur pour expliquer notre fragilité face aux bactéries et aux virus ? Et si des facteurs aggravants se nommaient la pollution atmosphérique qui abîme les voies respiratoires, les pesticides, nitrates et autres détergents chimiques qui ravagent les environnements, et les antibiotiques qui rendent les microbes plus tenaces ? La situation est d'autant plus inquiétante qu'on encourage encore en, pleine crise du coronavirus, l'usage des gels hydroalcooliques et de bactéricides. Or, il est connu que certains de ces produits chimiques aggravent le problème des perturbateurs endocriniens. Il faut donc remédier d'urgence aux grands maux contemporains que sont la pollution, la destruction des environnements terrestre, maritime et atmosphérique, réduire les élevages intensifs qui amplifient les maladies infectieuses. Car, ce qui semble émerger c'est bien la vulnérabilité des citadins – à Wuhan, en Lombardie, en Espagne en France et aux États-Unis –, face aux zoonoses. Une vulnérabilité qui s'accroît grandement avec l'âge et la santé des personnes, les maladies cardiovasculaires, le diabète, l'hypertension étant des facteurs décisifs. Inversement, il est probable que les peuples qui vivent au contact des animaux et dans des conditions certes moins aseptisées s'avèrent beaucoup plus résistants et résilients que les citadins. À leurs yeux, les chauves-souris et leurs virus ne figurent pas au cœur des problèmes qu'ils ont à résoudre à côté du paludisme et d'autres maladies. »

Diapo 71

- Anil Markandy, Tim Taylor, Alberto Longo, M. N. Murty, S. Murty, K. Dhavala, Counting the cost of vulture decline—An appraisal of the human health and other benefits of vultures in India, *Ecological Economics*, Volume 67, Issue 2, 15 September 2008, Pages 194-204. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180090800178X>
- Romain Espinosa, Nicolas Gaidet, Nicolas Treich, « Il faut prendre en considération le rôle de la consommation de viande et l'élevage intensif dans ces nouvelles épidémies », *Le Monde*, 31 mars 2020.

« Ces épisodes répétés de zoonoses montrent que les futures politiques sanitaires devront nécessairement combiner santé humaine et animale selon l'approche « une seule santé » (« One Health »). Cette gestion nécessite beaucoup de moyens, qui sont largement supportés par la collectivité, à l'image de l'indemnisation des éleveurs pour compenser leurs pertes économiques. Pourtant, cette gestion semble bien insuffisante si l'on en juge par la multiplication récente des épidémies.

Au contraire, nos sociétés sont entraînées dans une spirale infernale. Alors que des animaux d'élevage toujours plus nombreux sont enfermés dans des bâtiments, le danger de propagation des virus est tel qu'il conduit

souvent à un abattage préventif massif dès qu'un risque survient. En 2016, la Corée a ainsi abattu plus d'une dizaine de millions de volailles de manière préventive pour contenir la grippe aviaire.

Parce que les contacts avec l'extérieur représentent les principaux risques de contamination, les élevages confinent toujours davantage les animaux avec des mesures de précaution de plus en plus drastiques. Pour minimiser les risques de contact, les animaux sauvages sont éliminés en cas de danger de contamination ; c'est le cas par exemple en Europe des sangliers potentiellement porteurs de la grippe porcine. »

Diapo 72

- Philippe Descola dans *L'Invité(e) des Matins* par Guillaume Erner, France Culture, 20 avril 2020 : <https://www.franceculture.fr/emissions/linvite-des-matins/pandemie-la-nature-reprend-ses-droits-philippe-descola-est-linvite-exceptionnel-des-matins>
- Jean-François Guégan, Virus : quand les activités humaines sèment la pandémie, *The Conversation*, 13 avril 2020. <https://theconversation.com/virus-quand-les-activites-humaines-sement-la-pandemie-135907>
- Romain Espinosa, Nicolas Gaidet, Nicolas Treich, « Il faut prendre en considération le rôle de la consommation de viande et l'élevage intensif dans ces nouvelles épidémies », *Le Monde*, 31 mars 2020.
- Keck Frédéric, « Prévention, précaution, préparation : rationalités dans la gestion des maladies animales », *Raison présente*, 2015/3 (N° 195), p. 73-81. DOI : 10.3917/rpre.195.0073. URL : <https://www.cairn.info/revue-raison-presente-2015-3-page-73.htm>
- Donna Haraway, *Manifeste des espèces compagnes*, Climats, 2019