

Biodiversité et émergence de pandémies virales

Bruno David



R é s u m é

L'actuelle épidémie de SARS-CoV-2 (la Covid-19) qui bouleverse la vie de la quasi-totalité de la planète, sature les services hospitaliers et stoppe la plupart des activités économiques et sociales, met en lumière les liens entre la biodiversité et la santé humaine.

Quels sont les liens entre la dégradation de la biodiversité et l'émergence de nouvelles pandémies ? Notre comportement irresponsable avait déjà favorisé la survenue de zoonoses, mais nous n'en avons pas tiré les leçons...

Mots-clefs : Biodiversité, santé humaine, pandémie, Covid-19, crise sanitaire.

INTRODUCTION

La révolution du néolithique s'est traduite par la sédentarisation des chasseurs-cueilleurs, la domestication des animaux et la culture des végétaux. Elle a conduit aux premiers changements environnementaux et à des conséquences sur la santé humaine. L'extension du mode de vie agricole, la domestication des animaux et l'augmentation du cheptel ont été source de nouvelles infections (Morand, 2016). Par exemple, l'émergence de la rougeole, pathologie grave pour les humains, est due à la domestication des bovidés qui a favorisé la transmission du virus de la peste bovine vers l'homme dans les premières cités mésopotamiennes. Chez l'homme, ce virus bovin a évolué en virus de la rougeole (Furuse *et al.*, 2010). Selon K. Jones (2008), 60% des maladies émergentes entre 1940 et 2004 sont des zoonoses majoritairement d'origine sauvage (72%). En tête des préoccupations les fièvres Ebola, Marburg, Lassa... et les maladies à coronavirus (MERS, SRAS, Nipah...) (Braly et Yazdanpanah, 2016) et maintenant Covid-19. Dès 2015, très sensibilisée à ces sujets, l'OMS avait même alarmé sur le risque d'apparition de nouvelles pandémies à coronavirus (OMS, 2015). Depuis quelques dizaines d'années notre comportement vis-à-vis de l'environnement est devenu de plus en plus inconséquent notamment du point de vue de la santé publique (Ostfeld, 2009 ; Gibb *et al.*, 2020).

Quels sont les nombreux facteurs de risque sanitaire en lien avec la dégradation de la biodiversité ?

BIODIVERSITÉ ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Le terme de biodiversité s'est progressivement imposé au grand public depuis une trentaine d'années à la faveur de la prise de conscience environnementale. Il apparaît la première fois sous la forme « diversité biologique » en 1916 au sein d'un article de J. Arthur Harris sur l'abondance des espèces vivantes d'un milieu (*The Variable Desert*). Ensuite, le biologiste Thomas Lovejoy le popularise en 1980 dans la préface du livre « *Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective* » (Lovejoy, 1980).

Contact

Dr en Pharmacie, PhD, HDR
Ancien Directeur Phytochimie et Biodiversité,
Institut de Recherche Pierre Fabre
Toulouse (France)

Correspondance : brunoxdavid@gmail.com

Puis le concept évolue pour couvrir la variété des organismes vivants et des écosystèmes dans lesquels ils vivent et interagissent. Le mot « biodiversité » est imprimé pour la première fois en 1988 lors de l'édition du compte-rendu du Forum national sur la diversité biologique et sur le risque de disparition des espèces vivantes, organisé à Washington (21-24 septembre 1986) par la *National Academy of Sciences* et la *Smithsonian Institution*. L'expression « diversité biologique » étant trop long pour être imprimé sur la couverture des comptes-rendus, il est réduit en « *BioDiversity* » et ensuite modifié en « Biodiversity » (Wilson, 1988).

À l'été 1992, lors du sommet international de la Terre à Rio au Brésil sur l'environnement, la biodiversité passe au centre des préoccupations scientifiques et politiques mondiales avec la prise de conscience de l'ampleur et de l'irréversibilité de sa disparition (Wilson, 1996).

Ce mot biodiversité signifie l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent. Les espèces animales, végétales, fongiques, et les microorganismes sont donc, avec les complexes écologiques (forêts tropicales, mangroves, récifs coralliens, écosystèmes y compris urbains...), des éléments de la biodiversité. La Convention sur la Diversité Biologique signée lors du sommet de la Terre à Rio en 1992 la définit officiellement comme la « *variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes* ».

Pour Robert Barbault, célèbre écologue français (1943-2013), la biodiversité est « *le tissu vivant de la planète, le support de toutes les activités humaines. Nous y puisons des ressources et des biens (aliments, médicaments, fibres végétales, bois, ...). Elle nous rend aussi de précieux services : la purification de l'air, la régulation du climat, l'épuration de l'eau, la pollinisation ou encore le recyclage de la matière organique...* ». Ces services innombrables rendus par la biodiversité sont appelés « services écosystémiques ».

Les organismes pathogènes et notamment les virus sont également des éléments de la biodiversité. Les virus sont des organismes parasites obligatoires de leur hôte. La promiscuité entre les hôtes animaux naturels et les humains favorisent la transgression par les virus de la barrière des espèces. Ensuite, ils peuvent encore évoluer pour se transmettre directement d'homme à homme sans avoir besoin d'hôtes intermédiaires. Quand les virus se multiplient, ils dupliquent leur matériel génétique et des mutations apparaissent de manière aléatoire. Puisque contrairement aux organismes cellulaires plus complexes, les virus ne possèdent pas de système de réparation des mutations, les modifications génétiques qui apportent un avantage sélectif deviennent rapidement dominantes. Les virus peuvent ainsi s'adapter à l'Homme et se propager d'humain à humain. Ils ont également la possibilité, pour s'adapter à un nouvel hôte, de pratiquer la recombinaison génétique c'est-à-dire qu'en s'hybridant avec un virus déjà présent chez son hôte, un « nouveau » virus animal de la même famille peut acquérir les capacités à infecter

efficacement. Ainsi un virus peut arriver à combiner rapidement deux caractères : sa dangerosité initiale et l'adaptation à un nouvel hôte. C'est ce qui se serait passé au départ de la grippe espagnole de 1918 avec un virus aviaire très pathogène qui aurait débuté son adaptation aux mammifères par le porc avant de pouvoir contaminer l'Homme.

FACTEURS ANTHROPIQUES FAVORISANT L'ÉMERGENCE DE PANDÉMIE

Différents facteurs dépendants entièrement des hommes vont favoriser l'émergence de pandémies :

Les échanges commerciaux

Depuis toujours, les déplacements humains sont à l'origine des pandémies. La peste qui est due à une bactérie l'illustre parfaitement. La peste de Justinien a décimé le bassin méditerranéen à partir de 541 après J-C jusqu'au VIII^e siècle en tuant près de 10 000 personnes par jour au plus fort de l'épidémie (Morand, 2016). Au total, entre 40 et 100 millions de personnes auraient succombé soit de 16 à 40% de la population de la zone. Cette épidémie a également largement favorisé la chute de l'Empire Romain en anéantissant les légions de l'empereur Justinien (Harper, 2017). Des études de paléo-génétique ont permis de préciser le chemin de la souche bactérienne responsable de la peste (*Yersinia pestis* van Loghem) depuis des rongeurs chinois jusqu'aux populations humaines méditerranéennes en passant par le rat noir (Harbeck *et al.*, 2013). À la faveur des échanges commerciaux entre l'Extrême-Orient et l'Europe, la peste a mis une dizaine d'années pour atteindre l'Empire romain. Le réseau très dense de communications construit par les Romains va la propager très efficacement. Le rôle clef des voyages et des échanges marchands est clairement établi dans cette première pandémie de grande ampleur.

L'histoire se répète lors de la grande épidémie de peste noire qui frappa l'Europe entre 1347 et 1353 faisant entre 25 et 50 millions de victimes soit plus d'un habitant sur trois ! A l'origine, une pullulation en Chine de rongeurs sauvages infectés. La maladie localisée en Asie arriva aux portes de l'Europe en 1345 par les troupes mongoles venues assiéger les Génois de la ville de Caffa en Crimée. Après deux ans d'un siège sans succès, les armées de la Horde d'or levèrent le camp, épuisées par la peste noire mais n'hésitèrent pas à transmettre la maladie en catapultant des cadavres infectés sur les assiégés. Il s'agit d'un des premiers cas de guerre bactériologique bien documenté. Les Génois ramenèrent ensuite, malgré eux, la peste en Europe.

Plus récemment, le commerce international a été à l'origine de la propagation de zoonoses virales : la dengue, le chikungunya et le virus Zika, depuis les forêts d'Asie du Sud-Est vers plus de 100 pays sur les 5 continents. L'introduction involontaire du vecteur de ces maladies, le moustique tigre (*Aedes albopictus* Skuse) à l'occasion du transport intercontinental de vieux pneus a entraîné d'importantes conséquences sanitaires.

Santé et biodiversité

Le tourisme joue également un rôle important dans l'intensification des échanges. En 2019, près de cinq milliards de vols aériens ont été effectués ! La diffusion intercontinentale en quelques heures de l'épidémie de SRAS à partir de Hong-Kong l'illustre parfaitement. Au Moyen Âge, presque une année était nécessaire pour une telle diffusion.

La dégradation de la biodiversité

La dégradation de la biodiversité et des écosystèmes est également un facteur de risque bien établi.

Par exemple, les cultures intensives notamment du palmier à huile aux dépens de la forêt au Nigéria et en Afrique de l'Ouest ont favorisé la pullulation du rat du Natal (*Mastomys natalensis* Smith) vecteur de la fièvre de Lassa (Houlihan *et al.*, 2017), une maladie virale aiguë endémique d'Afrique de l'Ouest. Le nom « Lassa » provient de la ville du Nigeria dans laquelle les premiers cas ont été décrits en 1969. Cette fièvre hémorragique est responsable de 5 000 morts et 200 000 contaminations chaque année. La maladie réapparaît entre janvier et mars à la faveur de la saison sèche et des feux de brousses qui poussent les rats du Natal vers les habitations. L'urine des rats souille les cultures vivrières et les habitations. La contamination interhumaine s'effectue via le sang, les urines et les selles des malades. Début 2020, la mortalité de cette maladie au Nigéria a été 10 fois supérieure à celle de la Covid-19 dans l'indifférence totale des médias.

Un autre cas lié à la culture industrielle du palmier à huile pour satisfaire la demande internationale se passe en Asie du Sud-Est. En septembre 1998 émerge une nouvelle encéphalite fébrile virale en Malaisie près de la ville d'Ipoh. L'expansion des cultures de cet oléagineux aux dépens de la forêt tropicale humide pousse des chauves-souris frugivores (réservoir naturel du virus Nipah) vers les zones habitées. Naturellement isolées dans les forêts

équatoriales, ces chauves-souris se sont rapprochées des humains lors de la destruction des forêts. Affaiblies, elles deviennent contagieuses et contaminent par leurs fientes des élevages de porcs qui à leur tour amplifient le virus et contaminent les éleveurs. Le virus Nipah provoque une fièvre encéphalite mortelle dans 60% des cas chez l'Homme. « Nipah » est le nom du village malais où a été prélevé et identifié le virus éponyme. Lors de son apparition au Bangladesh en 2001, sa transmission est devenue très rapidement indépendante d'hôtes intermédiaires et le taux de mortalité a dépassé 90%. A ce jour, il n'existe ni traitement, ni vaccin disponible contre ce virus (Epstein *et al.*, 2006).

Quand la biodiversité est en bon état, non dégradée, les agents infectieux circulent à bas bruit et leur transmission n'est pas très efficace. La biodiversité, y compris les pathogènes, forme un gradient entre hautes et basses latitudes. Le réchauffement climatique, dont l'origine anthropique ne peut plus être niée, favorise la migration des parasites depuis les zones tropicales vers les zones plus tempérées.

Les changements climatiques

Les changements climatiques peuvent élargir les zones d'endémie et favoriser l'émergence de maladies dans des territoires jusqu'alors indemnes. C'est le cas par exemple du paludisme. En effet, les régions d'altitude d'Afrique de l'Est étaient épargnées de la présence des anophèles vecteurs jusqu'au récent réchauffement climatique. L'épidémie de Muerto Canyon Virus (un hantavirus) responsable en 1993 d'infections fatales à 60% chez l'Homme dans le Sud-Est des USA a été causée par la perturbation du courant El Niño qui a favorisé la pullulation de l'hôte, la souris sylvestre (*Peromyscus maniculatus* Wagner), considérée depuis des siècles par les Navajos comme néfaste pour la santé. Seule une cinquantaine de victimes est à déplorer car l'épidémie a été contenue.

Les concentrations humaines sans précédent

De nos jours, plus de 60% de la population mondiale vit dans des villes souvent surpeuplées. En Chine, ce pourcentage atteint plus de 80%. Ce n'est donc pas un hasard si beaucoup de pandémies émergent dans les mégapoles chinoises. La Chine est non seulement le pays le plus peuplé de la planète mais celui où les volailles et les porcs sont les plus nombreux avec historiquement une promiscuité importante entre les humains, volailles et porcins. En favorisant et multipliant les contacts hôtes-humains, le risque de transgression de la barrière des espèces par les parasites augmente.

La promiscuité avec des espèces sauvages, la consommation

Suite à plusieurs études phylogénétiques, il est maintenant admis que la consommation de viande de brousse de primate (chimpanzés) est responsable de l'émergence du VIH-1 (virus de l'immunodéficience humaine) (Faria *et al.*, 2014). Le SIDA (Syndrome d'ImmunoDéficience Acquis) est l'une des maladies infectieuses les plus dévastatrices de l'histoire de l'humanité, sans



© Bruno David

La déforestation détruit l'habitat naturel de nombreuses espèces animales, les poussant à se rapprocher des zones anthropisées. Ces interactions forcées favorisent le « débordement » des parasites sauvages vers les humains et les animaux domestiques (ici en Malaisie dans l'état du Pahang)

traitement il est mortel à 100%. A ce jour, 38 millions de patients vivent grâce au traitement antirétroviral et plus de 32 millions de personnes en sont décédées depuis son apparition pandémique à la fin des années 1970.

La maladie à virus Ebola, due à six espèces de filovirus de chauve-souris transmis à des primates, met également en lumière les dangers de la manipulation et de la consommation de viande de primates (Gostin *et al.*, 2014). Elle est apparue en 1976, simultanément au Soudan et en République Démocratique du Congo (RDC) à Yambuku, petit village près de la rivière Ebola. Le virus est transmis à l'Homme via des primates sauvages et se propage par transmission interhumaine. Les flambées de la maladie sont très graves car le taux de mortalité est généralement supérieur à 50%, plus de 13 000 victimes sont à déplorer. La dernière vague épidémique dans la province du Nord-Kivu en RDC a pu être maîtrisée en juin 2020 grâce à la première campagne de vaccination.

La consommation de civettes palmistes du Sud-Est asiatique et leur élevage pour produire un café très particulier sont à l'origine de l'épidémie de SRAS (Syndrome Respiratoire Aigu Sévère). Cette épidémie est due à un coronavirus, le SARS-CoV-1 cousin de celui de la Covid-19 (SARS-CoV-2). Son hôte naturel est une chauve-souris et l'hôte intermédiaire est la civette masquée du Sud-Est asiatique (*Paguma larvata* Hamilton-Smith). C'est de cette civette vendue dans les marchés du sud de la Chine pour être consommée que l'épidémie de SRAS a démarré en 2002 dans le quartier d'Amoy Gardens à Hong-Kong. La transmission s'effectue par aérosol via les malades comme pour la Covid-19. Cette zoonose s'est propagée début 2003 en quelques heures au niveau mondial grâce aux transports aériens pour atteindre les principales villes européennes, américaines et australiennes. Le taux de létalité moyen est de 15% mais peut dépasser 50% chez les personnes à risques ou âgées.

Suite à l'alerte mondiale déclenchée en mars 2003 par l'OMS, l'épidémie a été endiguée par des mesures d'isolement et de

quarantaine. Mais on dénombre au final 8 000 cas et environ 800 morts.

D'autres animaux proches des civettes masquées comme le chien viverrin (*Nyctereutes procyonoides* Gray), une sorte de raton laveur carnivore, sont également impliqués avec pour épigone le marché d'animaux vivants de Shenzhen au sud de la province chinoise de Canton (Guan and Zheng, 2003).

La civette palmiste (*Paradoxurus hermaphroditus* Pallas), pour sa part, fait l'objet d'un trafic pour le moins étrange : la collecte sauvage mais surtout la production industrielle de *Kopi Luwak* (*Kopi* = Café et *Luwak* = civette en Indonésien/Malais). Le *Kopi Luwak* est un café dont la pulpe du fruit a été consommée par l'animal et dont le grain n'a pratiquement pas été digéré. Ce café qui transite par l'intestin de l'animal fournit un café peu amer avec un goût de caramel chocolaté. Dans la nature, ce café est donc très rare, avec une « collecte annuelle » d'à peine 500 kg par an. La cupidité a conduit à des captures et des élevages industriels très lucratifs qui produisent annuellement 50 tonnes de ces précieux grains. Les animaux sont maintenus en cage et nourris presque exclusivement avec des fruits de caféier. Alors que les civettes sauvages grignotent des fruits de caféier en marge d'un régime alimentaire équilibré, les civettes captives sont gavées et vivent en promiscuité, ce qui affaiblit leurs défenses immunitaires.

Plus récemment, selon les études de phylogénétique et de phylodynamie, il apparaît que l'épidémie en cours de Covid-19 aurait émergé d'une promiscuité inouïe dans le marché «humide» Huanan de Wuhan où sont vendus chauves-souris et divers autres mammifères vivants dont des pangolins (Li *et al.*, 2020). Ce marché de Wuhan, avec ses animaux stressés, affaiblis et donc plus sensibles aux infections, semble être l'épigone de cette nouvelle pandémie car les premiers malades y travaillaient ou y étaient venus faire des achats. Le rôle du pangolin javanais (*Manis javanica* Desmarest) comme hôte intermédiaire entre les chauves-souris (*Rhinolophus affinis* Horsfield) et l'Homme est très probable sans toutefois être établi avec certitude à ce jour (Dimonaco *et al.*, 2021 ; do Vale *et al.*, 2021).



© World Animal Protection

Commerce de civette vivante sur un marché en Asie : la consommation de cet animal sauvage en Chine est à l'origine de l'épidémie de SRAS qui a débuté en 2002 à Hong-Kong



Ci-contre : promiscuité inouïe entre primates, chauve-souris, civettes et oiseaux sauvages dans un marché « alimentaire » en Asie du Sud-Est. Cette proximité malsaine promeut la diffusion inter-espèces de parasites par contact direct ou via les déjections

En bas à gauche : élevage intensif de poussins (ici à 7 jours). L'extrême densité de ces élevages, leur uniformité génétique et le nombre d'individus qui dépasse souvent le million accroissent considérablement le risque et la fulgurance des épizooties

Ci-dessous : pangolin vendu vivant dans un marché alimentaire en Chine. Cet animal très braconné pour sa viande et pour ses écailles utilisées en médecine traditionnelle est au bord de l'extinction. Son rôle d'hôte intermédiaire entre les chauves-souris *Rhinolophes* et l'Homme dans la pandémie actuelle de SARS-CoV-2 est encore discuté



© (3 photos) World Animal Protection

L'élevage intensif

Dans la plupart des cas, les zoonoses se transmettent d'un animal sauvage à un animal d'élevage puis à l'Homme. Les animaux hôtes intermédiaires sont des ponts que nous favorisons et multiplions.

Il est facile de pointer du doigt les marchés tels que ceux de Wuhan, Shenzhen... et de les blâmer d'être à l'origine de pandémies. Mais notre consommation de viande industrielle dans la plupart des pays dits occidentaux contribue également à un risque majeur de pandémie. Les besoins en alimentation animale pour ces élevages industriels encouragent la déforestation dans les pays tropicaux riches en biodiversité avec les conséquences que nous venons de voir. Pour nourrir les animaux industriels, nous déforestons et dégradons encore plus la biodiversité. Plus de 70% des terres agricoles sont dédiées à la production de protéines animales (élevage direct ou pour l'alimentation animale).

L'élevage industriel intensif qui met en cage, entasse et confine à l'extrême porcs, volailles et bovins constitue le terreau idéal pour l'émergence de souches virulentes. Concrètement, une souche virale peu dangereuse qui touche une production animale industrielle surpeuplée, se propage très rapidement. Au fur et à mesure qu'il traverse l'élevage en se répliquant de manière folle, le virus mute et donne naissance à de nouvelles souches plus redoutables.

Enfin, la diversité génétique de plus en plus faible des élevages industriels favorise également les épidémies en facilitant la transmission d'un animal à l'autre. De plus, à chaque épisode de zoonose, on diminue encore davantage ce pool génétique.

Nous avons vu que la souche de la grippe espagnole de 1918 était partie d'élevage de poulets et avait transité par des élevages de porcs avant de se propager chez l'Homme. Cette épidémie a été extrêmement dévastatrice avec plus de 50 millions de décès soit 5% de la population mondiale.

La pandémie de grippe porcine H₁N₁ de 2009 originaire d'élevages porcins au Mexique et en Amérique du Nord a tué quant à elle plus de 500 000 personnes dans le monde (Dawood *et al.*, 2012).

L'industrialisation, la massification et l'uniformité génétique des élevages de volailles en Asie du Sud-Est a favorisé l'émergence de la grippe aviaire H₅N₁. Par chance, l'espèce humaine est peu compétente pour cette souche et s'est donc comportée quasiment comme une espèce « cul-de-sac », ce qui explique que seulement 600 personnes aient été infectées même si la létalité est de 60%. Les exploitations de poulets sont toujours plus gigantesques et concentrées : selon l'ONG *Compassion in World Farming*, plus de 60 milliards de poulets sont élevés annuellement au niveau mondial, une grande part dans des élevages industriels qui peuvent atteindre plus de 1,5 million d'individus (www.ciwf.org.uk).

EFFETS POSITIFS DE LA BIODIVERSITÉ

L'effet de dilution

Une biodiversité riche, diverse et non perturbée préserve notamment la santé humaine car c'est un frein à la transmission des zoonoses. On parle d'effet de dilution qui peut être illustrée de la manière suivante : quand un moustique infecté pique des espèces « culs de sacs », comme les deux espèces de chauves-souris sur la Figure 1a, ces piqûres sont perdues pour la transmission de la maladie. Ce « détournement » chez des hôtes incompetents pour la transmission de la zoonose diminue la prévalence chez le vecteur (moustique), l'Homme et le petit rongeur. Si les deux espèces « culs de sacs » (les 2 espèces de chauves-souris) ont disparu de la zone, les piqûres perdues sont réorientées vers les espèces compétentes (l'Homme et le petit rongeur) (Figure 1b). La zoonose se transmet alors et sa prévalence augmente mathématiquement chez le vecteur et les hôtes compétents.

Ce modèle est simple au regard de la complexité des interactions des populations d'espèces différentes dans un écosystème. Par exemple dans les systèmes de zoonoses multi-hôtes, si le réservoir le plus compétent est une communauté pauvre en espèces, la disparition ou l'ajout d'espèces n'aura par définition que peu d'effet sur l'incidence (Keesing *et al.*, 2006). D'autres paramètres doivent être pris en compte comme la fréquence de rencontres entre individus sensibles et infectieux, la probabilité d'infection en cas de rencontre, la mortalité des individus infectés, la densité des hôtes réservoirs infectés, la prévalence de l'infection chez les hôtes réservoirs, l'évolution de la densité des hôtes infectés, la densité des vecteurs infectés et la prévalence de l'infection chez les vecteurs... Cependant les modèles plus complexes et les méta-analyses confirment qu'une riche biodiversité est toujours bénéfique pour contenir la propagation des zoonoses (Kilpatrick *et al.*, 2017). Les déclinés de la biodiversité augmentent les maladies humaines et fauniques et, de plus, diminuent la production agricole et forestière (Civitello *et al.*, 2015).

DISCUSSION

Depuis les années 1950, nous vivons une période de changement écologique sans précédent dont nous sommes responsables. Nous dégradons de manière suicidaire les grands écosystèmes naturels, en particulier les forêts tropicales pour ouvrir de nouvelles terres agricoles, produire des biocarburants, exploiter les ressources minières et construire de nouvelles villes. Pas étonnant que les services rendus par les écosystèmes se dégradent. La régulation climatique par les grands écosystèmes forestiers tropicaux est perturbée, le cycle de l'eau est dégradé, le rôle de réservoir d'hôtes passifs des espèces sauvages est compromis...

La pression anthropique confine la faune sauvage dans des habitats de plus en plus réduits ce qui favorise les contacts et diminue également le nombre d'espèces susceptibles de retenir ces parasitoses potentiellement transmissibles aux humains. Il n'y a jamais eu autant d'opportunités pour les agents pathogènes de passer des animaux sauvages et domestiques aux humains, causant des zoonoses. Il en résulte une augmentation mondiale des maladies zoonotiques émergentes, des flambées épidémiques récurrentes et une persistance inquiétante des parasitoses négligées dans les pays pauvres (Tableau de synthèse).

Comme nous l'avons également vu, la production agricole animale de masse et à pool génétique hyper-réduit favorise la transmission des parasitoses virales des espèces sauvages aux animaux des élevages industriels, puis à l'Homme dans les mégapoles surpeuplées. Les élevages industriels ne peuvent pas être sanctuarisés à 100%. La biodiversité sauvage ne peut qu'échanger des pathogènes de nouveaux virus prêts à émerger et à « déborder » de ces systèmes de production. Cependant, nous ne devons pas stigmatiser les espèces sauvages. L'extermination des chauves-souris et des pangolins par exemple pour éviter un nouveau Covid-19 serait trop simpliste (Evensen, 2008). De même, accélérer la déforestation et l'élimination des espèces sauvages ne réduirait pas la

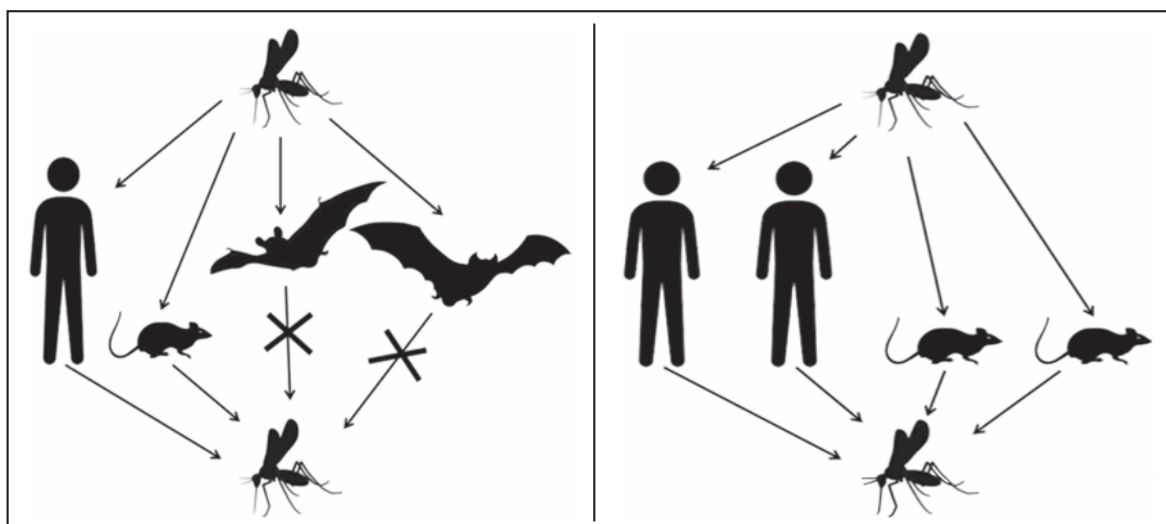


Figure 1a. En présence d'espèces cul-de-sac

Figure 1b. En l'absence d'espèces cul-de-sac

Tableau de synthèse. Principales pandémies virales récentes par létalité cumulée décroissante

Maladie	Virus	Famille	Origine	Date d'apparition	Pays d'origine	Malades	Décès
Grippe espagnole	H ₁ N ₁ Alphainfluenzavirus	Orthomyxoviridae	Volaille + porc	mars 1918	Chine	1000 millions	50 millions
SIDA	HIV-1 & HIV-2 Lentivirus	Retroviridae	Chimpanzé	(1910) 1970s	RDC	70 millions	32 millions
Covid-19	SARS-CoV-2 Betacoronavirus	Coronaviridae	Chauve-souris + probablement pangolin	novembre 2019	Chine	100 millions	> 2,2 millions
Grippe asiatique	Alphainfluenzavirus H ₂ N ₁	Orthomyxoviridae	Volaille + porc	1956-1958	Chine	> 400 millions	> 1 million
Grippe de Hong-Kong	Alphainfluenzavirus H ₃ N ₂	Orthomyxoviridae	Volaille + porc	1968-1970	Chine (Hong-Kong)	> 500 millions	> 1 million
Dengue	Dengue Flavivirus (4 sp.)	Flaviviridae	Primates + moustiques genre <i>Aedes</i>	(1600s) 1980	Asie tropicale	800 millions	600 000
Grippe porcine H ₁ N ₁	H ₁ N ₁ Alphainfluenzavirus	Orthomyxoviridae	Porc	2009	Mexique	900 millions	550 000
Fièvre de Lassa	Lassa fever Mammarenavirus	Arenaviridae	Rat de Natal	2018	Nigéria	10 millions	15 000
Ebola	Ebolavirus sp. (6 sp.)	Filoviridae	Chauve-souris + primates	1976		40 000	13 000
MERS	MERS Betacoronavirus	Coronaviridae	Chauve-souris + dromadaire	avril 2012	Arabie saoudite	2500	850
Fièvre Nil occidental	West Nile Flavivirus	Flaviviridae	Oiseaux + moustiques	(1937) 1999	Ouganda	50 000	5 000
Fièvre de Crimée-Congo	Crimean-Congo hemorrhagic fever Orthonairovirus	Nairoviridae	Oiseaux + tiques	1944 (1980s)	Ouzbekistan Crimée - RDC	50 000	5 000
Fièvre de la vallée du Rift	Rift Valley fever Phlebovirus	Phenuiviridae	Divers mammifères + moustiques	(1900s) 1977	Kenya	250 000	1 000
SRAS	SARS related Betacoronavirus	Coronaviridae	Chauve-souris	novembre 2002	Chine (Hong-Kong)	8 000	800
Grippe aviaire	Alphainfluenzavirus H ₅ N ₁	Orthomyxoviridae	Volaille	1997	Chine	900	500
Infection à virus Nipah	Nipah Henipavirus	Paramyxoviridae	Chauve-souris + porc	1998	Malaisie	800	450
Chikungunya	Chikungunya Alphavirus	Togaviridae	Oiseaux, rongeurs + moustiques genre <i>Aedes</i>	(1952) 2005	Tanzanie	250 000	250
Syndrome pulmonaire à hantavirus	Sin Nombre Orthohantavirus	Hantaviridae	Souris sylvestre américaine	(1918)...1993	USA	100	50
Fièvre Zika	Zika Flavivirus	Flaviviridae	Primates + moustiques genre <i>Aedes</i>	(1947) 1970s	Ouganda	2 millions	quasi aucun

propagation de nouvelles zoonoses mais nous exposerait à de nouvelles catastrophes sanitaires et environnementales (Helmuth *et al.*, 2020) d'ampleur inédite...

LEÇONS POUR LE FUTUR / PERSPECTIVES

Les scientifiques, romanciers et réalisateurs de cinéma avaient pourtant bien prévu. En 1994, Laurie Garrett publiait « La peste à venir » et Richard Preston « Virus » un autre roman bioapocalyptique. Au cinéma, citons en 2011 « Contagion » de Steven Soderbergh mettant en scène une pandémie virale mondiale débordant d'une espèce de chauve-souris rappelant la zoonose Nipah et prémonitrice de l'actuelle Covid-19.

Reconnaissant les liens étroits entre recrudescence / émergence de pandémies et dommages à la biodiversité, l'initiative « One Health » (Une seule santé), lancée en 2004 par l'Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) et diverses ONG, vise à promouvoir des réponses multisectorielles face aux risques alimentaires, aux risques issus des zoonoses et aux autres menaces pour la santé publique à l'interface homme-animal-écosystème, et donner des orientations sur la façon de les réduire.

Cette vision globale indispensable pour l'avenir (Cunningham *et al.*, 2017) doit être mise en place plus activement et élargie à la trajectoire climatique ainsi qu'au respect environnemental et culturel (Figure 2).

L'émergence et la réapparition de maladies infectieuses menacent non seulement les humains, leurs approvisionnements alimentaires et leurs économies, mais aussi la flore et la faune indispensables aux services écosystémiques. La gestion de l'environnement et notre santé n'ont jamais été aussi clairement liées. Pour gagner les batailles contre les maladies du XXI^e siècle tout en garantissant l'intégrité biologique de la terre pour les générations futures, des approches interdisciplinaires et intersectorielles pour la prévention, la surveillance, le suivi, le contrôle des maladies sont indispensables. Cette stratégie a été déclinée en 12 principes dit « Principes de Manhattan » (Collectif, 2004). Les principales recommandations sont :

- ☛ Reconnaissance du lien essentiel entre les santés humaine, animale (domestique et sauvage) et l'état de la biodiversité en général
- ☛ Importance de la gestion des écosystèmes sur la santé publique
- ☛ Inclusion de la santé de la faune comme une composante essentielle de la prévention, de la surveillance, du suivi, du contrôle et de l'atténuation des maladies humaines à l'échelle mondiale
- ☛ Réduction du commerce international des espèces sauvages vivantes et de la viande de brousse, non seulement pour protéger les populations d'animaux sauvages, mais aussi pour réduire les risques d'émergence de maladies, de transmission inter-espèces
- ☛ Limiter l'abattage massif d'espèces sauvages en liberté, lutter contre les zoonoses
- ☛ Mieux comprendre les relations entre la santé et l'intégrité des écosystèmes pour améliorer les perspectives d'une planète plus saine...

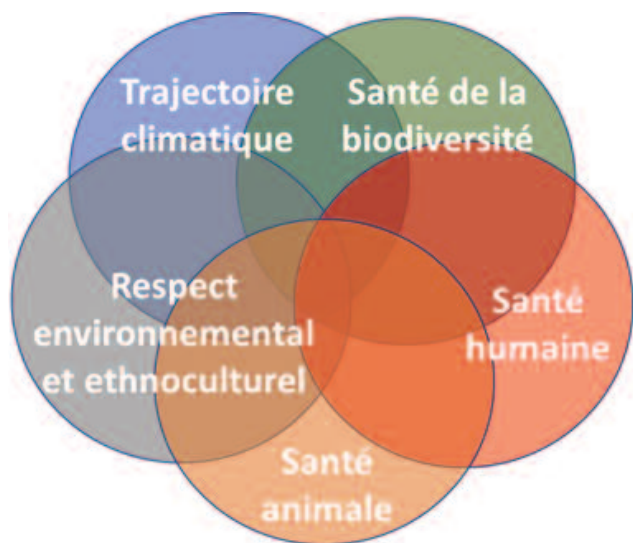


Figure 2. Approche holistique du développement durable

CONCLUSION

Avec l'éradication de la variole en 1977 et le développement de très nombreux vaccins, nous étions convaincus que les maladies infectieuses allaient être bientôt maîtrisées et seraient moins préoccupantes que les cancers et les maladies cardiovasculaires.

Or, l'émergence des pandémies virales récentes (SIDA, Ebola, SRAS, Chikungunya, Zika, grippez H₅N₁, H₁N₁, ...) (Braly et Yazdanpanah, 2016) nous oblige à réviser notre optimisme, car les zoonoses représentent un problème de santé publique de plus en plus fréquent et inquiétant (Ryan *et al.*, 2020) Cf. Tableau de synthèse des principales pandémies récentes. L'Homme par son nombre, sa densité et ses comportements est maintenant l'espèce la plus parasitée avec plus de mille parasites et pathogènes identifiés (Morand, 2016). Ces crises sanitaires doivent être interprétées comme des alarmes et doivent nous contraindre à une prise de conscience accélérée et à un traitement des causes profondes.

Ainsi l'épidémie de SARS-CoV-2 (COVID-19) qui a débuté en novembre 2019 à Wuhan et imposé le confinement de plus de 3 milliards de personnes, perturbé les économies de tous les pays du monde en faisant plus de 2 millions de victimes à ce jour nous met en face de la réalité. Ce microscopique virus de chauve-souris devrait amener notre espèce omnipotente et omniprésente sur la planète à davantage de modestie et nous pousser à agir pour un développement véritablement durable (Morand, 2020). La principale option devrait être une approche holistique de développement durable (comme *One Health*) intégrant les problématiques planétaires interdépendantes de santé environnementale, humaine et animale, dans le respect des objectifs climatiques et écologiques. Ce n'est qu'en raisonnant et en agissant à l'échelle globale, que nous pourrions diminuer le risque d'émergence de zoonoses et de maladies parasitaires.

GLOSSAIRE

COVID-19	<i>Coronavirus disease 2019</i> en anglais
Chikungunya	« maladie de l'homme courbé » en Makondée (langue du Sud-est de la Tanzanie)
Ebola	nom d'une rivière au Nord de la République Démocratique du Congo, province de Mongala
Lassa	ville du Nord-Est du Nigeria dans l'état de Borno
MERS	<i>Middle East Respiratory Syndrome</i> en anglais = syndrome respiratoire du Moyen-Orient
Nipah	nom d'une rivière à coté de Port Dickson dans l'état du Negeri Sembilan en Malaisie
SARS	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome</i> en anglais = Syndrome Respiratoire Aigu Sévère (SRAS)
SIDA	Syndrome d'ImmunoDéficience Acquis
Zika	nom d'une forêt marécageuse en bordure du lac Victoria près d'Entebbe, Région Centrale de l'Ouganda
Zoonose	maladie infectieuse qui se transmet naturellement de l'animal à l'homme (définition OMS)

REMERCIEMENTS

À *World Animal Protection*, l'ONG Canadienne qui a autorisé la publication de ses photographies dans cet article. (<https://www.worldanimalprotection.ca>)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Braly J.-P. et Yazdanpanah Y. (2016) *Les maladies émergentes Zika, Ébola, Chikungunya... Comprendre ces infections et les prévenir au quotidien*, Editions Quae, Versailles, 160 p.

Civitello D.J., Cohen J. *et al.* (2015) Biodiversity inhibits parasites: Broad evidence for the dilution effect, *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 112, 8667–8671.

Collectif (2004) <http://www.oneworldonehealth.org>

Cunningham A.A., Daszak P. *et al.* (2017) One Health, emerging infectious diseases and wildlife: two decades of progress? *Phil. Trans. R. Soc. B*, 372, 20160167.

Dawood F.S., Luliano D. *et al.* (2012) Estimated global mortality associated with the first 12 months of 2009 pandemic influenza A H₁N₁ virus circulation: a modelling study, *Lancet Infect. Dis.*, 12, 687-95.

Dimonaco N.J., Salavati M. *et al.* (2021) Computational analysis of SARS-CoV-2 and SARS-like coronavirus diversity in human, bat and pangolin populations, *Viruses*, 13, 49. doi.org/10.3390/v13010049.

do Vale B., Lopes A.P. *et al.* (2021) Bats, pangolins, minks and other animals - villains or victims of SARS-CoV-2? *Vet. Res. Commun.*, 45, 1-19.

Epstein J.H., Field H.E. *et al.* (2006) Nipah Virus: Impact, Origins, and Causes of Emergence, *Current Infectious Disease Reports*, 8, 59-65.

Evensen D.T. (2008) Wildlife disease can put conservation at risk, *Nature*, 452, 282.

Faria N.R., Rambaut A. *et al.* (2014) The early spread and epidemic ignition of HIV-1 in human population, *Science*, 346, 56-61.

Furuse Y., Suzuki A. *et al.* (2010) Origin of measles virus: divergence from rinderpest virus between the 11th and 12th centuries, *Virology Journal*, 7, 52.

Gibb R., Redding D.W. *et al.* (2020) Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems, *Nature*, 584, 398-402.

Gostin L.O., Lucey D. *et al.* (2014) The Ebola epidemic: a global health emergency, *Journal American Medical Association*, 312, 1095-1096.

Guan Y. and Zheng B.J. (2003) Isolation and Characterization of Viruses Related to the SARS Coronavirus from Animals in Southern China, *Science*, 302, 276-278.

Harbeck M., Seifert L. *et al.* (2013) *Yersinia pestis* DNA from skeletal remains from the 6th Century AD reveals Insights into Justinianic plague, *PLOS Pathogens*, 9, 5, e1003349.

Harper K. (2017) *The fate of Rome, climate, disease, and the end of an empire*, Princeton University Press, Princeton (NJ-USA), 418 p.

Helmuth L., Breinard C. *et al.* (2020) To stop pandemics, stop deforestation, *Scientific American*, 322, 8. doi:10.1038/scientificamerican0620-8.

Houlihan C., and Behrens R. (2017) Lassa fever, *British Medical Journal*, 358, j2986.

Jones K.E., Patel N.G. *et al.* (2008) Global trends in emerging infectious diseases, *Nature*, 451, 990-993.

Keesing F., Holt R.D., Ostfeld R. S. (2006) Effects of species diversity on disease risk, *Ecology Letters*, 9, 485-498.

Kilpatrick A.M., Salkeld D.J. *et al.* (2017) Conservation of biodiversity as a strategy for improving human health and well-being, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 372, 20160131.

Lovejoy T.E. (1980) *Foreword* dans Soulé M.E. & Wilcox B.A. (eds.) *Conservation Biology. An Evolutionary-Ecological Perspective*, v-ix, Sunderland (MA, USA), Sinauer Associates Inc., 395 p.

Morand S. (2016) *La prochaine peste - Une histoire globale des maladies infectieuses*, Paris, Eds Fayard, 304 p.

Morand S. (2020) *L'homme, la faune sauvage et la peste*, Paris, Eds Fayard, 352 p.

Li X.G., Zai J.J. *et al.* (2020) Evolutionary history, potential intermediate animal host, and cross-species analyses of SARS-CoV-2, *Journal Medical Virology*, 92, 602–611.

OMS (2015) *Blueprint for R&D preparedness and response to public health emergencies due to highly infectious pathogens*, <https://www.who.int/blueprint/what/research-development/meeting-report-prioritization.pdf>.

Ostfeld R.S. (2009) Biodiversity loss and the rise of zoonotic pathogens, *Clin. Microbiol. Infect.*, 15 Suppl 1, 40-43.

Ryan E.T., Hil D.R. *et al.* (2020) *Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases*, 10th Edition, New York City (NY, USA), Elsevier, 1236 p.

Wilson E.O. (ed) (1988) *Biodiversity*, National Academy of Sciences (U.S.), Washington (DC, USA), Smithsonian Institution National Academy Press, 538 p.

Wilson E.O. (1996) Chapter 1 : Introduction p. 1–3 in Reaka-Kudla M.L., Wilson D.E., Wilson E.O. (eds) *Biodiversity II: understanding and protecting our biological resources*, Washington (DC, USA), Joseph Henry Press, 560 p.