

MALADIES INFECTIEUSES ET CONSERVATION DES ESPÈCES ANIMALES : RÔLE ACTIF DES ZOOS DANS LA RECHERCHE ET LA LUTTE CONTRE LES RISQUES SANITAIRES MENAÇANT LA BIODIVERSITÉ

INFECTIOUS DISEASES AND CONSERVATION OF ANIMAL SPECIES: ACTIVE ROLE OF ZOOS IN RESEARCH AND THE FIGHT AGAINST HEALTH RISKS THREATENING BIODIVERSITY

Alexis LÉCU¹

(Communication présentée le 18 novembre 2021, manuscrit accepté le 8 octobre 2022)

RÉSUMÉ

Le déclin frappant actuellement la biodiversité animale a des causes multifactorielles. Cofacteur parfois mineur, les maladies infectieuses peuvent avoir un impact catastrophique lorsqu'elles touchent une population animale par ailleurs déjà affaiblie et la conduire jusqu'à l'extinction comme le prouvent certains exemples du dernier siècle écoulé. Les parcs zoologiques peuvent s'avérer des acteurs déterminants pour lutter contre ce risque infectieux ; s'appuyant sur des standards zootechniques et vétérinaires élevés, ils savent conserver les espèces à l'abri des principaux agents pathogènes et préparer le profil des animaux à un retour dans leur biotope en cas de réintroduction. Ils soutiennent la recherche sur les maladies *in situ*, en participant au financement, à l'organisation et parfois à l'expertise nécessaire à la lutte sur le terrain. Enfin, ils ont un rôle majeur dans la recherche en termes d'épidémiologie, diagnostic, traitements et prophylaxies grâce au suivi et retour d'expérience des individus dont ils prennent soin.

Mots clés : Maladies infectieuses, biodiversité, faune sauvage, zoo

ABSTRACT

The sharp decrease of animal biodiversity has multifactorial origin. Often minor as a standalone cause, impact of infectious diseases may turn out to be dramatic when hitting a population already weakened, and can drive it to extinction, as several examples of the last century are teaching us. Zoological institutions can stand as major stakeholders to fight these infectious hazards; through their high level of husbandry and veterinary care, they know how to keep populations free from this risk and prepare animals to reintroduction requirements. They also support in situ research with participation to organization, funding or bringing appropriate expertise to fight infectious diseases in the field. At last, they're also major stakeholders of research regarding epidemiology, diagnostic, treatment and prophylaxis based on the knowledge built upon daily monitoring of animals they're taking care of.

Keywords: infectious diseases, biodiversity, captive wildlife, zoo

INTRODUCTION

En 2022, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) compte près de 9 000 espèces végétales et animales en danger critique d'extinction (« CR » pour *Critically Endangered*), ce qui représente à la fois un chiffre jamais atteint depuis la création des critères et indicateurs « CR », mais surtout une

cinématique inquiétante, puisqu'il s'agit d'une multiplication par 4 de ce chiffre en moins de 20 ans, et un doublement durant les 8 dernières années (IUCN, 2022). Les deux derniers rapports de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) ont eux aussi clairement montré l'effondrement de la biodiversité animale, que ce soit sous l'angle du risque pour les écosystèmes

¹ Directeur Scientifique et Responsable Vétérinaire du Parc Zoologique de Paris, 53 avenue de Saint Maurice. 75012 Paris.
courriel : alexis.lecu@mnhn.fr

(Bongaarts, 2019) ou sous celui de l'émergence des pandémies (Daszak *et al.* 2020). L'IPBES définit clairement 5 à 6 grandes catégories de causes à ce déclin, lesquelles ont des poids relatifs en fonction des espèces et des écosystèmes :

- La perte ou la dégradation de l'habitat
- La surexploitation
- La pollution
- Les effets climatologiques
- La compétition avec des espèces invasives
- Les maladies infectieuses.

Ces menaces vont non seulement s'additionner sur les populations animales, mais leurs effets sont malheureusement synergiques (Heard *et al.* 2013), menant alors à un rythme de baisse des effectifs de plus en plus prononcé. On constate généralement que le poids seul des maladies infectieuses est souvent faible par rapport à celui de la pollution ou la perte d'habitat ; mais lorsque les facteurs se combinent (exemple : une pollution entraîne un dysfonctionnement immunitaire, les animaux deviennent alors plus sensibles à un agent pathogène) les effets deviennent souvent graves car ils ont tendance à se potentialiser. Enfin, l'impact infectieux peut être catastrophique sur les espèces les plus menacées déjà en grandes difficultés démographiques (Figure 1), et peut devenir le dernier événement emportant le taxon vers l'extinction.

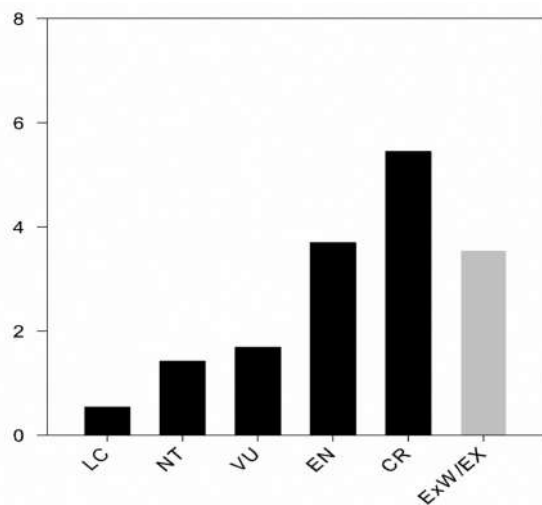


Figure 1 : Proportion d'espèces menacées sous le risque principal d'une maladie infectieuse, valeurs de l'année 2013 pour Oiseaux+Amphibiens+Mammifères, selon les catégories de la Liste Rouge de l'UICN (LC : préoccupation mineure, NT : quasi menacé, VU : Vulnérable, EN : En danger, CR : en danger Critique, ExW/Ex : disparu dans le milieu naturel). D'après Heard *et al.* 2013.

Quelques exemples contemporains

Pour illustrer le poids que peut prendre le risque infectieux dans ce sombre tableau, il suffit de regarder le dernier siècle écoulé, dans lequel on recense quelques exemples où les maladies infectieuses ont été la cause principale, parfois terminale, de la disparation d'espèces de vertébrés.

- Entre 1888 et 1908, deux espèces endémiques de rats de Christmas Island (au sud de Jakarta), *Rattus nativatis* et *Rattus macleari*, disparaissent peu de temps après que le rat noir arrive sur l'île via les bateaux de commerce de plus en plus nombreux. Un siècle plus tard, une équipe de chercheurs (Wyatt *et al.* 2008) confirmera, à l'aide d'analyse génomique sur les spécimens des trois espèces conservés en Musée, que la cause de cette disparition ne fut ni l'hybridation ni la compétition alimentaire, mais bel et bien une infection de *R. nativatis* par des trypanosomes ramenés alors par *R. rattus*, et qui a décimé les rongeurs endémiques en quelques années.

- Fin 2021, l'U.S. Fish and Wildlife Service déclarait 23 espèces d'oiseaux comme éteintes en Amérique du Nord, dont 8 endémiques de l'état / Ile de Hawaï. Des espèces uniques comme le Moho de Kauai (*Moho braccatus*) n'ont plus été vues depuis 20 ou 30 ans sur cette île, où deux maladies infectieuses additionnent leurs impacts sur une avifaune déjà menacée par la perte d'habitat : les poxvirus aviaires et la malaria (particulièrement à *Plasmodium relictum*). Là encore, l'arrivée de moustiques non autochtones, porteurs de ce virus et de ce protozoaire, ont initiés une chaîne de contamination importante, n'ayant par la suite même plus besoin de l'arthropode vecteur pour se propager (pour le poxvirus).

- Entre 2001 et 2021, la population de Koalas (*Phascolarctos cinereus*) s'est effondrée de moitié sur le continent Australien, passant de 185 000 à moins de 90 000 individus en vingt ans. Au-delà des incendies qui font disparaître leur habitat et leurs ressources alimentaires (eucalyptus), une maladie infectieuse fait peser un poids considérable sur ce marsupial : la chlamydie à *Chlamydia pecorum*, dont la prévalence dépasse largement 50% chez cette espèce. Sans mesures drastiques telles que l'euthanasie des animaux porteurs, la plupart des scénarios démographique prédisent une disparation de l'espèce dans le milieu naturel dès 2050 (Wilson *et al.* 2015).

- Enfin, le dernier exemple pour illustrer le poids d'une maladie infectieuse sur la survie d'une espèce ne concerne pas qu'une espèce, mais une classe entière, celles des amphibiens. L'analyse de Schelle *et al.* (2019), pourtant prudente, met déjà en lumière que plus de 500 espèces (soit 6,5% des espèces décrites d'amphibiens) sont en déclin à cause de la chytridomycose, agent pathogène fongique (*Batrachochytrium* spp.) qui gagne les amphibiens sur tous les continents, ce qui représente à ce jour le plus vaste impact d'un agent pathogène en termes de perte de biodiversité.

LES ÉTABLISSEMENTS ZOOLOGIQUES COMME LIEU DE SOUSTRACTION DES POPULATIONS ANIMALES AU RISQUE INFECTIEUX

Lorsque le nombre d'individus se retrouve sous un seuil critique, l'une des seules mesures d'urgence efficace revient souvent à les retirer du milieu naturel pour les soustraire à tous les risques, pour les transférer dans un milieu contrôlé tel celui d'un parc zoologique. Ce fut ainsi le cas du Furet à Pied Noir (*Mustela nigripes*), seule véritable espèce de furet « sauvage », dont la po-

pulation a frôlé l'extinction puisqu'il ne restait plus que 18 individus en 1981 (Santymire *et al.* 2014). A ce niveau, deux agents pathogènes pouvaient éradiquer à tout moment les derniers représentants de l'espèce : la peste (*Yersinia pestis*), qui sévit chez leur proie majoritaire, les chiens de prairies, mais aussi la maladie de Carré, largement répandue chez les carnivores sauvages en Amérique de Nord. Les zoos ont alors mis en place un programme d'élevage et de reproduction en captivité sur la base de ces 18 animaux fondateurs ; 30 ans plus tard, ce sont plus de 8 000 furets qui sont nés dans ces enceintes contrôlées, à l'abri des risques infectieux dont environ la moitié ont déjà été réintroduits sur plusieurs sites nord-américains. Les parcs zoologiques, fédérés en associations comme la *World Association of Zoo and Aquarium* (WAZA), ou ses sections européennes (EAZA), américaines (AZA), etc. gèrent des populations animales désormais à un niveau global de « métapopulation », où les groupes détenus en captivité et les fragments de populations en milieu naturel sont appréhendés comme une seule et même entité. Cela permet de préparer les translocations ou soutien de population en prenant en compte l'« exposome » microbien des animaux de manière plus globale : sur certaines espèces de lémuriers folivores comme les Propitèques, on sait qu'à Madagascar les animaux peuvent être porteurs asymptomatiques de flavivirus très spécifiques d'espèces (Canuti *et al.* 2019), tandis qu'on surveillera les entéropathogènes sur les animaux plus proches de l'être humain, notamment pour les gènes d'antibiorésistance qu'ils pourraient accumuler au contact de ce dernier (Figure 2).



Figure 2 : Propitèque couronné (*Propithecus coronatus*) au Parc Zoologique de Paris (©F-G Grandin, MNHN).

Il reste moins d'un millier d'individu à Madagascar, et le plan d'élevage de l'EAZA gère à la fois une population d'une vingtaine d'animaux en Europe, mais aussi une méta population, en forêts fragmentées à Madagascar.

Cela peut parfois permettre d'étendre les mesures de prophylaxie sanitaire à l'ensemble des groupes, et de prévenir les conséquences néfastes d'agents pathogènes parfois compliqués à appréhender dans le milieu naturel. On peut illustrer cette démarche avec l'exemple du Diable de Tasmanie (*Sarcophilus harrisii*), tristement célèbre pour être la première espèce animale chez laquelle un processus tumoral contagieux a été mis en évidence (le « *Devil Facial Tumor Disease* »). Il ne reste guère plus de 20 000 de ces marsupiaux carnivores, uniquement en Tasmanie et ce cancer transmissible qui les touche entraîne un taux de mortalité proche des 100%. Une population de sauvegarde a été rapidement gérée au sein d'un programme impliquant une quarantaine de zoos australiens (Grueber *et al.* 2019), qui ont été capables en quelques dizaines d'années de produire plus d'un millier de diables de Tasmanie, en conservant surtout une diversité génétique intacte, élément décisif pour résister à ce fléau pour lequel la variabilité génétique du système immunitaire semble déterminante. Le plan d'élevage australien héberge ainsi plus de 730 diables de Tasmanie, tandis qu'une section européenne (*European Ex Situ Program* : EEP) commence avec quelques zoos et une vingtaine d'individus.

LA MAÎTRISE DU RISQUE INFECTIEUX DANS LE CADRE DES RÉINTRODUCTIONS

Même si les actions de réintroductions depuis les zoos ne sont pas encore assez significatives en nombre d'individus, elles restent importantes et parfois décisives pour le maintien de certaines espèces dans le milieu naturel, qu'il soit originel ou non. L'avantage conséquent apporté par les institutions zoologiques est le contrôle important qui peut y être mené, notamment du point de vue sanitaire et médical. Cela fait des zoos un lieu d'origine idéal pour permettre de prévenir deux catégories de risques infectieux connus dans le cadre de la réintroduction :

1. Éviter de contaminer les animaux et le site de réintroduction avec des agents pathogènes non présents dans le milieu et pour lesquels le ou les espèces encore présentes *in situ* n'ont pas de compétence immunologique préalable. Il s'agit ici de ne pas exporter d'agents pathogènes présents en zoos dans les biotopes naturels, ce qui s'est déjà produits lorsque les sources de réintroduction étaient moins fiables que les zoos. Cela a déjà pu être mis en évidence (Ewen *et al.* 2012), notamment lors de réintroduction de crapaud accoucheur (*Alytes muletensis*) depuis des élevages captifs, avec des animaux porteurs du chytrides (encore non dépisté à l'époque), ou encore lors de relâcher à Sumatra d'orang outangs porteurs de mycobactéries contractées auprès des personnes les ayant élevés dans des centres de sauvegardes locaux. L'OIE et l'IUCN font des recommandations assez précises en fonction des espèces sur les dépistages à effectuer en amont de tels projets de réintroduction, et les zoos ont globalement un bon accès à tous les outils diagnostics pour effectuer ces dépistages en amont.

2. À l'inverse, les animaux introduits doivent être aussi capables de gérer leur exposition chronique aux agents infectieux habituels présents dans ce milieu. Si l'on prend l'exemple des réintroductions de bisons d'Europe (*Bison bonasus*), il convient de ne pas vouloir absolument « stériliser » les bisons candidats de toute présence parasitaire en multipliant les traitements anthelminthiques

en amont d'une réintroduction, car cela empêchera le système immunitaire des individus d'apprendre à gérer la future exposition à des parasites similaires une fois dans leur milieu naturel (Kołodziej-Sobocinska *et al.* 2018).

LES ZOOS : SOUTIEN DES PROJETS DE LUTTE CONTRE LES MALADIES INFECTIEUSES DANS LE MILIEU NATUREL

La lutte contre les maladies infectieuses nécessite la mise en commun des connaissances et le partage des idées, le choix de stratégies, d'outils de diagnostics ou de traitements. À travers le monde, de nombreux congrès, symposiums et autres groupes de travail permettent d'échanger sur ces sujets, pour faire monter en compétence l'ensemble des acteurs. Les zoos ne sont certes pas tous des centres de recherche pointus, mais ils sont très souvent des supports solides pour ces actions de partage, en assistance financière et/ou logistique : parmi les maladies touchant dramatiquement les mêmes espèces dans le milieu naturel et en captivité, l'Herpès virus endothélioïdique de l'éléphant (EEHV) représente à la fois une menace pour l'avenir de la population des éléphants d'Asie en zoo (mortalité très élevée chez les jeunes), tandis que les études révèlent aussi une prévalence étonnamment élevée chez les troupeaux sauvages en Asie (Prompiam *et al.* 2021). Le Taxon Advisory Group des Éléphants (« Elephant TAG ») de l'EAZA, les plans d'élevage européen (EEP) et américains (SSP) et tous les zoos possédant des éléphants contribuent à financer les recherches sur ce virus et organiser la logistique pour réunir des groupes de travail permettant de mettre en commun les données les plus récentes pour lutter contre ce fléau qui occasionne jusqu'à 70% de mortalité chez les pachydermes. En Asie, les grands zoos patronnent les symposiums de recherche sur ce virus.

Au-delà d'un seul soutien financier, les zoos prêtent aussi main forte pour la lutte contre le risque infectieux ;

- soit directement en envoyant du matériel adapté (traitements, diagnostics rapides, etc..) voire du personnel expérimenté (vétérinaires, biologistes) sur place afin d'aider à évaluer ou lutter contre les maladies infectieuses ; ce fut le cas de vétérinaires de l'Association Francophone des Vétérinaires des Parc Zoologique (AFVPZ) partis à Mayotte pour étudier l'exposition des lémmings bruns (*Eulemur fulvus*) à divers virus et bactéries (Quintard *et al.* 2019) ;
- soit indirectement en rendant certaines phases de cette lutte plus aisées, comme par exemple en développant ou améliorant des protocoles anesthésiques plus rapides et plus sûrs chez certaines espèces, rendant ainsi les dépistages sur le terrain plus faciles et moins risqués.

La mise en commun des connaissances s'illustre enfin par l'existence d'un groupe de travail sur les maladies infectieuses, dépendant de l'EAZA et de son pendant vétérinaire l'EAZWV (*European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians*). L'*Infectious Diseases Working Group* édite en particulier le « *Transmis-*

sible Diseases Handbook », désormais librement accessible en ligne (https://www.eazwv.org/general/custom.asp?page=inf_handbook), et qui synthétise les connaissances actuelles sur chaque maladie infectieuse sous la forme de fiches, conjointement écrite et relue par des vétérinaires, des universitaires, des biologistes, des pathologistes ayant eu à gérer l'agent pathogène ou qui en sont spécialistes. Plus de 190 fiches et des chapitres généraux peuvent ainsi aider les vétérinaires de zoos, mais aussi les agents de l'administration, etc.. Ainsi, tout acteur cherchant une vue panoramique sur la survenue d'une maladie infectieuse dans la faune sauvage trouvera les principales informations et, encore plus important, le contact de collègues en ayant l'expérience.

LE ZOO : AVANTAGES D'UN ENVIRONNEMENT UNIQUE

Les individus présents en parc zoologique ont une position sanitaire unique puisque soumis à une pression infectieuse souvent moins importante et bien mieux maîtrisée que dans les biotopes naturels, et que les prescriptions réglementaires obligent au dépistage voire à l'absence de nombreuses maladies. C'est pourquoi, en complément des études de terrain, les échantillons provenant des individus de zoos permettent par exemple de comprendre comment fonctionne le système immunitaire lorsqu'il n'est pas soumis aux agents pathogènes qu'on trouve maintenant dans son milieu naturel et de disposer de références sans contaminations chroniques environnementales. Pour les espèces sauvages, ce « Zéro » infectieux ne peut se trouver qu'en milieu contrôlé tel que le zoo, et permet d'apporter de précieux renseignements sur la physiologie, le métabolisme ou encore l'immunologie des espèces sauvages. On peut ainsi étudier le fonctionnement basal de certaines cytokines chez les chiroptères sous une pression virale faible ou inexistante, ce qui permet de mieux appréhender leurs fonctionnements complexes lorsque ces mêmes espèces sont exposées à de nombreux virus sans pour autant faire de formes cliniques, comme avec les coronavirus (Bondet *et al.* 2021).

De même, lorsqu'on cherche à caractériser la réponse immunitaire cellulaire et humorale à l'infection tuberculeuse chez une espèce sauvage, il est assez pratique de disposer d'animaux plus facilement « sains » en parc zoologique, ce qui permet d'évaluer le bruit de fond immunologique engendré par les mycobactéries environnementales de manière plus aisée (Lécu & Ball, 2011).

Mais évidemment, les animaux de zoos n'évoluent pas en milieu stérile et restent en particulier exposés aux agents pathogènes de leur environnement, notamment ceux de la faune sauvage et péri-domestique locale. Depuis une quinzaine d'années, les oiseaux de parcs zoologiques de l'hémisphère Nord sont de plus en plus exposés aux virus de l'influenza aviaire, transmis par l'avifaune locale. La surveillance mise en place dans les zoos (Jensen *et al.* 2017) permet d'affiner les outils diagnostiques en les déployant sur une grande diversité d'espèces et ainsi mieux comprendre les possibilités de « circulation silencieuse du virus », mais aussi déterminer les espèces les plus sensibles donc les plus menacées lors de propagations aussi importantes des virus hau-

tement pathogènes H5 ou H7 comme nous les connaissons depuis quelques années.

Au titre des risques apportés par l'humain et ses animaux domestiques dans les zoos, le chat domestique errant peut disséminer la toxoplasmose, maladie provoquée par un protozoaire pour lequel beaucoup d'espèces sauvages peuvent être « naïves » et peuvent développer des formes cliniques mortelles (marsupiaux, primates, mustélidés aquatiques...). À l'inverse du chat domestique, le chat de Pallas (*Octolobus manul*) est extrêmement sensible à ce protozoaire, pour lequel des études épidémiologiques sont déployées en zoo, pour comprendre les modes de transmission et la physiopathologie précise : cela directement aide à prévenir ce danger qui se rapproche des populations mongoles pour cette même espèce (Brown *et al.* 2005).

Développement d'outils diagnostics et de traitements

Les zoos modernes disposent maintenant d'importants plateaux techniques vétérinaires grâce auxquels l'animal sauvage captif victime d'une infection peut être pris en charge plus facilement et exhaustivement que son *alter ego* dans le milieu naturel : ceci permet ainsi d'être plus complet sur les moyens diagnostics appliqués et de les affiner par une approche individuelle quasiment impossible à réaliser en milieu sauvage.

La tuberculose est une menace infectieuse pesant sur beaucoup de mammifères, domestiques et sauvages, captifs ou non. Le diagnostic *ante mortem* de cette maladie bactérienne est un défi pour tous les animaux et pouvoir élaborer des tests indirects présentant de bonnes performances en terme de valeur prédictive est un objectif pour plusieurs plans de gestion de faune sauvage : les essais menés en zoo, où les sensibilités et spécificités peuvent être plus facilement estimées par la connaissance de chaque individu, permettent ensuite d'exporter directement les mêmes tests sur le terrain, à l'instar des tests sérologiques sur les lions en Afrique du Sud (Miller *et al.* 2019) ou des tests à l'interféron gamma sur les éléphants (Paudel *et al.* 2016).

Pour certaines menaces infectieuses, la réponse d'une prophylaxie active sous la forme du déploiement d'un vaccin sur les populations sauvages peut parfois se poser. Afin de protéger les espèces d'oiseaux les plus menacées du risque d'influenza aviaire, les parcs zoologiques européens ont eu dès 2006 la dérogation de pouvoir vacciner leurs oiseaux. Dans certains pays comme la France ou le Danemark, l'outil vaccinal a été employé annuellement dans beaucoup d'établissements zoologiques, ce qui représente désormais plus de 16 ans d'application vaccinale sur des centaines d'espèces différentes. Cette expérience unique permet de tirer des conclusions sur l'innocuité du vaccin (Lécu *et al.* 2009) mais aussi sur le niveau de protection conféré, et bientôt même sur le comportement des virus influenza au sein de populations disposant d'un certain niveau de protection humorale.

Même exemple chez les carnivores menacés : l'utilisation de vaccins contre la maladie de Carré ou la parvovirose chez les carnivores en zoo permet d'en définir les doses efficaces, d'évaluer des intervalles de rappel, de choisir des technologies vacci-

nales avec le meilleur rapport innocuité / efficacité, ce qui permet ensuite de pouvoir intervenir parfois en urgence sur des populations sauvages comme celles des lycaons (Anderson & Smith, 2019) dont les quelques 6 600 individus restant en Afrique sont exposés à la rage et aux morbillivirus des chiens féroces.

Mieux évaluer la menace infectieuse de l'être humain pour l'animal

Si les animaux sauvages de parcs zoologiques sont en effet soumis à une pression microbienne souvent moindre que dans leurs écosystèmes natifs, ils restent par définition hébergés dans un milieu très anthropisé, puisque entourés de visiteurs et gérés, nourris, nettoyés quotidiennement par des soigneurs et vétérinaires. L'enjeu des zoonoses est donc au cœur des plans de prévention dans les zoos (Bourgeois & Lécu, 2012), mais il permet aussi d'apprendre à gérer le risque infectieux apporté par l'humain vers l'animal (parfois nommé zooanthropozoonose, rétrozoonose ou encore zoonose inverse), puisque l'être humain envahit inexorablement tous les milieux où vivent les espèces sauvages.

Les gestionnaires de zoos savent par exemple depuis longtemps qu'il est important de gérer le risque des virus influenza, para influenza et les coronavirus liés aux rhumes et gripes humaines lorsqu'il s'agit de travailler avec les anthropoïdes (gorilles, chimpanzés...). Ainsi, on trouve des règles de biosécurité similaires entre les enclos de zoo et les réserves naturelles où résident les grands singes.

Ces deux dernières années, le SARS-Cov-2 est devenu le risque emblématique de cette menace infectieuse de l'espèce humaine pour l'animal. Il est alors intéressant de noter que, malgré plusieurs dizaines de cas chez les grands félins ou quelques grands singes en zoo, l'incidence est restée très faible au regard des populations exposées, et qu'aucun réservoir ne s'est créé dans les zoos. Avec une échelle épidémiologique moindre, les zoos ont ici dessiné un modèle épidémiologique certes biaisé, mais où leur suivi du SARS-Cov-2 reflète finalement le fait que, contrairement à plusieurs prédictions initiales, les primates ou les carnivores de la planète ne sont pas devenus de gigantesques réservoirs ambulants de ce coronavirus avant tout très adapté à l'être humain.

CONCLUSION

Depuis des dizaines d'années, l'approche « Une seule santé » est une réalité quotidienne dans le travail et la démarche propédeutique de tous les vétérinaires de zoos (Sulzner *et al.* 2021).

Si la résilience de la faune sauvage aux attaques infectieuses est connue et documentée, l'anthropisation des écosystèmes la rend parfois moins spontanée et elle ne peut parfois naître que sous certaines actions humaines : la lutte vétérinaire contre les maladies transmissibles fait clairement partie de ces actions, et elle peut prendre naissance au cœur des médecines dites « zoologiques » ou encore « de la conservation ».

Dans une époque où la société civile se pose parfois des questions sur les motifs justifiant la détention d'espèces sauvages en captivité, les zoos affichent ici une utilité directe dans la conservation

d'espèces en danger d'extinction : en gérant des groupes « *ex situ* », ils savent répondre au besoin de renforcement « *in situ* » de ces populations, parfois même jusqu'à la réintroduction d'espèces disparues, mais participent aussi à l'étude du risque infectieux. Souvent sentinelle, parfois « groupes modèle », mais consti-

tuant toujours un soutien concret, le réseau des parcs zoologiques est plus que jamais une aide de terrain à la sauvegarde de la biodiversité, et face aux enjeux annoncés, il se démontre capable de réagir en temps réel pour participer à la lutte contre les menaces microbiologiques.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier tous les membres de l'AFVPZ, qui fournissent chaque jour un travail scientifique indispensable auprès d'espèces sauvages en danger.

Merci aussi au Groupe de Travail sur les Maladies Infectieuses de l'European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians, dont chaque membre apporte une expertise bénévole mais si rigoureuse à l'effort collectif que nous devons au règne animal.

BIBLIOGRAPHIE

- UICN, Union International pour la Conservation de la Nature. Red List Summary Statistics. 2022. Disponible à https://nc.iucnredlist.org/redlist/content/attachment_files/2022-1_RL_Stats_Table_2.pdf (consulté le 25.07.2022).
- Bongaarts, J. (2019), IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Population and Development Review, 45: 680-681.
- Daszak P, das Neves C, Amuasi J, Hayman D, Kuiken T, Roche B *et al.* IPBES Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2020. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- Heard MJ, Smith KF, Ripp K, Berger M, Chen J, Dittmeier J, *et al.* The threat of disease increases as species move toward extinction. *Conserv Biol.* 2013 Dec; 27(6): 1378-1388.
- Wyatt KB, Campos PF, Gilbert MT, Kolokotronis SO, Hynes WH, DeSalle R, Ball SJ *et al.* Historical mammal extinction on Christmas Island (Indian Ocean) correlates with introduced infectious disease. *PLoS One.* 2008; 3(11): e3602.
- Paxton EH, Camp RJ, Gorresen PM, Crampton LH, Leonard DL Jr, VanderWerf EA. Collapsing avian community on a Hawaiian island. *Sci Adv.* 2016 Sep 7; 2(9): e1600029.
- Wilson DP, Craig AP, Hanger J, Timms P. The paradox of euthanizing Koalas (*Phascolarctos cinereus*) to save populations from elimination. *J Wildl Dis.* 2015 Oct;51(4):833-42.
- Scheele BC, Pasmans F, Skerratt LF, Berger L, Martel A, Beukema W, *et al.* Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiversity. *Science.* 2019 Mar 29; 363(6434): 1459-1463.
- Canuti M, Williams CV, Sagan SM, Oude Munnink BB, Gadi S, Verhoeven JTP, Kellam P, Cotten M, Lang AS, Junge RE, Cullen JM, van der Hoek L. Virus discovery reveals frequent infection by diverse novel members of the Flaviviridae in wild lemurs. *Arch Virol.* 2019 Feb; 164(2): 509-522.
- Santymire RM, Livieri TM, Branvold-Faber H, Marinari PE. The black-footed ferret: on the brink of recovery? *Adv Exp Med Biol.* 2014; 753: 119-34.
- Ewen JG, Acevedo-Whitehouse K, Alley MR, Carraro C, Sainsbury AW, Swinnerton K, Woodroffe R. Empirical Consideration of Parasites and Health in Reintroduction. In : *Reintroduction Biology.* Ewen JG, Armstrong DP, Parker KA, Seddon PJ, editors. John Wiley & Sons, Chichester; 2012, pp 290-335.
- Kołodziej-Sobocińska M, Demiaszkiewicz AW, Pyziel AM, Kowalczyk R. Increased Parasitic Load in Captive-Released European Bison (*Bison bonasus*) has Important Implications for Reintroduction Programs. *Ecohealth.* 2018 Jun;15(2):467-471.
- Prompiram P, Wiriyarat W, Bhusri B, Paungpin W, Jairak W, Sripiboon S, Wongtawan T. The occurrence of elephant endotheliotropic herpesvirus infection in wild and captive Asian elephants in Thailand: Investigation based on viral DNA and host antibody. *Vet World.* 2021 Feb;14(2):545-550.
- Quintard B, Lefaux B, Lécu A, Niphuis H, Roux P, Ortiz K. Biomedical evaluation of a brown lemur (*Eulemur fulvus* spp.) population from Mbouzi islet, Mayotte island. *J Zoo Wildl Med.* 2019 Sep; 50(3): 650-658.
- Bondet V, Le Baut M, Le Poder S, Lécu A, Petit T, Wedlarski R, Duffy D, Le Roux D. Constitutive IFN α Protein Production in Bats. *Front Immunol.* 2021 Nov 1;12:735866.
- Lécu A & Ball R. Mycobacterial infections in zoo animals: relevance, diagnosis and management. *International Zoo Yearbook* 2011, 45: 183-202.
- Jensen TH, Andersen JH, Hjulsager CK, Chriél M, Bertelsen MF. Evaluation of a commercial competitive enzyme-linked immunosorbent assay for detection of avian influenza virus subtype H5 antibodies in zoo birds. *J Zoo Wildl Med.* 2017 Sep; 48(3): 882-88.
- Brown M, Lappin MR, Brown JL, Munkhtsog B, Swanson WF. Exploring the ecologic basis for extreme susceptibility of Pallas' cats (*Otocolobus manul*) to fatal toxoplasmosis. *J Wildl Dis.* 2005 Oct;41(4):691-700.
- Miller MA, Buss P, Sylvester TT, Lyashchenko KP, deKlerk-Lorist LM, Bengis R, Hofmeyr M, Hofmeyr J, Mathebula N, Hausler G, Helden PV, Stout E, Parsons SDC, Olea-Popelka F. *Mycobacterium bovis* in free-ranging lions (*Panthera leo*) - evaluation of serological and tuberculin skin tests for detection of infection and disease. *J Zoo Wildl Med.* 2019 Mar 1; 50(1): 7-15.
- Paudel S, Villanueva MA, Mikota SK, Nakajima C, Gairhe KP, Subedi S, Raya-



majhi N, Sashika M, Shimozuru M, Matsuba T, Suzuki Y, Tsubota T. Development and evaluation of an interferon- γ release assay in Asian elephants (*Elephas maximus*). J Vet Med Sci. 2016 Aug 1; 78(7): 1117-21.

• Lécu A, De Langhe C, Petit T, Bernard F, Swam H. Serologic response and safety to vaccination against avian in-

fluenza using inactivated H5N2 vaccine in zoo birds. J Zoo Wildl Med. 2009 Dec; 40(4): 731-43.

• Anderson N, Smith I. Assessing the immunogenicity of an inactivated monovalent vaccine in the endangered African wild dog (*Lycaon pictus*). Vaccine X. 2019 Jan 29; 1: 100006.

• Bourgeois A & Lécu A. Travailler en

parc zoologique : dangers physiques et zoonotiques, moyens de prévention. Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France 165 (2), 2012. 155-161.

• Sulzner K, Fiorello C, Ridgley F, Garelle D, Deem SL. Conservation medicine and One Health in zoos: Scope, obstacles, and unrecognized potential. Zoo Biol. 2021 Jan; 40(1): 44-51.