



**HAL**  
open science

## La santé des écosystèmes : quelle définition ?

Patrick Giraudoux

► **To cite this version:**

Patrick Giraudoux. La santé des écosystèmes : quelle définition ?. Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, 2022, 175, pp.120-139. 10.3406/bavf.2022.70980 . hal-04362783

**HAL Id: hal-04362783**

**<https://hal.science/hal-04362783>**

Submitted on 23 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

# LA SANTÉ DES ÉCOSYSTÈMES : QUELLE DÉFINITION ?

## ECOSYSTEM HEALTH: WHAT IS THE DEFINITION?

Par Patrick GIRAUDOUX\*

(Communication présentée le 3 février 2022, manuscrit accepté le 16 mars 2022)

Cet article est dédié à la mémoire de Patrick Le Bail. Il est, de fait, le co-auteur de la définition proposée ici<sup>1</sup>.

### RÉSUMÉ

La santé d'un écosystème est souvent présentée comme une propriété émergente relative à son « bon fonctionnement ». Suite à la déclaration de l'Académie vétérinaire de France du 17 juillet 2021 sur la santé publique vétérinaire, et à son invitation, le présent article commente la notion à la lumière des connaissances écologiques et propose une définition de la santé des écosystèmes : « État de diversité et de fonctionnement d'un écosystème qui, en tant qu'unité écologique située dans un cadre spatio-temporel délimité, se caractérise par ses propriétés physicochimiques et biologiques, dont sa robustesse et sa résilience, notamment au regard de stress extérieurs. Un écosystème est donc en « bonne santé » s'il préserve le maximum de ses fonctions, de ses dynamiques et de ses capacités évolutives potentielles, ainsi que celles des systèmes qu'il inclut et qui l'incluent. Les différents états de déficit éventuel, ou états de santé, peuvent être qualifiés sur la base d'une démarche (éco)épidémiologique, qui permet de poser un diagnostic, un pronostic, et de proposer des chemins « thérapeutiques », à l'instar des disciplines médicales et vétérinaires. » La place de la santé des écosystèmes au sein du concept « Une seule santé » est ensuite discutée.

**Mots-clés :** Une seule santé, écologie de la santé, santé globale, santé planétaire

### ABSTRACT

*Ecosystem health is often presented as an emergent property relating to its 'proper functioning'. Following the French Veterinary Academy's declaration of the 17th of July 2021 on veterinary health, and the Academy's invitation, this article comments on the notion in the light of ecological knowledge and proposes a definition of ecosystem health: "The state of diversity or functioning of an ecosystem which, as an ecological unit within a defined space and time, is characterised by its physico-chemical and biological properties, including its robustness and resilience to external stresses. An ecosystem is therefore "healthy" if it preserves the maximum potential of its functions, dynamics and evolutionary capacities, as well as those of the systems it includes and which include it. The various states of possible deficit, or states of health, can be qualified on the basis of an (eco)epidemiological approach, which makes it possible to establish a diagnosis and prognosis, and to propose "therapeutic" paths, as in the medical and veterinary disciplines." The place of ecosystem health within the concept of "One Health" is then discussed.*

**Keywords:** one health, ecohealth, global health, planetary health

\* Professeur émérite d'écologie, Chrono-environnement UMR6249 Université Bourgogne Franche-Comté – CNRS, Besançon, France.

Courriel : [patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr](mailto:patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr)

ORCID 0000-0003-2376-0136

1- Une partie majeure de la définition proposée a été travaillée au cours du mois de juillet 2021 avec Patrick Le Bail. Suite à la déclaration de l'AVF du 17 juillet 2021 sur la santé publique vétérinaire, il s'était, avec sa modestie habituelle et selon ses propres termes, « aventuré sur ce sujet ». Il avait alors suivi des séminaires de « Penser la pandémie », un cycle à l'Université de Franche-Comté dont mon collègue philosophe Arnaud Macé et moi-même, écologue, étions à l'initiative. Patrick Le Bail m'avait alors soumis pour avis une première définition déjà très avancée et remarquablement pertinente. S'en étaient suivis des échanges stimulants qui avaient conduit à y ajouter une composante évolutive, sur la base d'articles que j'avais publiés antérieurement (*opus cit.*). L'idée de définir la santé des écosystèmes comme une fraction de réalisation par rapport à un maximum potentiel s'est imposée lors de la préparation de cet article, suite à un séminaire d'Alain Brauman, chercheur IRD, à propos de la « santé des sols », organisé par la Fédération Île-de-France de Recherche sur l'Environnement (FIRE) en janvier 2022. Il m'est ensuite apparu nécessaire d'insister plus clairement sur les dimensions temporelles et multiscalaires de la santé des écosystèmes.



## INTRODUCTION

La santé d'un écosystème est souvent présentée comme une propriété émergente, relative à son « bon fonctionnement ». Si la notion de « santé » a reçu une définition officielle en santé humaine et animale, ce n'est pourtant pas (encore) le cas pour la santé des écosystèmes. L'usage du terme s'est cependant popularisé dans l'ingénierie écologique, avec la création de journaux spécialisés comme *Ecosystem Health* (1997-2001), *Aquatic Ecosystem Health and Management* (1998-), *Ecosystem Health and Sustainability* (2015-), etc. et son intégration est explicite dans le triptyque *One Health* (Une seule santé) associant santé humaine, animale et environnementale. Porté entre autres par le journal *Ecohealth* (2004-) ce triptyque historiquement dérivé de celui du rapport Brundtland à propos du développement durable (World Commission on Environment & Development, 1987 ; Patz *et al.* 2004) est promu conjointement par l'Organisation mondiale (OMS), l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) et l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Des critiques sont souvent exprimées sur le fait que le concept de santé des écosystèmes ne serait qu'une métaphore appliquée à la connaissance et à la gestion des écosystèmes, mais qu'il ne fournit pas, contrairement aux autres santé, de mesures et de méthodes objectives permettant d'en faire un outil de gestion opérationnel. Il est vrai que sans définition claire et consensuelle de cibles d'évaluation permettant un diagnostic de santé et le cas échéant une cible et une ingénierie de guérison, à l'instar des autres médecines, la santé des écosystèmes se verrait limitée à sa vertu métaphorique, et condamnée à rester une notion vague et subjective dans la pratique. Il est cependant devenu évident que les santé humaine et animale dépendent en grande partie du « bon fonctionnement » des écosystèmes dont les populations concernées tirent leurs ressources, et que ce « bon fonctionnement » est altéré par des causes multiples et interdépendantes comme d'innombrables pollutions, l'effondrement de la biodiversité, le réchauffement global, etc. qui compromettent l'habitabilité de la terre par les humains et leurs animaux domestiques, entre autres vivants. L'académie vétérinaire de France, dans sa déclaration du 17 juillet 2021 sur la « santé publique vétérinaire »<sup>2</sup>, souligne l'importance qu'elle attache aux santé humaine, animale et à la santé des écosystèmes ensemble, et donc à la mise en œuvre du concept « Une seule santé ». Le présent article vise à clarifier la notion de santé des écosystèmes et à en proposer une définition la plus générique, objective et applicable possible.

### LA SANTÉ DES ÉCOSYSTÈMES PEUT-ELLE ÊTRE L'ANALOGUE DES AUTRES SANTÉS ?

La santé humaine, est définie par l'OMS depuis 1946 comme « un état de complet de bien-être physique, mental et social et ne consistant pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité ». Je n'ai pas trouvé à l'OIE de définition spécifique de la

santé animale, mais la notion de « bien-être animal » est une préoccupation importante de cet organisme qui souligne sans en donner une définition explicite que c'est « un sujet complexe aux facettes multiples qui comporte des dimensions scientifiques, éthiques, économiques, culturelles, sociales, religieuses et politiques ». Dans tous les cas, on peut constater que la notion de santé, présentée comme très proche de celle de bien-être, est essentiellement fondée sur un ressenti subjectif (le bien-être), qu'elle ne se résume pas à l'absence de maladie, et qu'elle doit être considérée non seulement dans une approche individuelle « patient », mais aussi au sein des normes sociales de la population à laquelle le patient-sujet appartient. La maladie elle-même est définie à l'OMS comme « un dysfonctionnement d'origine psychologique, physique ou/et sociale, qui se manifeste sous différentes formes ». On ne saurait être moins précis, mais la notion de dysfonctionnement fait implicitement écho à celle de « bon fonctionnement », ce qui suggère des écarts à une norme « de bon fonctionnement ». Si la notion de santé reste donc assez vaguement définie, même dans les plus hautes instances, il n'en reste pas moins qu'elle existe, fort heureusement, dans la pratique, les praticiens, médecins et vétérinaires, ont pour quotidien de veiller à la bonne santé de leurs patients et des populations. Ils le font, art basé sur la Science, donc la preuve, en posant des diagnostics de santé, et en y apportant si besoin des réponses réparatrices.

Le Tableau 1 est un essai de mise en parallèle de ce qu'est un diagnostic médical ou vétérinaire par rapport à ce que pourrait être un diagnostic de fonctionnement d'un écosystème. Les trois premières lignes du tableau montrent que ces parallèles font superficiellement sens : la notion de robustesse/résilience (nous reviendrons plus loin sur ces notions) à l'échelle d'un assemblage de populations d'espèces différentes (la biocénose) dans leur biotope (la partie abiotique ; l'ensemble biocénose et biotope constituant l'écosystème) peut être considérée comme équivalente à celle de l'homéostasie à l'échelle d'un individu. En découlent des constantes métaboliques dans les deux cas, et les écarts aux normes constituent alors des symptômes. Les capacités individuelles, qui ne procèdent pas que de constantes métaboliques, sont également scrutées par le médecin et le vétérinaire. L'écologue examinera les capacités de l'écosystème en termes de service écosystémique (nous reviendrons plus loin sur cette notion), et des insuffisances capacitaires ou de service seront aussi considérées comme des symptômes de dysfonctionnement.

Au-delà de ces ressemblances, des « mais » dans le tableau portent sur les sujets et les processus évalués. Le médecin et le vétérinaire ont à tenir compte des processus ontogénétiques et de croissance des individus qu'ils examinent : un embryon, un jeune patient, ne sont pas des adultes en miniature, et on leur applique un certain nombre de normes propres ; le médecin et le vétérinaire tiennent compte aussi du fait que l'équilibre de l'organisme, comme celui de toute forme vivante, est traversé par un flux continu de matière et d'énergie. Il est donc en équilibre dynamique.

<sup>2</sup> <https://academie-veterinaire-defrance.org/actualites/communiqués-de-presse/communiqué-de-presse-2021-08-lacademie-veterinaire-de-france-revisite-la-definition-de-la-sante-publique-veterinaire>

Critères d'évaluation médicale et vétérinaire	Critères d'évaluation écologique
Homéostasie > équilibre > <b>stabilité</b>	Robustesse/résilience > équilibre > <b>stabilité</b>
Constantes métaboliques > normes > <b>symptômes</b>	Constantes métaboliques > normes > <b>symptômes</b>
Capacités > normes > <b>symptômes</b>	Services > normes > <b>symptômes</b>
MAIS	MAIS
Ontogenèse	Succession écologique
Croissance	Évolution darwinienne
Handicap	Modifications durables

Tableau 1 : Comparaison entre critères de diagnostic médical et vétérinaire et critères de diagnostic écologique.

Un écosystème est lui aussi un flux de matière et d'énergie, mais il ne croît pas comme un individu. La colonisation d'un espace abiotique (par exemple une coulée volcanique juste refroidie) se fait par une succession écologique, c'est-à-dire par la mise en place d'écosystèmes de plus en plus complexes, sur le temps long, par des mécanismes de colonisation/extinction/réorganisation de populations d'espèces, elles-mêmes en évolution darwinienne (Figure 1). Si la norme est fixée à un stade de la succession, elle sera vite inappropriée du fait même du caractère transitoire des états du système. De plus, si le stade terminal de la succession (le climax) est théoriquement un équilibre dynamique avec les conditions climatiques qui prévalent à un moment donné, la norme de ce moment peut vite se trouver inappropriée en conséquence de changements climatiques et de l'évolution darwinienne des organismes. Les forêts des dinosaures ne sont pas celles de l'Anthropocène, et les forêts du Moyen-Âge ne sont pas les actuelles, elles-mêmes différentes de celles qui s'adapteront au changement climatique en cours. La perturbation de l'écosystème (par exemple par le feu, la tempête, les inondations, l'action de certaines espèces-ingénieures telles

que l'homme ou le castor, etc.) fait également partie du « bon fonctionnement » d'un écosystème. Ce qui peut être perçu comme une catastrophe écologique locale (par régression dans la succession écologique, alors contrariée) peut être perçu comme souhaitable à une échelle spatiale plus large, celle qui maintient une mosaïque métastable d'écosystèmes à tous les stades de la succession, donc une biodiversité globale plus grande. Sur le temps long, l'évolution darwinienne s'ajoute à cette dynamique de succession, nous y reviendrons. La longueur de temps dépend d'ailleurs des organismes considérés : quelques mois pour certains micro-organismes, la succession des variants du SARS-COV-2 en témoigne, de quelques années à plusieurs milliers d'années pour les organismes plus complexes, moins nombreux et à génération plus lente (Giraudoux, 2021). Enfin, la résilience d'un écosystème ne lui permet pas toujours, à l'issue d'une perturbation, de revenir à son strict état initial. Il peut alors se maintenir pour un temps à un état d'équilibre dynamique différent, avec d'autres espèces et d'autres propriétés, dont il est parfois difficile de dire autrement que subjectivement, s'il est meilleur ou moins bon que le précédent.

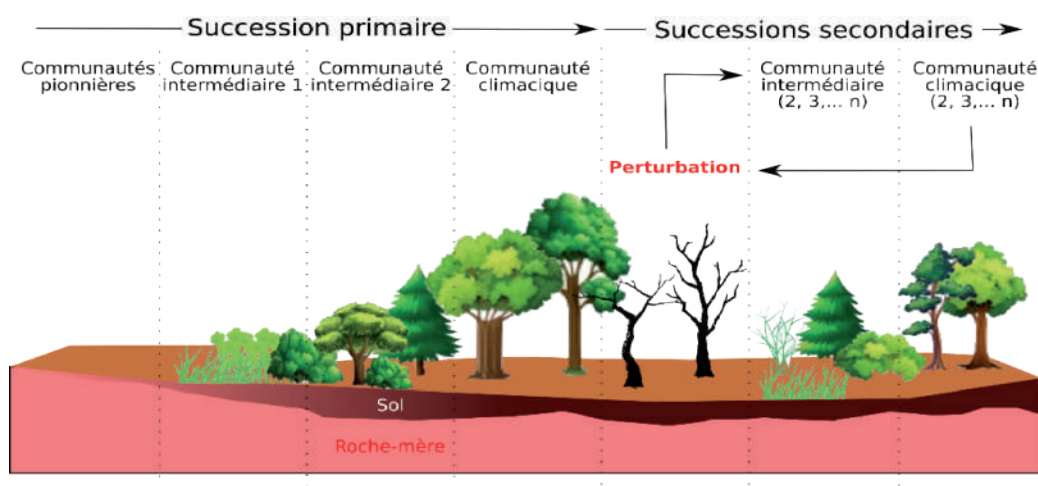


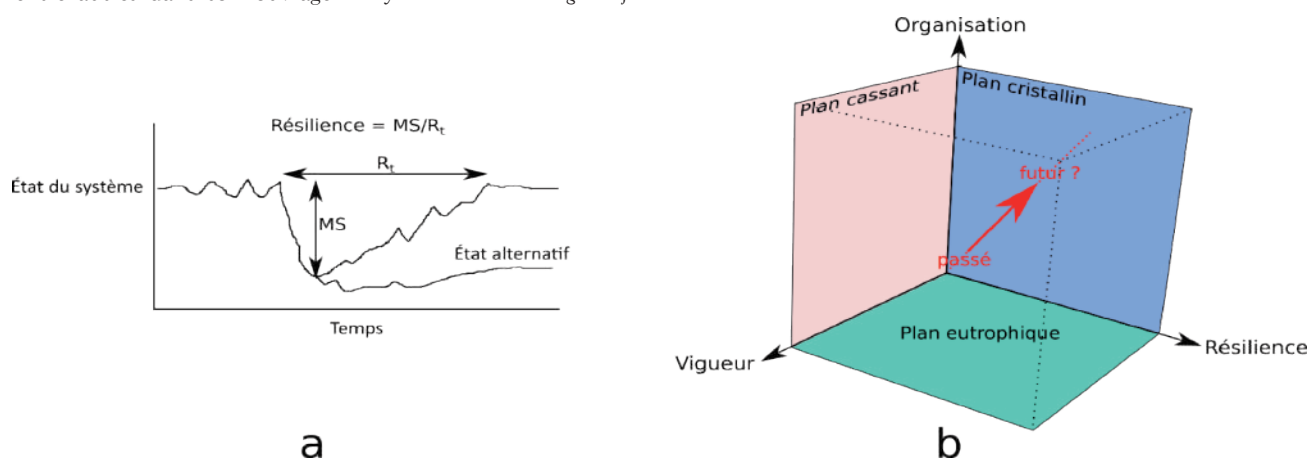
Figure 1 : Exemple de succession écologique, schéma inspiré de Khanolkar et al. (2020). À chaque étape transitionnelle des successions de communautés, les réassortiments d'espèces se réalisent avec un certain degré de prévisibilité (dans sa formulation la plus simple et évidente, par exemple, les arbres succèdent aux buissons, qui eux-mêmes succèdent aux herbes) mais avec des degrés divers de stochasticité. Cette dernière résulte des hasards de la réalisation d'interactions biotiques telles que la compétition, la prédation, le parasitisme, le mutualisme, etc. et aussi de l'intensité et de la fréquence des perturbations comme le feu, les météores extrêmes, du stock de graines du sol, de l'arrangement spatial variable des habitats-sources d'individus d'espèces variées alentours, etc. Les écosystèmes qui émergent de ces processus et se succèdent, bien qu'écologiquement fonctionnels (puisque les processus se maintiennent sur le temps long), prévisibles dans leurs grands traits structuraux et fonctionnels, mais pas dans leurs détails, ne sont jamais totalement identiques à leurs prédécesseurs.

Il n'en reste pas moins que si la complexité des processus écologiques rend difficile l'établissement d'une définition indiscutable de leur « bon fonctionnement », s'il est bien sûr impossible d'interroger un écosystème comme un patient, fût-il animal, sur son ressenti et son « bien-être », des tentatives ont été faites pour définir la « santé » des écosystèmes.

## LES TENTATIVES HISTORIQUES DE LA DÉFINITION ET LEURS LIMITES

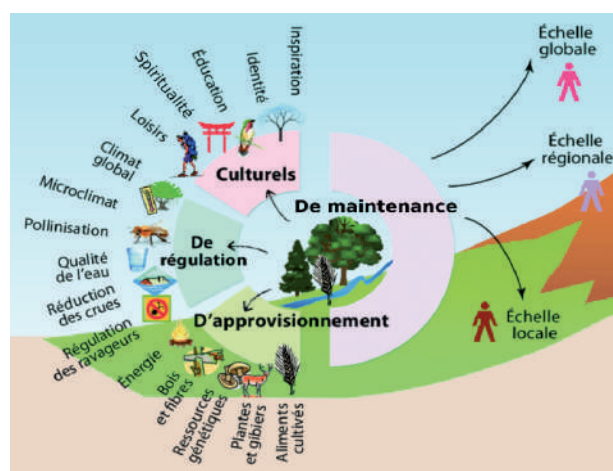
Robert Costanza est un économiste de l'environnement, qui après des études supérieures en architecture et en urbanisme, a eu pour directeur de thèse le célèbre écologue Eugene Odum (1913-2002). Co-auteur prolifique de 22 ouvrages et de plus de 400 publications scientifiques, il est de ceux qui ont promu dès le début des années 1990 la notion de santé des écosystèmes, entre autres dans son ouvrage *Ecosystem health: new goals for*

*environmental management* (1992) et comme président de l'*International Society for Ecosystem Health*. Il a de plus, ensuite, mis en avant la notion de service écosystémique. Elle influence encore fortement la manière dont le fonctionnement des écosystèmes est évalué auprès des sphères politico-économiques (Costanza et al., 1997 ; Millenium Ecosystem Assessment, 2004). Costanza et al. (1992) avancent notamment « qu'un écosystème est en bonne santé et exempt du "syndrome de détresse" s'il est stable et durable, c'est-à-dire s'il est actif et maintient son organisation et son autonomie dans le temps, et s'il résiste au stress ». À cet égard, il propose de mesurer la santé d'un écosystème selon trois critères : sa vigueur (la mesure de l'activité de l'écosystème, de son métabolisme, de sa productivité primaire), son organisation (le nombre et la diversité des interactions entre les composantes) et sa résilience (sa capacité à maintenir sa structure [temporelle et spatiale, c'est moi qui ajoute], et ses processus en présence d'un stress) (Figure 2).



**Figure 2 :** Composantes de la santé des écosystèmes selon Costanza et Mageau (1999) : a, deux composantes de la résilience : le temps de retour  $R_t$  et le stress maximum. Au-delà du stress maximum, l'écosystème ne peut pas revenir à un état équivalent à celui initial sur la durée présentée, et bifurque vers une dynamique alternative ; b l'espace tridimensionnel relatif à la santé et à l'organisation des écosystèmes. Un écosystème en bonne santé devrait s'éloigner des 3 plans de cet espace (fragile, cristallin, eutrophique) où la valeur d'un des axes est nulle. La flèche rouge, ajoutée par mes soins, indique une hypothétique trajectoire d'« amélioration » (cf. Figure 6 et paragraphes correspondants).

Costanza et al. (2012) ajoutent plus tard, à la suite de la popularisation de la notion de service écosystémique (Costanza et al., 1997), qu'un écosystème en bonne santé, « doit fournir durablement une gamme de services écosystémiques », une injonction anthropomorphe à la productivité individuelle bien dans l'air du temps. Cette gamme de services écosystémiques (Figure 3) a été largement décrite dans le *Millenium ecosystem assessment*, un rapport rendu, à la demande des Nations Unies, ayant pour objectif d'évaluer, sur des bases scientifiques, l'ampleur et les conséquences des modifications subies par les écosystèmes (Millenium Ecosystem Assessment, 2004), préfigurant ainsi les travaux du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) et de l'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques).



**Figure 3 :** Exemples de services écosystémiques, d'approvisionnement, de régulation et culturels fournis par les écosystèmes d'un territoire à des bénéficiaires à différentes échelles. Les services de maintenance sont ceux qui n'offrent pas de profits directs à l'humanité, mais sont nécessaires à la fonctionnalité durable des écosystèmes et à la production des autres services. D'après Locatelli et al. (2017), modifié.



Si la notion de service écosystémique a le mérite de traduire en valeur monétaire la valeur intrinsèque fonctionnelle des écosystèmes dans un langage compréhensible par les économistes et les politiques, elle a le grand défaut de réduire les processus écologiques à cette seule valeur, estimée en termes de service rendu directement ou indirectement à l'humanité. On ne saurait être plus réductionniste et anthropocentré. Dans ce cadre, aucune place n'est réellement faite au temps long, celui de l'évolution darwinienne du vivant (l'Évolution), qui est pourtant le moteur essentiel sous-jacent du fonctionnement d'un écosystème. Costanza *et al.* (2012) expliquent cependant qu'« un système durable est un système qui survit pendant une durée déterminée (non infinie) ». L'épineuse question de la quantification de cette durée est cependant laissée ici à l'appréciation subjective. La réponse n'est effectivement pas évidente : un écosystème est un système dynamique en évolution constante à plusieurs échelles temporelles.

Le choix d'une durée suppose d'avoir défini un état de départ de référence et, autour de cet état, les variations utiles liées au fonctionnement de l'écosystème (par exemple saisonnières, ou spatiales comme le gradient amont-aval d'une rivière). Ce qui est objectivement impossible au-delà d'une durée très courte (par exemple, une génération humaine) : les obstacles viennent du caractère irréversible de la flèche du temps.

Le premier tient à ce qu'un écosystème en bonne santé, et les écosystèmes voisins dont il peut dépendre (une rivière et ceux de son bassin versant, par exemple), subissent des perturbations, y compris les plus extrêmes, qui participent à son fonctionnement (dans certaines limites, cf. Figure 2a), et sa résilience permet normalement de réhabiliter en quelques mois, années, dizaines ou centaines d'années un certain nombre de fonctions altérées, idéalement toutes. Mais, comme mentionné plus haut à propos des successions secondaires, les écosystèmes qui dérivent les uns des autres ne sont que rarement les répliques exacts des écosystèmes précédents (perte et réassortiment stochastique d'espèces, abondances relatives, etc.).

Le deuxième obstacle, encore plus complexe à appréhender, fait

référence à des échelles de temps plus longues (Giraudoux, 2014). Les formes vivantes actuelles ne représentent que 4 à 6% des espèces ayant existé depuis l'apparition de la vie il y a près de 4 milliards d'années (Mace *et al.* 2005). Un grand nombre d'écosystèmes se sont succédés depuis, dont les couches géologiques gardent trace de certains. Chaque écosystème, sur une échelle de temps longue, a inévitablement été remplacé par un écosystème différent comportant d'autres espèces ou combinaisons d'espèces, et des interactions et mécanismes de régulation réarrangés, même après les cinq crises d'extinction majeures connues. Les changements, cependant, peuvent être beaucoup plus rapides. Ainsi, à l'holocène, les grandes formations forestières postglaciaires ont été remplacées progressivement par des paysages agricoles, par déboisement successif des terres les plus favorables à l'agriculture et à l'élevage, optimisant les ressources disponibles pour l'humanité sous contrainte du relief et de la géologie, et créant des assemblages d'espèces et des interactions constituant *de facto* de nouveaux écosystèmes. L'importance de l'impact humain dans la nature sur l'évolution de ces écosystèmes de l'Anthropocène est pointée par le terme « socio-écosystèmes » parfois utilisé à leur propos (Collins *et al.*, 2011 ; Bretagnolle *et al.* 2019 ; Giraudoux, 2022b). Tous les paysages actuels souvent qualifiés de « naturels » parce que verts ou inhabités, sont en fait des socio-écosystèmes, résultats de compromis entre exploitation des ressources par l'homme et potentiel biologique et géologique local. Le « naturel » ne l'est que prétendument : il n'est qualifié ainsi que par opposition à l'urbain et au « bétonné ». Il devrait plus judicieusement être qualifié de rural, et tout au plus de « vert » sur un gradient qui va du gris du béton urbain au vert de la végétation d'une prairie ou d'une forêt de production (Giraudoux & Lebreton, 2018 ; Giraudoux, 2020). De plus, ces socio-écosystèmes ne sont pas plus stables dans le temps que les autres. La peinture réaliste permet de mesurer un exemple de trajectoire à l'échelle du siècle (Figure 4) : les pentes herbeuses surplombant la ville de Pontarlier, dans le massif du Jura, consacrées à l'élevage, se sont recouvertes de forêt à dominante résineuse au cours du XX<sup>e</sup> siècle, conduisant à un autre type de socio-écosystème.

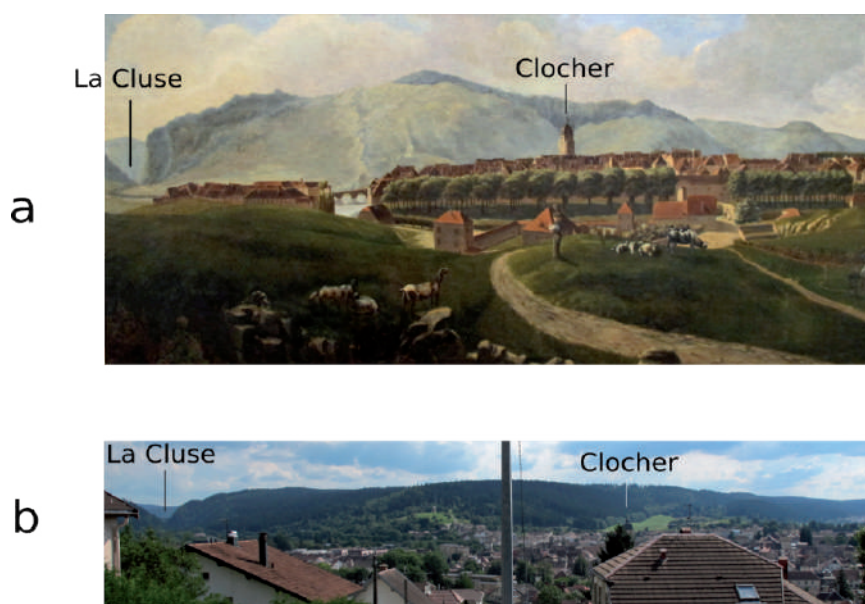


Figure 4 : Évolution du couvert forestier au sud-ouest de Pontarlier, vu du même point d'observation. a, au XIX<sup>e</sup> siècle (peinture anonyme réalisée entre 1838 et 1865, collection musée municipal de Pontarlier) ; b, en août 2013 (photo P. Giraudoux).

Les mutations agricoles des années 1960, ont, de plus, conduit, sur les plateaux d'altitude du Jura, au quasi-abandon des cultures et à l'extension d'une prairie permanente 2 à 5 fois plus productive, avec pour conséquence, le déclenchement de pullulations régionales cycliques de campagnols à partir des années 1970, pullulations qui favorisent la transmission d'un parasite, l'échinocoque multiloculaire (Giraudoux, 2022b). Peut-on dire que l'extension des forêts ou ces pullulations de campagnols, révèlent un dysfonctionnement de l'écosystème ? Absolument pas : il s'agit de la réponse normale d'écosystèmes pleinement fonctionnels à des changements de contraintes anthropiques, même si le « disservice » rendu aux éleveurs par les pullulations leur pose un problème économique et sanitaire. De même que les grandes tempêtes de la fin-décembre 1999 dues aux dépressions Lothar et Martin, qui firent tomber des centaines de milliers d'arbres dans les forêts françaises, ne furent pas une catastrophe écologique, contrairement à ce qui était affirmé à l'époque, mais éventuellement une catastrophe économique pour la filière bois. Ces réorganisations d'écosystèmes sont observables y compris dans le monde microbien (Karimi *et al.* 2017 ; Villette, 2018).

Peut-on dire, à chacune des étapes écologiques schématiquement décrites plus haut, que les écosystèmes étaient en meilleure santé, sous critère de vigueur, d'organisation et de résilience à une étape plutôt qu'à une autre ? Rien ne le prouve et le fait même que ces écosystèmes aient pu évoluer jusqu'à maintenant, préparant la vigueur, l'organisation et la résilience des écosystèmes du temps présent, prouve assez directement qu'ils ont assuré, au cours du temps, à travers le changement, une continuité biologique fonctionnelle.

La question ardue de la justification d'un choix d'état de référence normatif achoppe donc sur la continuité indivisible et la dynamique des successions d'écosystèmes : pourquoi tel stade plutôt qu'un autre, comment justifier de bloquer (même mentalement) un processus dans son déroulement ? À l'intérieur d'un écosystème, elle se heurte de plus au syndrome du « niveau de référence qui se déplace », appelé aussi « amnésie environnementale ». Il a été pointé par Pauly (1995) sous le terme de *shifting baseline syndrome*, à propos de l'évaluation des stocks de poissons marins : « essentiellement, ce syndrome est dû au fait que chaque génération d'halieute accepte comme base de référence la taille des stocks et la composition des espèces qui existaient en début de carrière, et s'en sert pour évaluer les changements. Lorsque la génération suivante commence sa carrière, les stocks ont encore diminué, mais ce sont les stocks de cette époque qui servent de nouvelle référence. Il en résulte évidemment un déplacement progressif du niveau de référence, une accommodation graduelle à la disparition progressive des espèces, et (donc) des points de référence inappropriés (...) ». Le titre et le contenu d'un article sur les oiseaux du territoire métropolitain, « *Quels niveaux de référence des populations d'oiseaux en France : ne pas perdre la mémoire* » (Barbraud & Barbraud, 2019), témoigne de son existence dans d'autres écosystèmes que marins.

De plus, globalement, l'Évolution, pourtant essentielle en écologie dans la gestion du long terme semble peu prise en compte dans la notion de service écosystémique (mais voir, par exemple, Faith *et al.* (2010) et Sarrazin & Lecomte (2016)). Non que les recherches sur les services écosystémiques et la santé des

écosystèmes nient l'existence de l'Évolution, mais elles se placent, dans la pratique, dans un contexte de court ou moyen terme où l'évolution darwinienne agit moins vite macroscopiquement que les dynamiques des écosystèmes sous l'effet de la pression anthropique. Or, l'évolution du vivant n'est-elle pas centrale dès lors que les questions de durée et de durabilité sont considérées prioritairement ? En d'autres termes, peut-on penser la durée sans penser les processus qui prévalent dans cette durée ? (Giraudoux & Lebreton, 2018).

On comprend dès lors l'inadéquation d'une évaluation de la santé d'un écosystème si elle renvoie à des concepts quasi-fixistes, portant sur la fonctionnalité à court terme, ou des références générationnelles récentes, supposant une forme d'immuabilité des espèces et des écosystèmes actuels, « à l'insu du plein gré » d'un gestionnaire qui connaît pourtant, au moins en théorie, les processus de la dynamique et de l'évolution darwinienne.

Une pratique de santé en matière d'écosystème, à l'instar d'une pratique médicale, se doit de prendre en compte et d'accompagner l'évolution du « patient » dans la hiérarchie des échelles de temps pertinentes. Ce qui suppose de connaître la trajectoire de cette évolution à toutes les échelles, y compris celle du temps long (dépassant plusieurs générations humaines). La première difficulté tient à l'imprévisibilité de ces trajectoires, du fait de la complexité des systèmes en évolution, truffés de hiérarchies d'organisations, chaque niveau ayant ses propres processus (Figure 5), de non-linéarités, d'effets seuils, et de sensibilités aux conditions « initiales » (Steffen *et al.* 2015). Autant dire que si les écologues, comme les climatologues, expliquent assez bien a posteriori ce qui s'est passé, ils peinent de ce fait comme eux à prédire l'avenir dans ses détails, et parfois même dans ses grandes lignes.

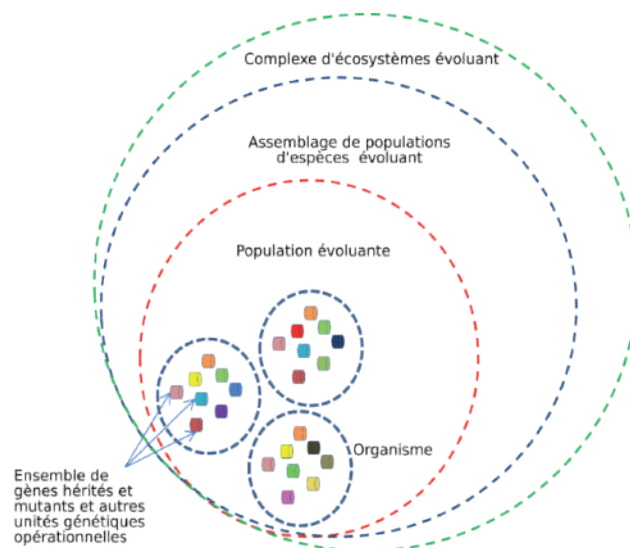
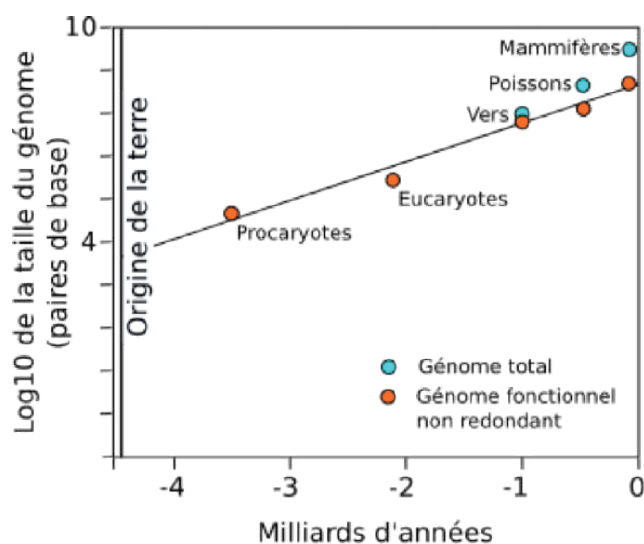
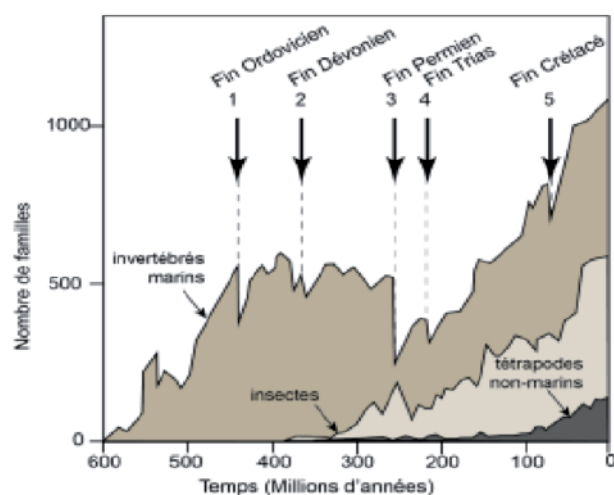


Figure 5 : Mobilis in mobile : emboîtement des niveaux d'organisation du vivant (des interactions sont spécifiques à chaque niveau) évoluant en permanence, d'après Giraudoux (2014). L'ensemble de ces diversités à chaque niveau, à laquelle il faudrait ajouter la diversité culturelle pour certaines espèces, constitue la biodiversité. Elle est le résultat d'innombrables processus sous-jacents dont elle émerge.

Malgré tout, il est intéressant de constater la complexification des acides nucléiques comme l'ADN à l'échelle du temps de l'Évolution (Figure 6a), de même que, malgré les à-coups d'au moins cinq crises d'extinction massive au cours des temps géologiques, l'augmentation de la biodiversité à chaque reprise (Figure 6b), mais avec des réassortiments de taxons très profonds. La disparition des dinosaures au profit des mammifères en est un des exemples parmi les plus frappants.



a



b

Figure 6. a : selon Sharov et Gordon (2013), au cours de l'évolution, le génome des organismes suit une conjecture empirique de Moore (complexification croissante) ;

b : Évolution de la biodiversité pour les invertébrés marins, les insectes et les tétrapodes non-marins, d'après Benton (2001), infographie Ruaut-Djerrab. Les cinq extinctions 'majeures' sont indiquées par les flèches. Le fait robuste de ne considérer les taxons qu'au niveau des familles ne permet pas de mettre en évidence les buissonnements possibles à l'intérieur de ces ensembles, à des niveaux taxonomiques inférieurs.

Pour résumer, une définition de la santé des écosystèmes semble devoir associer des dynamiques sur plusieurs échelles de temps :

- Le temps court (quelques dizaines d'années) des caractéristiques fonctionnelles propres à maintenir l'intégrité des processus de l'écosystème assurant la durabilité de son identité, identité caractérisée par la diversité des formes vivantes (la biodiversité) qui le compose et de leurs relations fonctionnelles, à plusieurs niveaux pertinents d'organisation du vivant (génétique, populationnel, communautaire, culturel, etc.) ;

- Le moyen-terme (quelques centaines d'années) ménageant son potentiel en termes de succession écologique et de diversité d'écosystèmes ;

- Le long terme, en termes d'évolution darwinienne, la notion de long terme étant à adapter à chaque organisme (le temps évolutif n'est pas le même pour toutes les formes vivantes, même s'il se déroule dans le même temps chronologique pour toutes).

La « santé » de l'écosystème devrait alors pouvoir s'apprécier par la mesure de l'écart entre ce qu'il réalise en termes de biodiversité, de processus, et de services, et ce qu'il pourrait potentiellement réaliser si le stress qui le fait considérer comme en « mauvaise santé » était levé (Figure 7).

$$\text{Santé} = \frac{R}{Q}$$

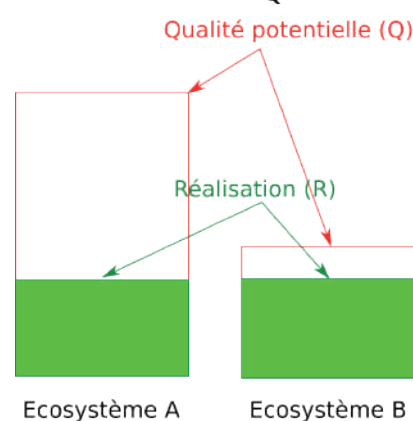


Figure 7 : L'état de santé d'un écosystème peut être apprécié par la mesure de l'écart entre une qualité potentielle et sa réalisation. Par exemple, ici, si l'on prend comme estimateur le nombre d'espèces, l'écosystème B serait en meilleure santé que l'écosystème A, bien qu'il compte autant d'espèces, parce qu'il réalise une fraction beaucoup plus grande de son potentiel. D'après Kibblewhite (2008) et Alain Brauman à propos de la santé des sols, modifié.

Patrick Le Bail (com. pers.) pensait que « les différents états intermédiaires pouvaient être qualifiés selon une démarche épidémiologique et pronostique, à l'instar des disciplines médicales et vétérinaires ». Cette approche observationnelle de l'évolution de la santé d'un écosystème peut certainement hériter et tirer bénéfice de l'approche qualifiée d'éco-épidémiologique nommée et promue par Jean-Antoine Rioux (1925-2017) dans ses études pionnières des leishmanioses, des bilharzioses, de la démostication, et poursuivie après lui par d'autres dans différents domaines dont ceux de l'écologie de la transmission d'organismes pathogènes, la gestion de pestes agricoles et la conservation biologique (Houin *et al.* 2018 ; Giraudoux, 2022b).



## PROPOSITION DE DÉFINITION

Comptetenu des considérants énumérés plus haut, une définition robuste de la santé d'un écosystème pourrait-être la suivante : « État de diversité et de fonctionnement d'un écosystème qui, en tant qu'unité écologique située dans un cadre spatio-temporel délimité, se caractérise par ses propriétés physicochimiques et biologiques, dont sa robustesse et sa résilience, notamment au regard de stress extérieurs. Un écosystème est donc en « bonne santé » s'il préserve le maximum de ses fonctions, de ses dynamiques et de ses capacités évolutives potentielles, ainsi que celles des systèmes qu'il inclut et qui l'incluent. Les différents états de déficit éventuel, ou états de santé, peuvent être qualifiés sur la base d'une démarche (éco)épidémiologique, qui permet de poser un diagnostic, un pronostic, et de proposer des chemins « thérapeutiques » à l'instar des disciplines médicales et vétérinaires. »

## UNE SEULE SANTÉ ET LA SANTÉ DES ÉCOSYSTÈMES

« Une seule santé » (*One Health*) est une notion promue depuis plus d'une vingtaine d'année sous ce terme, qui associe santé humaine, animale et environnementale (Figure 8). Face au liens devenus évidents entre altérations écologiques et climatiques, émergence d'organismes pathogènes et épidémies de tous ordres (Morand, 2020 ; Mendenhall, 2020), les gouvernements et les scientifiques du monde entier ont reconnu qu'une plus grande collaboration interdisciplinaire était nécessaire pour prévenir et contrôler les zoonoses, mais pas que ce type de maladie, et que cette collaboration devait inclure non seulement des médecins et des vétérinaires, mais aussi des spécialistes d'écologie de la faune sauvage, des environnementalistes, des anthropologues, des économistes et des sociologues (Gibbs, 2014 ; Destoumieux-Garzón *et al.* 2018).

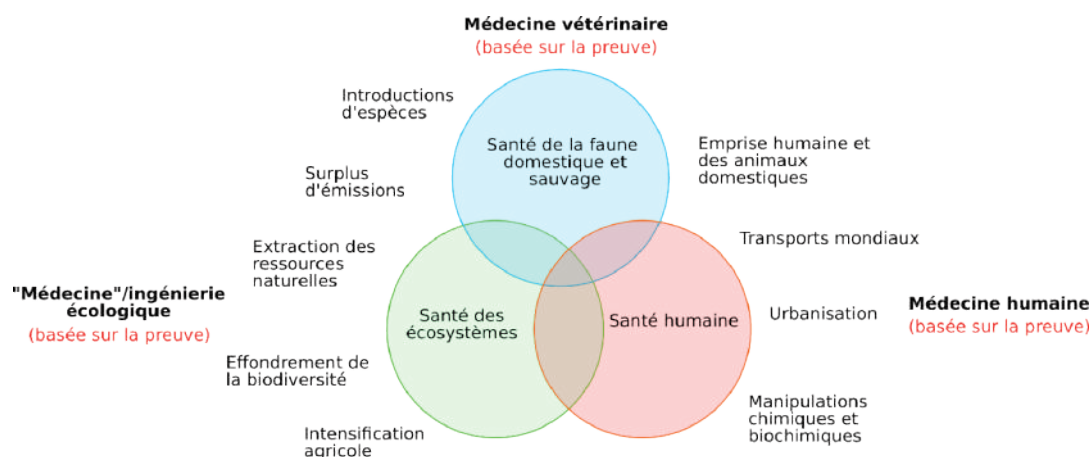


Figure 8 : Le tryptique « Une seule santé », d'après Patz *et al.* (2004), modifié.

Ce concept intégrateur s'accompagne de déclinaisons voisines comme l'écologie de la santé (*ecohealth*) ou la santé planétaire (*global* ou *planetary health*) (Lerner & Berg, 2017). De fait, il s'agit de réhabiliter et d'élargir la focale d'une santé publique et vétérinaire soucieuses de prévention. La médecine curative a montré ses incroyables performances pour la minorité mondiale qui peut en supporter le coût et bénéficier de ses prouesses technologiques, mais, n'étant pas conçue pour l'anticipation et la prévention, elle intervient le plus souvent trop tard et partiellement d'un point de vue épidémiologique, quand le feu est déjà au toit de la maison commune. Deux mille quatre cent ans après le traité hippocratique « des airs, des eaux et des lieux », et après les approches hygiéniste plus récentes de la grande époque pastorienne, il (ré)apparaît que le fonctionnement des socio-écosystèmes à toutes les échelles est déterminant dans l'émergence des épidémies. Il est donc logique d'associer aux santé animale et humaine celle des écosystèmes dans un ensemble intégratif, et de traduire cette volonté d'intégration sur le terrain (Giraudoux, 2019). Mais il faut bien reconnaître à ce jour, que beaucoup de chemin reste encore à parcourir pour réaliser une intégration pleinement fonctionnelle (Destoumieux-Garzón *et al.* 2018 ;

Morand *et al.* 2020 ; Giraudoux, 2022a). L'étude de la santé des écosystèmes, comme celle de la santé humaine et animale, nécessite un investissement matériel et humain qui est très loin d'être consenti. On chiffre, par exemple, à 1 035 millions de dollars l'investissement en recherche sur les virus Ebola et Marburg entre 1997 et 2015, dont 61,3% affecté à la recherche de vaccins, 29,2% à celle de nouvelles thérapeutiques, et 9,5% à celle de kits diagnostics (Fitchett *et al.*, 2016). Il ne m'a été possible de trouver de chiffre estimant l'investissement dans la recherche écologique et anthropologique sur les socio-écosystèmes et les dynamiques de populations animales dans les zones concernées par ces virus. Je n'ai pas non plus connaissance d'études écologiques en cours aux échelles spatiales et temporelles appropriées. Tout au plus se livre-t-on, quand les crises sanitaires obligent vis-à-vis de l'opinion publique, à la pêche aux virus et à leurs codes-barres dans des écosystèmes dont l'écologie des communautés d'hôtes est virtuellement inconnue aux échelles et niveaux d'organisation biologique appropriés (Wu *et al.* 2021 ; Giraudoux, 2022a). On ne peut que le déplorer et en déplorer les conséquences, qui font que le tripode d'Une seule santé ne marche actuellement, dans le meilleur des cas, que sur

les deux pieds des santé humaine et vétérinaire mais exceptionnellement sur les trois supports judicieusement revendiqués (Giraudoux, 2022b). Je n'ai aucun doute sur le fait que les urgences climatiques, concomitantes de celles posées par l'effondrement de la biodiversité et par l'émergence des zoonoses, conduisent à une volonté plus forte de mieux intégrer les dimensions médicale, vétérinaire et écologique pour analyser et

comprendre les origines des crises sanitaires, en explorant l'amont de l'émergence des agents infectieux. L'Académie vétérinaire de France témoigne de son intérêt pour cette intégration, dans sa déclaration du 17 juillet 2021 sur la santé publique vétérinaire, qui fait explicitement mention de la santé des écosystèmes.

## REMERCIEMENTS

Merci à Michael Coeurdassier, Daniel Gilbert, Michel Magny, Marc Montadert et Dominique Angèle Vuitton pour leur relecture amicale du manuscrit et leurs suggestions.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barbraud C, Barbraud J-C. Quels niveaux de référence des populations d'oiseaux en France : ne pas perdre la mémoire. *Alauda*. 2019 ; 87(1) : 41-50.
- Bretagnolle V, Benoit M, Bonnefond M, Breton V, Church J, Gaba S, et al. Action-orientated research and framework: insights from the French long-term social-ecological research network. *Ecol Soc*. 2019; 24(3) : 10.
- Collins SL, Carpenter SR, Swinton SM, Orenstein DE, Childers DL, Gragson TL, et al. An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Front Ecol Environ*. 2011; 9(6) : 351-7.
- Costanza R. Ecosystem health and ecological engineering. *Ecol Eng*. 2012; 45 : 24-9.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997; 387(6630) : 253-60.
- Costanza R, Mageau M. What is a healthy ecosystem? *Aquat Ecol*. 199 ; 33(1) : 105-15.
- Costanza R, Norton B, Haskell B, éditeurs. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington, DC: Island Press ; 1992.
- Destoumieux-Garzón D, Mavingui P, Boetsch G, Boissier J, Darriet F, Duboz P, et al. The One Health Concept: 10 Years Old and a Long Road Ahead. *Front Vet Sci*. 2018; 5(14).
- Faith DP, Magallón S, Hendry AP, Conti E, Yahara T, Donoghue MJ. Ecosystem services: an evolutionary perspective on the links between biodiversity and human well-being. *Curr Opin Environ Sustain*. 2010; 2(1) : 66-74.
- Fitchett JR, Lichtman A, Soyode DT, Low A, Villar de Onis J, Head MG, et al. Ebola research funding: a systematic analysis, 1997-2015. *J Glob Health*. 2016; 6(2) : 020703.
- Gibbs EPJ. The evolution of One Health: a decade of progress and challenges for the future. *Vet Rec*. 2014 ; 174(4): 85-91.
- Giraudoux P. Équilibre écologique et santé des écosystèmes : entre mythe biologique et consensus social. In : *Nature ou Culture*. Saint Etienne : Publications de l'Université de St Etienne ; 2014. p. 129-42.
- Giraudoux P. Pour une médecine globale, préventive et écologique.../For a global, preventive and ecological medicine... *Ann Afr Médecine* [Internet]. 2019 ; 12(4). Disponible à : <https://anafrimed.net/editorial-pour-une-medecine-globale-preventive-et-ecologique>
- Giraudoux P. La nature est morte! Mais on a plus que jamais besoin des naturalistes... *Bourgogne-Franche-Comté Nat*. 2020 ; 30 : 95-102.
- Giraudoux P. Les micro-organismes auront toujours une mutation d'avance sur les autres [Internet]. *Libération*. 2021 [cité 2021 sept 16]. Disponible à : [https://www.liberation.fr/forums/les-micro-organismes-auront-toujours-une-mutation-davance-sur-les-autres-20210903\\_47X3WFQYENC7TOM45NVCIRHIRY/](https://www.liberation.fr/forums/les-micro-organismes-auront-toujours-une-mutation-davance-sur-les-autres-20210903_47X3WFQYENC7TOM45NVCIRHIRY/)
- Giraudoux P. One health and echinococcoses: something missing? *Int J Echinococcoses*. 2022a ; 1(1) : 15-8.
- Giraudoux P. Socio-écosystèmes. L'indiscipline comme exigence du terrain [Internet]. Londres : ISTE Editions Limited ; 2022b [cité 2021 déc 17]. (Sciences). Disponible à : <https://www.istegroup.com/fr/produit/socio-ecosystemes/>
- Giraudoux P, Lebreton J-D. La notion de santé des écosystèmes, ou 'Zombies écologiques: comment des idées mortes vivent encore parmi nous' [Internet]. Société Française d'Écologie et d'Évolution. Regards. 2018 [cité 2018 oct 19]. Disponible à : <https://www.sfecologie.org/regard/ro7-oct-2018-giraudoux-et-lebreton/>
- Houin R, Léger N, Dupouy-Camet J, Bastien P, Luffau G. In memoriam Professor Jean-Antoine Rioux (1925-2017). *Parasite*. 2018; 25 : 13.
- Karimi B, Maron PA, Chemidlin-Prevost Boure N, Bernard N, Gilbert D, Ranjard L. Microbial diversity and ecological networks as indicators of environmental quality. *Environ Chem Lett*. 2017; 15(2): 265-81.
- Khanolkar RA, Clark ST, Wang PW, Hwang DM, Yau YCW, Waters VJ, et al. Ecological Succession of Polymicrobial Communities in the Cystic Fibrosis Airways. *mSystems* [Internet]. 2020. Disponible à : <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/mSystems.00809-20>
- Kibblewhite M g, Ritz K, Swift M j. Soil health in agricultural systems. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2008; 363(1492): 685-701.
- Lerner H, Berg C. A Comparison of Three Holistic Approaches to Health: One Health, EcoHealth, and Planetary Health. *Front Vet Sci*. 2017 ; 4.
- Locatelli B, Vallet A, Fedele G, Rapidel B. Analyser des services écosystémiques pour gérer des territoires. In : Caron P, Valette E, Wassenaar T, Coppens d'Eeckenbrugge G, Papazian V, éditeurs.



- Des territoires vivants pour transformer le monde [Internet]. Quae ; 2017 [cité 2022 janv 17]. p. 108-13. Disponible à : <http://hal.cirad.fr/cirad-01596652>
- Mace GM, Masundire H, Baillie JEM. Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. In: Biodiversity. Washington, DC: Island Press; 2005. p. 77-122.
  - Mendenhall E. The COVID-19 syndemic is not global: context matters. *The Lancet*. 2020; 396(10264): 1731.
  - Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: a framework for assessment [Internet]. Washington, DC : Island Press ; 2004 [cité 2019 mai 6]. Disponible à : <https://islandpress.org/books/ecosystems-and-human-well-being>.
  - Morand S. Emerging diseases, livestock expansion and biodiversity loss are positively related at global scale. *Biol Conserv*. 2020; 248: 108707.
  - Morand S, Guégan J-F, Laurans Y. De One Health à Ecohealth, cartographie du chantier inachevé de l'intégration des santés humaine, animale et environnementale. *IDDDRI Décryptage*. 2020 ; 4(20) : 1-4.
  - Patz JA, Daszak P, Tabor GM, Aguirre AA, Pearl M, Epstein J, *et al*. Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environ Health Perspect*. 2004; 112(10) : 1092-8.
  - Pauly D. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends Ecol Evol*. 1995; 10(10): 430.
  - Sarrazin F, Lecomte J. Evolution in the Anthropocene. *Science*. 2016; 351 (6276) : 922-3.
  - Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, *et al*. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* [Internet]. 2015. Disponible à : <http://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1259855>
  - Villette P. Spatial and Temporal Characteristics of Bacterial Parasite Communities in Outbreaking Fossorial Water Vole (*Arvicola terrestris*) Populations: Static Uniformity or Dynamic Heterogeneity? [Internet] [Thèse de doctorat]. Université de Franche-Comté ; 2018. Disponible à : <https://www.theses.fr/2018UBFCD056>
  - World Commission on Environment & Development. Our Common Future [Internet]. Oxford University Press; 1987. Disponible à : <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
  - Wu Z, Han Y, Liu B, Li H, Zhu G, Latinne A, *et al*. Decoding the RNA viromes in rodent lungs provides new insight into the origin and evolutionary patterns of rodent-borne pathogens in Mainland Southeast Asia. *Microbiome*. 2021; 9(1): 18.