

RÉFLEXION SUR LES EFFETS ULTIMES DE L'ÉLIMINATION DE LA RAGE EN EUROPE OCCIDENTALE DANS LE CONTEXTE « ONE HEALTH » ET « NEXUS »*

REFLECTION ON THE ULTIMATE EFFECTS OF RABIES ELIMINATION IN WESTERN EUROPE IN THE CONTEXT OF 'ONE HEALTH' AND 'NEXUS'

Patrick GIRAUDOUX¹ 

Manuscrit initial reçu le 7 août 2025, manuscrit révisé reçu le 12 août 2025 et accepté le 13 août 2025, révision éditoriale le 15 août 2025.

RÉSUMÉ

Cet article analyse les effets inattendus de l'élimination de la rage vulpine en Europe dans une perspective « One Health » et « Nexus ». L'élimination de la rage, associée à d'autres facteurs concomitants, a entraîné un accroissement démographique des populations de renards dans les années 1980, favorisant la transmission d'autres maladies animales telles que la gale sarcoptique et la maladie de Carré et une zoonose parasitaire, l'échinococcose alvéolaire, la colonisation des villes par cette espèce, et possiblement une exposition plus grande de certaines espèces-proies à la prédation. Cette dynamique illustre les effets en cascade inattendus d'une politique sanitaire ciblée sur un seul élément d'un socio-écosystème, et montre ainsi que des décisions focalisées sur un seul aspect de la santé peuvent avoir des répercussions sur d'autres aspects du socio-écosystème. Cet article plaide ainsi pour une gouvernance intégrée, interdisciplinaire et adaptative, capable de gérer les interdépendances complexes entre la santé humaine, animale et écosystémique à différentes échelles.

Mots-clés : rage, renard, échinococcose, Une seule santé, socio-écosystème

ABSTRACT

This article analyzes the unexpected effects of the elimination of fox rabies in Europe from a "One Health" and "Nexus" perspective. The elimination of rabies along with other concomitant factors led to a surge in fox populations in the 1980s, promoting the transmission of other animal diseases, such as sarcoptic mange, distemper and a parasitic zoonosis, alveolar echinococcosis, the colonization of cities by this species, and possibly greater exposure of certain prey species to predation. This dynamic illustrates the unexpected cascading effects of a health policy targeting a single element of a socio-ecosystem and thus shows that decisions focused on a single aspect of health can have repercussions on other aspects of the socio-ecosystem. This article therefore advocates for integrated, interdisciplinary and adaptive governance capable of managing the complex interdependencies between human, animal and ecosystem health at various scales.

Keywords: rabies, fox, echinococcosis, One Health, socio-ecosystem

* Cet article a été rédigé, très complété et enrichi, à partir du *Supplementary material* de l'article suivant : Giraudoux et al. (2025b) paru dans Open Forum Infectious Diseases (<https://doi.org/10.1093/ofid/ofaf310>).

1- Professeur émérite d'écologie, UMR UFC/CNRS Chrono-environnement, Université Marie et Louis Pasteur, Besançon, France.

Courriel : patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr



INTRODUCTION

Le cadre *One Health*, approuvé conjointement en 2023 par l'Organisation mondiale de la santé, l'Organisation mondiale de la santé animale, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et le Programme des Nations unies pour l'environnement, est défini comme une « approche intégrée et unificatrice qui vise à équilibrer et à optimiser de manière durable la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes ». Bien que la question ultime soit celle de l'habitabilité de la planète pour les humains, cette définition introduit un changement de perspective : la santé humaine n'est plus la seule priorité, mais doit être équilibrée et optimisée conjointement à la santé des animaux, des plantes et des écosystèmes. Cela soulève certaines questions pratiques et éthiques (Giraudoux *et al.* 2025a, 2025b). De plus, en décembre 2024, les 147 États membres de l'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) – ils sont aujourd'hui 150 – ont approuvé le résumé pour les décideurs du rapport Nexus qui examine les liens entre biodiversité, eau, alimentation et santé dans le contexte du changement climatique (IPBES *et al.* 2025a). Ce rapport, qui fournit plus de 70 options pour sortir des approches en silo, souligne que le coût de ces dernières se situe entre 10 et 20 % du PIB mondial. Ainsi, et dans la perspective des défis de ce siècle, la démarche Nexus réunit en un seul monde cinq éléments et leurs relations, qui sont habituellement dissociés dans la pensée classique. Elle incorpore de manière tant pragmatique que rigoureuse la complexité factorielle des emboîtements d'échelles de temps et d'espace, et intègre donc les approches interdisciplinaires en cours, par exemple celle de *One Health* (Une seule santé), la Santé planétaire, la Santé globale et l'approche *EcoHealth* (écologie de la santé) (IPBES *et al.* 2025a).

L'actualité récente corrobore ces approches et montre qu'il est problématique de légiférer dans un domaine sans tenir compte des effets de la législation sur les autres domaines. L'agriculture, par exemple, doit être pensée en termes de « système alimentaire » dans ses interdépendances avec la biodiversité, l'eau et la santé humaine aussi bien qu'animale et des plantes dans le contexte du réchauffement climatique. Cette injonction et cette urgence à décloisonner les prises de décision se heurtent cependant encore à une forme d'incrédulité, voire de déni politique sur ces dépendances, au confort des habitudes aussi. Elles se heurtent enfin à la difficulté de prévoir sans incertitude un effet local particulier dans un système complexe (jusqu'où peut-on aller dans la complexité ?), où de nombreuses trajectoires de changement sont possibles, et où les concomitances et corrélations mesurées ne sont pas nécessairement des relations causales directes, difficiles à isoler du fait même de cette complexité, de la multifactorialité des processus en cause et de la circularité de certaines causes.

Il est, en revanche, possible de tirer leçon d'une réflexion découlant de l'analyse rétrospective d'études de cas portant sur des suivis longitudinaux sur le temps long (voir, par exemple, Giraudoux *et al.* [2024], dans le Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, à propos de l'échinococcose alvéolaire dans le sud du Gansu, Chine).

Le but de cet article est de présenter brièvement une telle étude de cas, en examinant l'évolution des populations de renards en Europe continentale au cours des 60 dernières années, et le changement qui en découle dans la manière dont les questions et réponses relatives à la santé humaine, animale et celle des socio-écosystèmes sont appréhendées.

LA RAGE VULPINE EN EUROPE

Au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, les populations de renards roux (*Vulpes vulpes*) ont été touchées par une épizootie de rage dans toute l'Europe continentale. Les premiers cas de rage chez les animaux sauvages (renards et loups) ont été observés en 1951 dans trois districts de l'est de la Lettonie (Wandeler 2004), et la maladie s'est propagée vers le sud-ouest en direction de la Pologne, le front épizootique se déplaçant alors d'environ 20 à 60 km par an. Les premiers cas ont été signalés en Allemagne en 1947, en Belgique et au Luxembourg en 1966, en Suisse en 1967, en France en 1968 et aux Pays-Bas en 1974 (Delcourt *et al.* 2022). La chasse avant l'épizootie (les peaux de renard avaient alors une grande valeur commerciale), l'épizootie elle-même et sa gestion ont maintenu les populations de renards à un niveau relativement bas dans toute l'Europe jusqu'au début des années 1980. Bien qu'aucun cas mortel autochtone chez l'homme n'ait été signalé pendant plus de 30 ans d'épizootie en raison de la faible infectiosité de la souche virale pour les espèces autres que le renard, des campagnes de prévention efficaces et du traitement post-exposition chez l'homme, tous ces pays ont réagi en essayant de réduire davantage la population de renards (chasse, piégeage, empoisonnement et gazage). Cependant, cette stratégie n'a pas permis d'arrêter l'épizootie et a en fait accéléré sa propagation sur le front occidental. Afin de réduire les risques pour la santé publique des humains et des animaux domestiques, des vaccins oraux contre la rage du renard ont été mis au point. À partir du milieu des années 1980, des campagnes de vaccination à grande échelle ont été menées avec succès pour éliminer la rage chez les renards en Europe de l'ouest. Le dernier cas de rage chez les renards a été enregistré en 1998 en France, en 2001 en Allemagne, et, en 2018, la rage chez les renards a été officiellement considérée comme éradiquée de la majeure partie du territoire de l'UE. Le front se situe désormais à la frontière orientale de l'UE, de l'Estonie à la Roumanie.



CONSÉQUENCES IMMÉDIATES DU CONTRÔLE RABIQUE SUR LES POPULATIONS DE RENARD

Les campagnes de vaccination ont été suivies d'une explosion démographique, et les populations de renards sont devenues beaucoup plus importantes qu'avant l'épizootie. La vaccination contre la rage n'a pas été la cause isolée de cette explosion démographique, car celle-ci s'est également produite plusieurs décennies auparavant dans des régions alors indemnes de rage, comme le Royaume-Uni. Les causes sont plus probablement une combinaison de changements environnementaux induits par l'homme, qui ont pu profiter à la population continentale de renards une fois la rage éliminée et l'abattage systématique et massif des renards terminé (Delcourt *et al.* 2022). Cette explosion démographique a été suivie par l'émergence de populations de renards urbains dans toute l'Europe. Les populations rurales de renards semblent désormais avoir atteint des densités proches de la capacité de charge des milieux et se sont stabilisées, mais elles fluctuent localement en raison d'épizooties locales de gale sarcoptique et de maladie de Carré et d'autres facteurs locaux.

RENARDS EN EXPANSION : QUAND LA SANTÉ PUBLIQUE REDESSINE LE SOCIO-ÉCOSYSTÈME

Le renard roux est l'un des mésoprédateurs généralistes les plus répandus en Europe occidentale. L'Eurasie fait partie de son aire de répartition naturelle, où l'espèce a coévolué depuis des centaines de milliers d'années avec les autres espèces des écosystèmes auxquels elle appartient (Statham *et al.* 2014). Les renards peuvent cependant exercer une forte pression de prédation sur leurs proies. Ils se nourrissent de petits mammifères, ce qui leur vaut d'être considérés comme des auxiliaires par certains agriculteurs (par exemple dans les régions où les campagnols sont des ravageurs des cultures ; Giraudoux & Couval 2024), et de nombreux oiseaux, en particulier les espèces nichant au sol (Lindström *et al.* 1994 ; Tryjanowski *et al.* 2002), ce qui leur vaut d'être considérés comme une nuisance pour la volaille par les propriétaires de poulaillers (Pépin *et al.* 2025). Localement, ils peuvent être l'une des principales causes de mortalité des faons de chevreuils (*Capreolus capreolus*) (Lindström *et al.* 1994 ; Jarnemo *et al.* 2004) et des agneaux (White *et al.* 2000). Cela en fait une cible majeure de la lutte contre les prédateurs, en particulier dans les régions où des programmes de chasse sont mis en œuvre, par exemple dans l'espoir de développer le petit gibier (lièvre d'Europe *Lepus europeus*, Phasianidés, etc.) (Panek *et al.* 2006), ou de protéger des oiseaux aquatiques tels que le courlis cendré (*Numenius arquata*) et le vanneau huppé (*Vanellus vanellus*) ou des mammifères comme le grand hamster (*Cricetus cricetus*) en Alsace.

De plus, l'augmentation de la population de renards sur le continent a coïncidé avec l'expansion géographique du parasite *Echinococcus multilocularis* en Europe occidentale (Combes *et al.* 2012), son urbanisation (Liccioli *et al.* 2015) et une augmentation de l'incidence de l'échinococcose alvéolaire humaine (Schweiger *et al.* 2007 ; Deplazes *et al.* 2017 ; Knapp *et al.* 2025). Il a été démontré que la régulation de la circulation du parasite par l'abattage ou le piégeage des renards est inefficace, et même contre-productive (Comte *et al.* 2017). D'autres études indiquent que, pour parvenir à une réduction importante de la circulation du parasite grâce au maintien sur le long terme de la population de renards à des niveaux très bas, il faudrait prendre des mesures très coûteuses, inacceptables sur le plan éthique, logistique et écologique (Raoul *et al.* 2003 ; Jiguet 2020 ; Giraudoux *et al.* 2020b ; ANSES 2023). En réalité, une forme optimale de prévention consiste à encourager les gens à ne pas manipuler les renards, à clôturer les jardins et à vermifuger les chiens et les chats. Des mesures prophylactiques supplémentaires peuvent même être appliquées localement si nécessaire, comme le déparasitage des renards qui fréquentent les environs des habitations à l'aide d'appâts au praziquantel (Comte *et al.* 2013 ; Craig *et al.* 2017), ce qui présente l'avantage de ne pas déstabiliser la population et donc de ne pas laisser la place à de nouveaux arrivants infestés, mais pose la question de l'effet écologique à long-terme, non-étudié, d'un déparasitage systématique.

Un autre point troublant concerne le rôle prêté au renard dans la régulation des pullulations de campagnols prairiaux et de la borréliose de Lyme. En effet, les parties prenantes qui souhaitent moins d'acharnement sur l'espèce (elle est encore à ce jour classée « Espèce susceptible d'occasionner des dégâts » [ESOD] dans de nombreux départements) font souvent valoir qu'il s'agit d'un prédateur de campagnols, ce qui est indéniable, et qu'il est « susceptible d'en limiter les pullulations indésirables pour les agriculteurs ». Elles s'appuient par ailleurs sur deux études pour lui attribuer en plus un rôle de régulateur indirect d'organismes pathogènes tels que *Borrelia* sp, responsable de la maladie de Lyme (Levi *et al.* 2012 ; Hofmeester *et al.* 2017). Ce dernier point est cependant contredit par une autre étude qui le présente comme un réservoir de *Borrelia* sp. (Lesiczka *et al.* 2023). Les connaissances sont donc encore loin d'être stabilisées et toutes les idiosyncrasies écologiques et complexités sont loin d'être identifiées et comprises. Or, dans la réalité, il est frappant de constater que cette longue période post-rabique d'augmentation des populations de renard n'a conduit ni à une diminution de l'amplitude et de la fréquence des pullulations de campagnol terrestre (*Arvicola amphibius*) dans le massif du Jura, où les densités de renards atteignent une des valeurs les plus élevées observées en zone rurale en Europe (Berthier *et al.* 2014 ; Giraudoux *et al.* 2020b ; Giraudoux et Couval 2024), ni à une diminution de l'incidence de la maladie de Lyme, bien au contraire pour cette dernière qui a pratiquement doublé en France depuis le début du siècle (Nuttens *et al.* 2023).

Ces constats remettent donc en question toute interprétation simpliste de l'effet isolé de telle ou telle espèce, dont le renard, sur un socio-écosystème, sachant que, par ailleurs, ces régulations sont le plus souvent des processus communautaires, multifactoriels, mêlant des dizaines d'espèces (Hansson & Henttonen 1988 ; Giraudoux *et al.* 2020b et <https://zaaj.univ-fcomte.fr/spip.php?article118> ;



Boulanger 2021). De plus, l'évolution du socio-écosystème engage de nombreuses variables concomitantes : changement de pratiques agricoles incluant l'augmentation de la productivité prairiale pour ce qui concerne les pullulations de rongeurs dans le Jura (Giraudoux 2022) ; croissance explosive des populations d'ongulés de tous ordres (chevreuil, sanglier, cerf, chamois, etc.) – hôtes potentiels de tiques – survenue pendant la même période, due à l'application obligatoire de plans de chasse depuis 1978.

Il n'en reste pas moins que les caractéristiques des socio-écosystèmes actuels, post-rabiques, au fonctionnement desquels les populations de renards participent, sont très différentes de ceux pré-rabiques quand ces populations ne subsistaient, comparative-ment, qu'à relativement faible densité (Giraudoux 2025).

CONCLUSION : PENSER LES EFFETS EN CASCADE ET LA GOUVERNANCE DES INTERDÉPENDANCES

Dans le contexte de *One Health*, l'exemple présenté ici montre comment ce qui est bon pour une cible peut être néfaste pour d'autres. Ici, la lutte contre une menace potentielle pour la santé humaine, en l'occurrence la rage chez le renard, avec d'autres facteurs concomitants, a déclenché une cascade de conséquences pour des épizooties telles que la gale sarcoptique et la maladie de Carré, ainsi que le renforcement d'une zoonose parasitaire majeure, l'échinococcose alvéolaire. En outre, le changement dans la dynamique des populations de renards, toujours, bien sûr, en concomitance avec d'autres facteurs, a pu avoir un impact sur certaines espèces menacées et le petit gibier (Giraudoux *et al.* 2020b ; Delcourt *et al.* 2022). En revanche, elle n'a pas eu les effets qu'on aurait pu escompter, là où ils sont mesurés sur le long terme, sur les variations pluriannuelles de populations de campagnols terrestres et sur l'incidence de la borreliose de Lyme.

Comme celles présentées dans Giraudoux *et al.* (2025b, 2025a), cette étude de cas illustre « le lien essentiel entre les santé humaine et des animaux domestiques et sauvages ». Comme elles, elle souligne également pourquoi la gestion de systèmes aussi complexes doit « mobiliser plusieurs secteurs, disciplines et communautés, à différents niveaux de la société, afin qu'ils travaillent ensemble » (OHHLEP *et al.* 2022), pour anticiper et prévenir les conséquences indésirables des décisions prises concernant un seul élément du triptyque « *One Health* » en négligeant les autres. « Équilibrer et optimiser de manière durable la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes » (OHHLEP *et al.* 2022) n'est pas seulement l'affaire des médecins et des vétérinaires, mais aussi celle d'une partie beaucoup plus large de la société, avec des compromis inévitables entre différents résultats sanitaires et non sanitaires à prendre en compte à plusieurs échelles de temps et d'espace. La notion de groupe de travail multipartenaires est ici essentielle à mettre en œuvre (Brown *et al.* 2024 ; Giraudoux *et al.* 2020a).

Ces constats devraient également inciter à prendre en considération la santé humaine, animale et des écosystèmes globalement, non seulement en termes d'interdépendances, mais aussi en termes d'organisation hiérarchique au sein d'une cascade de contraintes et de mécanismes de rétroaction. Cela soulève la question de savoir quelle forme de gouvernance peut garantir une coordination efficace entre toutes les parties prenantes et comment les entités non humaines peuvent être représentées dans un tel cadre délibératif (Giraudoux *et al.* 2025a, 2025b). À notre connaissance, les moyens de résoudre le dilemme normatif et éthique éminent de la définition « *One Health* » de l'OHHLEP restent à établir. Les récentes évaluations de l'IPBES sur le Nexus et les changements transformateurs (IPBES *et al.* 2025a, 2025b) ont souligné que le meilleur moyen de dépasser les silos monothématiques est de recourir à une prise de décision intégrée et adaptative, appelée « approche Nexus ». Le concept « *One Health* » est sans aucun doute un cas particulier d'approche Nexus, mais restent à inventer des organisations de gouvernance pertinentes, capables de traiter ces questions de façon transversale.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie Denis Malvy pour sa relecture constructive du manuscrit.

RÉFÉRENCES

- ANSES. Avis relatif à l'évaluation des impacts sur la santé publique de la dynamique des populations de renards. (Saisine 2022-SA-0049). [Internet]. Maisons-Alfort : ANSES ; 2023 juin p. 15.
- Berthier K, Piry S, Cosson JF, Giraudoux P, Foltete JC, Defaut R *et al.* Dispersal, landscape and travelling waves in cyclic vole populations. *Ecol Lett.* 2014; 17(1): 53-64. <https://doi.org/10.1111/ele.12207>
- Boulanger N. Toujours plus de tiques en France, à qui la faute ? [Internet]. The Conversation. 2021.
- URL <http://theconversation.com/toujours-plus-de-tiques-en-france-a-qui-la-faute-163384> (consulté le 8.1.25).
- Brown PR, Giraudoux P, Jacob J, Couval G, Wolff C. Multi-stakeholder working groups to improve rodent management outcomes in agricultural systems. *International Journal of Pest Management.* 2024; 1-17. <https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2363877>
- Combes B, Comte S, Raton V, Raoul F, Boue F, Umhang G *et al.* Westward Spread of *Echinococcus multilocularis* in Foxes, France, 2005-2010. *Emerg Infect Dis.* 2012; 18(12):



2059 62. <https://doi.org/10.3201/eid1812.120219>

- Comte S, Raton V, Raoul F, Hegglin D, Giraudoux P, Deplazes P *et al.* Fox baiting against *Echinococcus multilocularis*: Contrasted achievements among two medium size cities. *Prev Vet Med.* 2013; 111(1 2): 147 55. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.03.016>
- Comte S, Umhang G, Raton V, Raoul F, Giraudoux P, Combes B *et al.* *Echinococcus multilocularis* management by fox culling: An inappropriate paradigm. *Prev Vet Med.* 2017; 147: 178 85. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.09.010>
- Craig PS, Hegglin D, Lighttowers MW, Torgerson PR, Wang Q. Chapter two - Echinococcosis: Control and Prevention. In : Thompson RCA, Deplazes P, Lymbery AJ, éditeurs. *Echinococcus and Echinococcosis*, Part B [Internet]. Academic Press ; 2017 [cité 2018 déc 27]. p. 55 158. (Advances in Parasitology ; vol. 96). <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.11.002>
- Delcourt J, Brochier B, Delvaux D, Vangeluwe D, Poncin P. Fox *Vulpes vulpes* population trends in Western Europe during and after the eradication of rabies. *Mammal Review.* 2022; 52(3): 343 59. <https://doi.org/10.1111/mam.12289>
- Deplazes P, Rinaldi L, Rojas CAA, Torgerson PR, Harandi MF, Romig T *et al.* Global Distribution of Alveolar and Cystic Echinococcosis. In : Thompson RCA, Deplazes P, Lymbery AJ, éditeurs. *Echinococcus and Echinococcosis*, Pt A [Internet]. 95e éd. 2017. p. 315 493. (Advances in Parasitology). <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.11.001>
- Giraudoux P. Mutations agricoles et pullulations de rongeurs prairiaux. Dans : Giraudoux P, éditeur. *Socio-écosystèmes L'indiscipline comme exigence du terrain* [Internet]. Londres : ISTE - Sciences ; 2022. p. 23 72.
- Giraudoux P. Quand l'oubli efface les changements. *Bourgogne Franche-Comté Nature.* 2025; 41: 325 33.
- Giraudoux P, Bourg D, Lefrançois T, Bompangue D, Vuitton DA, Malvy D. Optimiser conjointement la santé des humains, des animaux, des plantes et des écosystèmes : comment concilier bénéfices et inconvénients ? *Bull Acad Vét Fr.* 2025a; soumis.
- Giraudoux P, Bourg D, Lefrançois T, Bompangue D, Vuitton DA, Malvy D. Optimizing Health Across Humans, Animals, Plants, and Ecosystems: How Long Before Benefits Turn Harmful—and Harm Becomes Healing? *Open Forum Infectious Diseases.* 2025b; ofaf310. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofaf310>
- Giraudoux P, Couval G. Contrôle multifactoriel des populations de campagnols dans un socio-écosystème : une application pratique au massif du Jura, France. *Bull Acad Vét Fr.* 2024; epub: 1 12. <https://doi.org/10.3406/bavf.2024.71113>
- Giraudoux P, Couval G, Feuvrier P, Pépin D. Programme CARELI. *Bourgogne Franche-Comté Nature.* 2020a; 31: 96 9. <https://hal.science/hal-04617134v1>
- Giraudoux P, Levret A, Afonso E, Coeurdassier M, Couval G. Numerical response of predators to large variations of grassland vole abundance and long-term community changes. *Ecol Evol.* 2020b; 10(24): 14221 46. <https://doi.org/10.1002/ece3.7020>
- Giraudoux P, Vuitton DA, Craig PS. Une seule santé en pratique: une réflexion critique sur l'élimination de l'échinococcose alvéolaire dans les comptés de Zhang et Min, dans la province du Gansu, Chine/One Health in practice: a critical reflection on the elimination of alveolar echinococcosis in Zhang and Ming counties, Gansu province, China. *Bull Acad Vét Fr.* 2024; epub: 1 26. <https://doi.org/10.3406/bavf.2024.71084>
- Hansson L, Henttonen H. Rodent dynamics as community processes. *Trends Ecol Evol.* 1988; 3(8): 195 200. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(88\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0169-5347(88)90006-7)
- Hofmeester TR, Jansen PA, Wijnen HJ, Coipan EC, Fonville M, Prins HHT *et al.* Cascading effects of predator activity on tick-borne disease risk. *Proc Biol Sci.* 2017; 284(1859): 20170453. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0453>
- IPBES, McElwee PD, Harrison PA, Van Huysen TL, Alonso Roldán V, Barrios E *et al.* Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on the Interlinkages among Biodiversity, Water, Food and Health of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [Internet]. Bonn, Germany : IPBES Secretariat ; 2025a. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13850289>
- IPBES, O'Brien K, Garibaldi LA, Arun Agrawal, Bennett E, Biggs R *et al.* IPBES Transformative Change Assessment: Summary for Policymakers [Internet]. Zenodo; 2025b. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15645812>
- Jarnemo A, Liberg O, Lockowandt S, Olsson A, Wahlström K. Predation by red fox on European roe deer fawns in relation to age, sex, and birth date. *Can J Zool.* 2004; 82(3): 416 22. <https://doi.org/10.1139/z04-011>
- Jiguet F. The Fox and the Crow. A need to update pest control strategies. *Biol Conserv.* 2020; 248: 108693. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108693>
- Knapp J, Demonmerot F, Gbaguidi-Haore H, Richou C, Vuitton DA, Bellanger A-P, *et al.* Epidemiological and clinical characteristics of patients in the alveolar echinococcosis registry, France, 1982 to 2021. *Eurosurveillance.* 2025 ; 30(32) : 2500041. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2025.30.32.2500041>
- Lesiczka PM, Rudenko N, Golovchenko M, Juránková J, Dan k O, Modrý D *et al.* Red fox (*Vulpes vulpes*) play an important role in the propagation of tick-borne pathogens. *Ticks Tick Borne Dis.* 2023; 14(1): 102076. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102076>
- Levi T, Kilpatrick AM, Mangel M, Wilmers CC. Deer, predators, and the emergence of Lyme disease. *Proc Natl Acad Sci U. S. A.* 2012; 109(27): 10942 7. <https://doi.org/10.1073/pnas.1204536109>
- Liccioli S, Giraudoux P, Deplazes P, Massolo A. Wilderness in the 'city' revisited: different urbes shape transmission of *Echinococcus multilocularis* by altering predator and prey communities. *Trends Parasitol.* 2015; 31(7): 297 305. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.04.007>
- Lindström ER, Andren H, Angelstam P, Cederlund G, Hornfeldt B, Jaderberg L *et al.* Disease reveals the predator: Sarcopic mange, red fox predation, and prey populations. *Ecology.* 1994; 75(4): 1042 9.
- Nuttens C, Bessou A, Duret S, Skufca J, Blanc E, Pilz A *et al.* Epidemiology of Lyme Borreliosis in France in Primary Care and Hospital Settings, 2010–2019. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2023; 23(4): 221 9. <https://doi.org/10.1089/vbz.2022.0050>
- OHHLEP, Adisasmito WB, Almuhairi S, Behravesh CB, Bilivogui P, Bukachi SA *et al.* One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. *PLOS Pathog.* 2022; 18(6): e1010537. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010537>
- Panek M, Kamieniarz R, Bresi ski W. The effect of experimental removal of red foxes *Vulpes vulpes* on spring density of brown hares *Lepus europaeus* in western Poland. *Acta Theriol.*



Bull. Acad. Vét. France — 2025

<http://www.academie-veterinaire-defrance.org/>



Cet article est publié sous licence creative commons CC-BY-NC-ND 4.0

2006; 51(2): 187-93. <https://doi.org/10.1007/BF03192670>

- Pépin D, Feuvrier P, Powolny T, Giraudoux P. Investigating the effects of red fox management on poultry beyond the controversy, Jura Massif, France. *Sci Rep.* 2025; 15(1): 26238. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08500-6>

- Raoul F, Michelat D, Ordinaire M, Decote Y, Aubert M, Delattre P *et al.* *Echinococcus multilocularis*: secondary poisoning of fox population during a vole outbreak reduces environmental contamination in a high endemicity area. *Int J Parasitol.* 2003; 33(9): 945-54.

[https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(03\)00127-9](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(03)00127-9).

- Schweiger A, Ammann RW, Candinas D, Clavien PA, Eckert J, Gottstein B *et al.* Human Alveolar Echinococcosis after Fox Population Increase, Switzerland. *Emerg Infect Dis.* 2007; 13(6): 878-82. <https://doi.org/10.3201/eid1306.061074>

- Statham MJ, Murdoch J, Janecka J, Aubry KB, Edwards CJ, Soulsbury CD *et al.* Range-wide multilocus phylogeography of

the red fox reveals ancient continental divergence, minimal genomic exchange and distinct demographic histories. *Mol Ecol.* 2014; 23(19): 4813-30.

<https://doi.org/10.1111/mec.12898>

- Tryjanowski P, Goldyn B, Surmacki A. Influence of the red fox (*Vulpes vulpes*, Linnaeus 1758) on the distribution and number of breeding birds in a intensively used farmland. *Ecol Res.* 2002; 17: 395-9.

- Wandeler AI. Epidemiology of fox rabies in Europe. Dans : King AA, Fooks AR, Aubert M, Wandeler AI, éditeurs. *Historical Perspective of Rabies in Europe and the Mediterranean Basin* [Internet]. Paris, France : World Organisation for Animal Health (OIE) ; 2004 [cité 2024 juin 22]. p. 201-14.

- White PCL, Groves HL, Savory JR, Conington J, Hutchings MR. Fox predation as a cause of lamb mortality on hill farms. *Vet Rec.* 2000; 147(2): 33-7. <https://doi.org/10.1136/vr.147.2.33>



REFLECTION ON THE ULTIMATE EFFECTS OF RABIES ELIMINATION IN WESTERN EUROPE IN THE CONTEXT OF 'ONE HEALTH' AND 'NEXUS'*

RÉFLEXION SUR LES EFFETS ULTIMES DE L'ÉLIMINATION DE LA RAGE EN EUROPE OCCIDENTALE DANS LE CONTEXTE « ONE HEALTH » ET « NEXUS »

Patrick GIRAUDOUX¹ 

The initial manuscript was received on August 7th 2025, and the revised version was received on August 12th 2025, and accepted on August 13th 2025; the editorial revision was on August 15th 2025.

ABSTRACT

This article analyzes the unexpected effects of the elimination of fox rabies in Europe from a "One Health" and "Nexus" perspective. The elimination of rabies along with other concomitant factors led to a surge in fox populations in the 1980s, promoting the transmission of other animal diseases, such as sarcoptic mange, distemper and a parasitic zoonosis, alveolar echinococcosis, the colonization of cities by this species, and possibly greater exposure of certain prey species to predation. This dynamic illustrates the unexpected cascading effects of a health policy targeting a single element of a socio-ecosystem and thus shows that decisions focused on a single aspect of health can have repercussions on other aspects of the socio-ecosystem. This article therefore advocates for integrated, interdisciplinary and adaptive governance capable of managing the complex interdependencies between human, animal and ecosystem health at various scales.

Keywords: rabies, fox, echinococcosis, One Health, socio-ecosystem

RÉSUMÉ

Cet article analyse les effets inattendus de l'élimination de la rage vulpine en Europe dans une perspective « One Health » et « Nexus ». L'élimination de la rage, associée à d'autres facteurs concomitants, a entraîné un accroissement démographique des populations de renards dans les années 1980, favorisant la transmission d'autres maladies animales telles que la gale sarcoptique et la maladie de Carré et une zoonose parasitaire, l'échinococcose alvéolaire, la colonisation des villes par cette espèce, et possiblement une exposition plus grande de certaines espèces-proies à la prédation. Cette dynamique illustre les effets en cascade inattendus d'une politique sanitaire ciblée sur un seul élément d'un socio-écosystème, et montre ainsi que des décisions focalisées sur un seul aspect de la santé peuvent avoir des répercussions sur d'autres aspects du socio-écosystème. Cet article plaide ainsi pour une gouvernance intégrée, interdisciplinaire et adaptative, capable de gérer les interdépendances complexes entre la santé humaine, animale et écosystémique à différentes échelles.

Mots-clés : rage, renard, échinococcose, Une seule santé, socio-écosystème

* This article was written, extensively supplemented and enriched, based on the supplementary material from the following article: Giraudoux *et al.* (2025b) published in Open Forum Infectious Diseases (<https://doi.org/10.1093/ofid/ofaf310>).

1- Professeur émérite d'écologie, UMR UFC/CNRS Chrono-environnement, Université Marie et Louis Pasteur, Besançon, France.

Courriel : patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr



INTRODUCTION

The One Health framework, jointly approved in 2023 by the World Health Organisation, the World Organisation for Animal Health, the Food and Agriculture Organisation of the United Nations, and the United Nations Environment Programme, is defined as an “integrated and unifying approach that aims to sustainably balance and optimize the health of people, animals and ecosystems.” Although the ultimate question is that of the planet’s habitability for humans, this definition introduces a change in perspective: human health is no longer the sole priority, but must be balanced and optimized jointly with the health of animals, plants and ecosystems. This raises certain practical and ethical questions (Giraudoux *et al.* 2025a, 2025b). Furthermore, in December 2024, the 147 member states of IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)—now numbering 150—approved the summary for policymakers of the Nexus report, which examines the links between biodiversity, water, food and health in the context of climate change (IPBES *et al.* 2025a). This report, which provides more than 70 options for breaking away from silo approaches, highlights that these approaches cost between 10 and 20% of global GDP. Thus, in view of the challenges of this century, the Nexus approach brings together five elements and their relationships, which are usually dissociated in conventional thinking, into a single world. It integrates, in a pragmatic and rigorous manner, the factorial complexity of nested time and space scales, and thus reconciles the framework of current interdisciplinary approaches, such as One Health, Planetary Health, Global Health, and EcoHealth (health ecology) (IPBES *et al.* 2025a).

Recent events corroborate these approaches and show that it is problematic to legislate in one area without considering the effects of legislation on other areas. Agriculture, for example, must be thought of in terms of a “food system” in its interdependencies with biodiversity, water, and human, animal and plant health, in the context of global warming. However, this injunction and the urgent need to break down barriers in decision-making still come up against a form of disbelief, even political denial of these dependencies, as well as the comfort of habit. Finally, they come up against the difficulty of predicting with certainty a particular local effect in a complex system (how far can we go in terms of complexity?), where many trajectories of change are possible, and where the measured concomitances and correlations are not necessarily direct causal relationships, which are difficult to isolate due to this very high complexity, the multifactorial nature of the processes involved and the circularity of certain causes.

However, it is possible to learn from a retrospective analysis of case studies involving long-term longitudinal monitoring (see, for example, Giraudoux *et al.* (2024), in this Bulletin, on alveolar echinococcosis in southern Gansu, China).

The aim of this article is to briefly present such a case study, examining the evolution of fox populations in continental Europe over the last 60 years, and how this evolution may have changed the way questions and answers relating to human, animal and socio-ecosystem health are approached.

FOX RABIES IN CONTINENTAL EUROPE

In the second half of the 20th century, red fox (*Vulpes vulpes*) populations experienced a rabies epidemic throughout continental Europe. The first cases of rabies in wildlife (foxes and wolves) were observed in 1951 in three districts of eastern Latvia (Wandeler 2004), and the disease spread south-west toward Poland, with the front of the epizootic then moving about 20–60 km per year. The first cases were reported in Germany in 1947, Belgium and Luxembourg in 1966, Switzerland in 1967, France in 1968, and the Netherlands in 1974 (Delcourt *et al.* 2022). Hunting before the outbreak (fox pelts were valuable at the time), the outbreak itself and its management kept fox populations relatively low throughout Europe until the early 1980s. Although no fatal autochthonous human cases were reported during more than 30 years epidemic due to the lower infectivity of the virus strain to non-fox species, efficient prevention campaigns, and human post-exposure treatment, a response in all these countries was to try to reduce the fox population further (shooting, trapping, poisoning, and gassing), but this failed to stop the epizootic and actually accelerated its spread on the western front. To reduce public health risks to humans and domestic animals, oral fox rabies vaccines were developed. From the mid-1980s, large-scale fox vaccination campaigns were conducted to successfully eliminate fox rabies in Western Europe. The last case of fox rabies was recorded in 1998 in France, 2001 in Germany, and, in 2018, fox rabies was officially considered eliminated from most of the EU territory. The front is now on the eastern border of the EU, from Estonia to Romania.

IMMEDIATE CONSEQUENCES OF RABIES CONTROL ON FOX POPULATIONS

The vaccination campaigns were followed by a demographic surge, and the fox populations became much larger than before the outbreak. Rabies vaccination alone was not the direct cause of this demographic explosion, as it also occurred decades earlier in rabies-free areas, like in the UK. The causes are more likely to be a combination of human-induced environmental changes that could benefit the continental fox population, once rabies has been eliminated and the subsequent systematic and massive culling of foxes has ended (Delcourt *et al.* 2022). This demographic explosion was followed by the emergence of urban fox populations throughout Europe. Rural fox populations now seem to have reached densities close to carrying capacity, and populations have stabilized, but they fluctuate locally due to local epizootics of sarcoptic mange and distemper.



FOXES ON THE RISE: WHEN PUBLIC HEALTH RESHAPES THE SOCIO-ECOSYSTEM

The red fox is one of the most widespread generalist mesopredators in Western Europe. Eurasia is part of its natural range, where the species has co-evolved for hundreds of thousands of years with other species in the ecosystems to which it belongs (Statham *et al.* 2014). However, foxes can exert significant predation pressure on their prey. They feed on small mammals, that's why they are considered beneficial by some farmers (for example in regions where voles are crop pests; Giraudoux & Couval 2024), and on many birds, particularly ground-nesting species (Lindström *et al.* 1994; Tryjanowski *et al.* 2002), which leads poultry farmers to consider them as a nuisance (Pépin *et al.* 2025). Locally, they can be one of the main causes of mortality among roe deer (*Capreolus capreolus*) fawns (Lindström *et al.* 1994; Jarnemo *et al.* 2004) and lambs (White *et al.* 2000). This makes it a major target in predator control, particularly in regions where hunting programs are implemented, for example in the hope of developing small game (European hare *Lepus europeus*, Phasianidae, etc.) (Panek *et al.* 2006) or to protect waterbirds, such as the Eurasian curlew (*Numenius arquata*) and the northern lapwing (*Vanellus vanellus*), or mammals such as the European hamster (*Cricetus cricetus*) in Alsace.

Moreover, the continental increase in the fox population coincided with the geographical expansion of the parasite *Echinococcus multilocularis* in Western Europe (Combes *et al.* 2012), its urbanization (Liccioli *et al.* 2015), and an increase in the incidence of human alveolar echinococcosis (Schweiger *et al.* 2007; Deplazes *et al.* 2017; Knapp *et al.* 2025). Evidence has been provided that regulating the circulation of the parasite by the usual means of shooting or trapping foxes is ineffective and even counterproductive (Comte *et al.* 2017). Other studies suggest that achieving the desired reduction in parasite circulation through sustained suppression of the fox population to very low levels would require measures that are ethically, logistically, and ecologically unacceptable (Raoul *et al.* 2003; Jiguet 2020; Giraudoux *et al.* 2020b; ANSES 2023). Actually, an optimal form of prevention comprises encouraging people not to handle foxes, fence off gardens, and deworm dogs and cats. Additional prophylactic measures can even be applied locally if necessary, such as deworming by baiting foxes that frequent the surroundings of homes (Comte *et al.* 2013; Craig *et al.* 2017), with the advantage of not destabilizing their population and, therefore, not leaving the space empty for new infested arrivals, but it raises the question of the long-term ecological effects of systematic deworming, which have not been studied.

Another troubling issue concerns the role attributed to foxes in regulating grassland vole outbreaks and Lyme disease. Indeed, stakeholders who wish to see less persecution of the species (it is still classified as a “species likely to cause damage” [ESOD] in many departments in France) often argue that it is a predator of voles, which is undeniable, and that it is ‘likely to limit outbreaks that are undesirable for farmers’. They also cite two studies to attribute to it an additional role as an indirect regulator of pathogens such as *Borrelia* sp., which causes Lyme disease (Levi *et al.* 2012; Hofmeester *et al.* 2017). However, this latter point is contradicted by another study that presents it as a reservoir for *Borrelia* sp. (Lesiczka *et al.* 2023). Knowledge is therefore still far from stable, and all the ecological idiosyncrasies and complexities are far from being identified and understood. In reality, however, it is striking to note that this long post-rabies period of increasing fox populations has not led to a decrease in the amplitude and frequency of mountain water vole (*Arvicola amphibius*) outbreaks in the Jura Mountains, where fox densities reach some of the highest values observed in rural areas in Europe (Berthier *et al.* 2014; Giraudoux *et al.* 2020b; Giraudoux & Couval 2024), nor to a decrease in the incidence of Lyme disease, which has actually almost doubled in France since the beginning of the XXIst century (Nuttens *et al.* 2023).

These findings therefore call into question any simplistic interpretation of the isolated effect of a particular species, such as the fox, on a socio-ecosystem, given that these regulatory processes are most often community-based, multifactorial processes involving dozens of species (Hansson & Henttonen 1988; Giraudoux *et al.* 2020b <https://zaaj.univ-fcomte.fr/spip.php?article118>; Boulanger 2021). In addition, changes in the socio-ecosystem involve many concomitant variables: changes in agricultural practices, including increased grassland productivity with regard to rodent population outbreaks in the Jura (Giraudoux 2022), explosive growth in populations of all types of ungulates (roe deer, wild boar, red deer, chamois, etc.), potential hosts of adult ticks, which occurred during the same period due to the mandatory implementation of hunting plans since 1978.

Nevertheless, the characteristics of today's post-rabies socio-ecosystems, in which fox populations play a role, are very different from those of the pre-rabies period, when these populations existed at relatively low densities (Giraudoux 2025).

CONCLUSION: CONSIDERING CASCADING EFFECTS AND THE GOVERNANCE OF INTERDEPENDENCIES

In the context of One Health, the example presented here shows how what is good for one target can be harmful to others. Here, the fight against a potential threat to human health, in this case rabies in foxes, along with other concomitant factors, triggered a cascade of consequences for epizootics, such as sarcoptic mange and canine distemper, as well as the strengthening of a parasitic zoonosis, alveolar echinococcosis. In addition, the change in fox population dynamics, again in conjunction with other factors, may have had an impact on certain endangered species and small game (Giraudoux *et al.* 2020b; Delcourt *et al.* 2022). However, it has not had the expected effects, where these have been measured over the long term, on multi-year variations in vole populations and on the incidence of Lyme disease.



Like those presented in Giraudoux *et al.* (2025a, 2025b), this case study illustrates “the essential link between human, domestic animal and wildlife health”. Like them, it also highlights why managing such complex systems requires “mobilizing multiple sectors, disciplines and communities at different levels of society to work together” (OHHLEP *et al.* 2022), in order to anticipate and prevent the undesirable consequences of decisions taken concerning a single element of the “One Health” triptych while neglecting the others. “Balancing and sustainably optimizing the health of people, animals and ecosystems” (OHHLEP *et al.* 2022) is not only a matter for doctors and veterinarians, but for a much broader section of society, with inevitable trade-offs between different health and non-health outcomes to be considered at multiple scales of time and space. The concept of a multi-partner working group is essential to implement here (Brown *et al.* 2024; Giraudoux *et al.* 2020a).

These findings should also encourage us to consider human, animal and ecosystem health globally, not only in terms of interdependencies, but also in terms of hierarchical organization within a cascade of constraints and feedback mechanisms. This raises the question of what form of governance can ensure effective coordination between all stakeholders and how non-human entities can be represented in such a deliberative framework (Giraudoux *et al.* 2025a, 2025b). To our knowledge, the means of resolving the prominent normative and ethical dilemma of the OHHLEP’s “One Health” definition remain to be established. Recent IPBES assessments on the Nexus and transformative changes (IPBES *et al.* 2025a, 2025b) have emphasized that the best way to overcome single-issue silos is to use integrated and adaptive decision-making, known as the “Nexus approach.” The One Health concept is undoubtedly a special case of the Nexus approach, but relevant governance organizations capable of addressing these issues in a cross-cutting manner have yet to be invented.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks Denis Malvy for his constructive review of the manuscript.

REFERENCES

- ANSES. Avis relatif à l'évaluation des impacts sur la santé publique de la dynamique des populations de renards. (Saisine 2022-SA-0049). [Internet]. Maisons-Alfort : ANSES ; 2023 juin p. 15.
- Berthier K, Piry S, Cosson JF, Giraudoux P, Foltete JC, De-faut R *et al.* Dispersal, landscape and travelling waves in cyclic vole populations. *Ecol Lett.* 2014; 17(1): 53 64. <https://doi.org/10.1111/ele.12207>
 - Boulanger N. Toujours plus de tiques en France, à qui la faute ? [Internet]. The Conversation. 2021. URL <http://theconversation.com/toujours-plus-de-tiques-en-france-a-qui-la-faute-163384> (consulté le 8.1.25).
 - Brown PR, Giraudoux P, Jacob J, Couval G, Wolff C. Multi-stakeholder working groups to improve rodent management outcomes in agricultural systems. *International Journal of Pest Management.* 2024; 1 17. <https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2363877>
 - Combes B, Comte S, Raton V, Raoul F, Boue F, Umhang G *et al.* Westward Spread of *Echinococcus multilocularis* in Foxes, France, 2005-2010. *Emerg Infect Dis.* 2012; 18(12): 2059 62. <https://doi.org/10.3201/eid1812.120219>
 - Comte S, Raton V, Raoul F, Hegglin D, Giraudoux P, De-plazes P *et al.* Fox baiting against *Echinococcus multilocularis*: Contrasted achievements among two medium size cities. *Prev Vet Med.* 2013; 111(1 2): 147 55. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.03.016>
 - Comte S, Umhang G, Raton V, Raoul F, Giraudoux P, Combes B *et al.* *Echinococcus multilocularis* management by fox culling: An inappropriate paradigm. *Prev Vet Med.* 2017; 147: 178 85. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.09.010>
 - Craig PS, Hegglin D, Lighttowers MW, Torgerson PR, Wang Q. Chapter two - Echinococcosis: Control and Prevention. In : Thompson RCA, Deplazes P, Lymbery AJ, éditeurs. *Echinococcus and Echinococcosis, Part B* [Internet]. Academic Press ; 2017 [cité 2018 déc 27]. p. 55 158. (Advances in Parasitology ; vol. 96). <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.11.002>
 - Delcourt J, Brochier B, Delvaux D, Vangeluwe D, Poncin P. Fox *Vulpes vulpes* population trends in Western Europe during and after the eradication of rabies. *Mammal Review.* 2022; 52(3): 343 59. <https://doi.org/10.1111/mam.12289>
 - Deplazes P, Rinaldi L, Rojas CAA, Torgerson PR, Harandi MF, Romig T *et al.* Global Distribution of Alveolar and Cystic Echinococcosis. In : Thompson RCA, Deplazes P, Lymbery AJ, éditeurs. *Echinococcus and Echinococcosis, Pt A* [Internet]. 95e éd. 2017. p. 315 493. (Advances in Parasitology). <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.11.001>
 - Giraudoux P. Mutations agricoles et pullulations de rongeurs prairiaux. Dans : Giraudoux P, éditeur. *Socio-écosystèmes L'indiscipline comme exigence du terrain* [Internet]. Londres : ISTE - Sciences ; 2022. p. 23 72.
 - Giraudoux P. Quand l'oubli efface les changements. *Bourgogne Franche-Comté Nature.* 2025; 41: 325 33.
 - Giraudoux P, Bourg D, Lefrançois T, Bompangue D, Vuitton DA, Malvy D. Optimiser conjointement la santé des humains, des animaux, des plantes et des écosystèmes : comment concilier bénéfices et inconvénients ? *Bull Acad Vét Fr.* 2025a; soumis.
 - Giraudoux P, Bourg D, Lefrançois T, Bompangue D, Vuitton DA, Malvy D. Optimizing Health Across Humans, Animals, Plants, and Ecosystems: How Long Before Benefits Turn Harmful—and Harm Becomes Healing? *Open Forum Infectious Diseases.* 2025b; ofaf310. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofaf310>
 - Giraudoux P, Couval G. Contrôle multifactoriel des popula-



tions de campagnols dans un socio-écosystème : une application pratique au massif du Jura, France. Bull Acad Vét Fr. 2024; epub: 1 12. <https://doi.org/10.3406/bavf.2024.71113>

• Giraudoux P, Couval G, Feuvrier P, Pépin D. Programme CARELI. Bourgogne Franche-Comté Nature. 2020a; 31: 96 9. <https://hal.science/hal-04617134v1>

• Giraudoux P, Levret A, Afonso E, Coeurdassier M, Couval G. Numerical response of predators to large variations of grassland vole abundance and long-term community changes. Ecol Evol. 2020b; 10(24): 14221 46. <https://doi.org/10.1002/ece3.7020>

• Giraudoux P, Vuitton DA, Craig PS. Une seule santé en pratique: une réflexion critique sur l'élimination de l'échinococcose alvéolaire dans les comtés de Zhang et Min, dans la province du Gansu, Chine/One Health in practice: a critical reflection on the elimination of alveolar echinococcosis in Zhang and Ming counties, Gansu province, China. Bull Acad Vét Fr. 2024; epub: 1 26. <https://doi.org/10.3406/bavf.2024.71084>

• Hansson L, Henttonen H. Rodent dynamics as community processes. Trends Ecol Evol. 1988; 3(8): 195 200. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(88\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0169-5347(88)90006-7)

• Hofmeester TR, Jansen PA, Wijnen HJ, Coipan EC, Fonville M, Prins HHT *et al.* Cascading effects of predator activity on tick-borne disease risk. Proc Biol Sci. 2017; 284(1859): 20170453. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0453>

• IPBES, McElwee PD, Harrison PA, Van Huysen TL, Alonso Roldán V, Barrios E *et al.* Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on the Interlinkages among Biodiversity, Water, Food and Health of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [Internet]. Bonn, Germany : IPBES Secretariat ; 2025a. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13850289>

• IPBES, O'Brien K, Garibaldi LA, Arun Agrawal, Bennett E, Biggs R *et al.* IPBES Transformative Change Assessment: Summary for Policymakers [Internet]. Zenodo; 2025b. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15645812>

• Jarnemo A, Liberg O, Lockowandt S, Olsson A, Wahlström K. Predation by red fox on European roe deer fawns in relation to age, sex, and birth date. Can J Zool. 2004; 82(3): 416 22. <https://doi.org/10.1139/z04-011>

• Jiguet F. The Fox and the Crow. A need to update pest control strategies. Biol Conserv. 2020; 248: 108693. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108693>

• Knapp J, Demonmerot F, Gbaguidi-Haore H, Richou C, Vuitton DA, Bellanger A-P, *et al.* Epidemiological and clinical characteristics of patients in the alveolar echinococcosis registry, France, 1982 to 2021. Eurosurveillance. 2025 ; 30(32) : 2500041. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2025.30.32.2500041>

• Lesiczka PM, Rudenko N, Golovchenko M, Juránková J, Dan k O, Modrý D *et al.* Red fox (*Vulpes vulpes*) play an important role in the propagation of tick-borne pathogens. Ticks Tick Borne Dis. 2023; 14(1): 102076. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102076>

• Levi T, Kilpatrick AM, Mangel M, Wilmers CC. Deer, predators, and the emergence of Lyme disease. Proc Natl Acad Sci U. S. A. 2012; 109(27): 10942 7.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1204536109>

• Liccioli S, Giraudoux P, Deplazes P, Massolo A. Wilderness in the 'city' revisited: different urbes shape transmission of *Echinococcus multilocularis* by altering predator and prey communities. Trends Parasitol. 2015; 31(7): 297 305. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.04.007>

• Lindström ER, Andren H, Angelstam P, Cederlund G, Hornfeldt B, Jaderberg L *et al.* Disease reveals the predator: Sarcopic mange, red fox predation, and prey populations. Ecology. 1994; 75(4): 1042 9.

• Nuttens C, Bessou A, Duret S, Skufca J, Blanc E, Pilz A *et al.* Epidemiology of Lyme Borreliosis in France in Primary Care and Hospital Settings, 2010–2019. Vector Borne Zoonotic Dis. 2023; 23(4): 221 9. <https://doi.org/10.1089/vbz.2022.0050>

• OHHLEP, Adisasmito WB, Almuhairei S, Behravesh CB, Bilivogui P, Bukachi SA *et al.* One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. PLOS Pathog. 2022; 18(6): e1010537. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010537>

• Panek M, Kamieniarz R, Bresi ski W. The effect of experimental removal of red foxes *Vulpes vulpes* on spring density of brown hares *Lepus europaeus* in western Poland. Acta Theriol. 2006; 51(2): 187 93. <https://doi.org/10.1007/BF03192670>

• Pépin D, Feuvrier P, Powolny T, Giraudoux P. Investigating the effects of red fox management on poultry beyond the controversy, Jura Massif, France. Sci Rep. 2025; 15(1): 26238. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08500-6>

• Raoul F, Michelat D, Ordinaire M, Decote Y, Aubert M, Delattre P *et al.* *Echinococcus multilocularis*: secondary poisoning of fox population during a vole outbreak reduces environmental contamination in a high endemicity area. Int J Parasitol. 2003; 33(9): 945 54.

[https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(03\)00127-9](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(03)00127-9)

• Schweiger A, Ammann RW, Candinas D, Clavier PA, Eckert J, Gottstein B *et al.* Human Alveolar Echinococcosis after Fox Population Increase, Switzerland. Emerg Infect Dis. 2007; 13(6): 878 82. <https://doi.org/10.3201/eid1306.061074>

• Statham MJ, Murdoch J, Janecka J, Aubry KB, Edwards CJ, Soulsbury CD *et al.* Range-wide multilocus phylogeography of the red fox reveals ancient continental divergence, minimal genomic exchange and distinct demographic histories. Mol Ecol. 2014; 23(19): 4813 30.

<https://doi.org/10.1111/mec.12898>

• Tryjanowski P, Goldyn B, Surmacki A. Influence of the red fox (*Vulpes vulpes*, Linnaeus 1758) on the distribution and number of breeding birds in a intensively used farmland. Ecol Res. 2002; 17: 395 9.

• Wandeler AI. Epidemiology of fox rabies in Europe. Dans : King AA, Fooks AR, Aubert M, Wandeler AI, éditeurs. Historical Perspective of Rabies in Europe and the Mediterranean Basin [Internet]. Paris, France : World Organisation for Animal Health (OIE) ; 2004 [cité 2024 juin 22]. p. 201 14.

• White PCL, Groves HL, Savory JR, Conington J, Hutchings MR. Fox predation as a cause of lamb mortality on hill farms. Vet Rec. 2000; 147(2): 33 7. <https://doi.org/10.1136/vr.147.2.33>

