

CONTRÔLE MULTIFACTORIEL DES POPULATIONS DE CAMPAGNOLS DANS UN SOCIO-ÉCOSYSTÈME : UNE APPLICATION PRATIQUE AU MASSIF DU JURA, FRANCE

MULTIFACTORIAL CONTROL OF VOLE POPULATIONS IN A SOCIO-ECOSYSTEM: A PRACTICAL APPLICATION TO THE JURA MASSIF, FRANCE

Patrick GIRAUDOUX¹  et Geoffroy COUVAL²

Communication présentée le 26 septembre 2024 à la séance publique « Vivre avec la faune sauvage »

Manuscrit initial reçu le 11 octobre 2024, manuscrit révisé reçu le 16 novembre 2024, accepté le 22 novembre 2024

RÉSUMÉ

Les pullulations de campagnols peuvent avoir un impact significatif sur la santé publique et les systèmes agricoles. C'est le cas notamment dans le massif du Jura où, depuis les années 1970, des « vagues voyageuses » de pics de pullulation de campagnol terrestre (*Arvicola amphibius*) sont observées dans les prairies d'altitude, en cycle de 5-9 ans (6 ans en moyenne). Ces pics de densité causent des pertes en fourrage, et donc économiques, importantes. Le campagnol des champs (*Microtus arvalis*), dans les mêmes habitats, subit des fluctuations pluriannuelles non-cycliques de forte amplitude. Confronté aux limites du contrôle des pullulations de campagnols par la seule application de produits rodenticides et à leurs effets indésirables, un collectif d'éleveurs et de chercheurs, en collaboration avec les autres parties prenantes du socio-écosystème, a mis au point une boîte à outil basée sur la lutte précoce et une approche multifactorielle adaptable par chaque exploitant. Le présent article décrit cette approche et le processus qui a conduit à la mise en place d'un tel collectif d'acteurs.

Mots-clés : campagnol terrestre, campagnol des champs, proie-prédateur, lutte intégrée, Une Seule Santé

ABSTRACT

Vole outbreaks can have a significant impact on public health and farming systems. This is particularly the case in the Jura mountains where, since the 1970s, 'travelling waves' of montane water vole (*Arvicola amphibius*) outbreaks have been observed in medium-altitude grassland, with 5–9-year cycles (6 years in average). These population peaks cause significant losses of forage, and therefore economic losses. The common vole (*Microtus arvalis*), in the same habitats, undergoes non-cyclic multi-annual fluctuations of large amplitude. Faced with the limitations of controlling vole outbreaks by applying rodenticides alone and their undesirable effects, a collective of farmers and researchers, in collaboration with other socio-ecosystem stakeholders, has developed a toolbox based on early control and a multifactorial approach that can be adapted by each farmer. This article describes this approach and the process that led to the establishment of such a stakeholder collective.

Keywords: montane water vole, common vole, prey-predator, integrated control, One Health

1- Professeur émérite d'écologie, UMR UFC/CNRS Chrono-environnement, Université de Franche-Comté, France.

E-mail : patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr

2- Responsable du pôle Vertébrés & GDON, FREDON Bourgogne Franche-Comté, référent technique campagnols, FREDON France, Besançon, France et UMR UFC/CNRS Chrono-environnement, Université de Franche-Comté, France.

E-mail : gcouval@fredonbfc.fr

La captation de cette communication est disponible sur la chaîne de l'AVF https://youtu.be/xHZRg2gWMHg?list=PLB4UgOBRqL9wMvjX1A_KUmnNo9VwIHRFY



INTRODUCTION

Dans la plupart des écosystèmes nordiques et tempérés, les campagnols constituent la biomasse accessible la plus importante pour les prédateurs de petite et moyenne taille (belette, hermine, fouine, martre, chat forestier, renard, buse variable, faucon crécerelle, etc.). Les variations d'abondance de l'ensemble de ces espèces de proies et de prédateurs déterminent le fonctionnement du système "campagnols - prédateurs - organismes et substances pathogènes - agrosystème" auquel elles appartiennent. Les campagnols peuvent dans certains cas avoir un impact significatif sur la santé publique et les systèmes agricoles. Localement, les pics de leurs populations sont corrélés à des pics épidémiques, par exemple de tularémie pour le campagnol des champs (*Microtus arvalis*) (Luque-Larena *et al.* 2017), de fièvre hémorragique à syndrome rénal pour le campagnol roussâtre (*Myodes glareolus*) (Khalil *et al.* 2019 ; Giraudoux 2022b) ou d'échinococcose alvéolaire pour le campagnol terrestre (*Arvicola amphibius*) (Viel *et al.* 1999 ; Giraudoux *et al.* 2022). Dans le massif du Jura, depuis les années 1970, des pullulations cycliques (5-9 ans, moyenne 6 ans) de campagnol terrestre d'ampleur régionale sont observées, causant des dommages agricoles dans les prairies d'altitude estimés à une perte d'excédent brut d'exploitation de 10 000 € par unité de main d'œuvre pendant une année de pullulation (Schouwey *et al.* 2014). Ces pullulations affectent aussi de longue date le Massif Central (Fichet-Calvet *et al.* 2000), certaines vallées alpines (Halliez *et al.* 2015) et, plus épisodiquement, certaines prairies de Bourgogne et des Pyrénées (Couval *et al.* 2014). Jusqu'à la fin des années 1990s, les méthodes de contrôle de ces pullulations, conformément aux habitudes de l'agriculture conventionnelle de l'époque, furent basées sur la seule lutte chimique à base d'anticoagulants distribués sur appâts (pratique interdite depuis le 21 décembre 2020). Cette méthode se révéla inefficace car souvent trop tardive puisqu'engagée pendant le pic de pullulation précédant le déclin spontané de la population. De plus, par empoisonnement secondaire d'une part des prédateurs consommant les campagnols intoxiqués, d'autre part de certaines espèces comme les sangliers (*Sus scrofa*) consommant directement les appâts, elle s'est révélée préjudiciable pour la faune non-cible (Berny *et al.* 1997 ; Coeurdassier *et al.* 2014a), avec une mortalité massive de buses (*Buteo buteo*), renards (*Vulpes vulpes*), milans royaux (*Milvus milvus*), etc. pendant les périodes de traitement. La conséquence en était donc de détruire les prédateurs de campagnols qui participent à leur régulation, engageant alors à traiter encore plus souvent (Baudrot *et al.* 2020).

Les principes d'un contrôle agroécologique plus respectueux du fonctionnement des écosystèmes furent progressivement mis en place au début des années 1990, et sont implémentés depuis la première décennie des années 2000, suite à l'impasse à laquelle aboutissait le « tout chimique » (Delattre & Giraudoux 2005 ; 2009). Le présent article a pour but d'en résumer l'histoire et les principes³.

DES OBSERVATIONS QUI DÉPENDENT DES OUTILS DE MESURE

Les méthodes d'estimation de l'abondance des campagnols basées sur les méthodes en théorie statistiquement non biaisées de capture-marquage-recapture ou d'effort de capture ne sont applicables que sur des étendues limitées, de l'ordre de quelques milliers de mètres carrés, et très chronophage. Cependant, d'évidence recueillie par les Services de protection des végétaux de l'époque (un service technique de la DRAAF⁴), les dégâts dus aux campagnols s'étendaient sur des centaines de kilomètres carrés dans toutes les régions où le phénomène était observé. La première étape a donc consisté à adapter l'outil de mesure à l'étendue à mesurer et à l'amplitude des variations de densité (de zéro à plusieurs milliers d'individus par hectares ; de zéro dégât à une prairie complètement recouverte de tumuli de terre au printemps, Figure 1).



Figure 1 : À gauche prairie permanente en phase de faible densité de campagnol terrestre, à droite tumuli de campagnols couvrant la totalité de la surface en février 2006 pendant un pic d'abondance (commune de Fuans, 25).

3- Le lecteur pourra, pour plus de détails, se référer aux publications suivantes : Delattre & Giraudoux (2009), Michelin *et al.* (2014) et Giraudoux (2022a).

4- Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt



À la fin des années 1980, nous avons donc calibré des méthodes fondées sur la quantification d'indice d'activité (tumuli, corridors, terriers, etc.), facilement observables, sur les méthodes standard d'estimation par effort de capture, d'abord pour le campagnol des champs (Delattre *et al.* 1990), puis pour le campagnol terrestre (Giraudoux *et al.* 1995). On peut depuis lors estimer les variations de densité relative de population en parcourant des transects sur plusieurs dizaines de kilomètres, segmentés en intervalles de 10 pas dans lesquels sont notés la présence ou l'absence d'indices d'activité du campagnol terrestre, des champs et de la taupe (*Talpa europaea*). Le système de cotation communale du SRPV (Service régional de la protection des végétaux), lui aussi basé sur l'observation d'indices de surface, a été également standardisé à la fin des années 1980 (Habert 1988).

MISE EN ÉVIDENCE DES « VAGUES VOYAGEUSES »

La mise en place de ces nouveaux outils de mesure a permis de confirmer l'existence de « vagues voyageuses » chez le campagnol terrestre. Les pullulations naissaient dans des épicentres situés entre premier et deuxième plateau du Jura, à une altitude de 600-700 m, et se propageaient d'année en année, comme une onde, à une vitesse moyenne de 7,4 km/an, à travers les prairies permanentes du deuxième plateau, pour mourir dans celles du jura plissé franco-suisse, l'ensemble d'un cycle étant en moyenne de 6 ans (Giraudoux *et al.* 1997 ; Berthier *et al.* 2014, Figure 2).

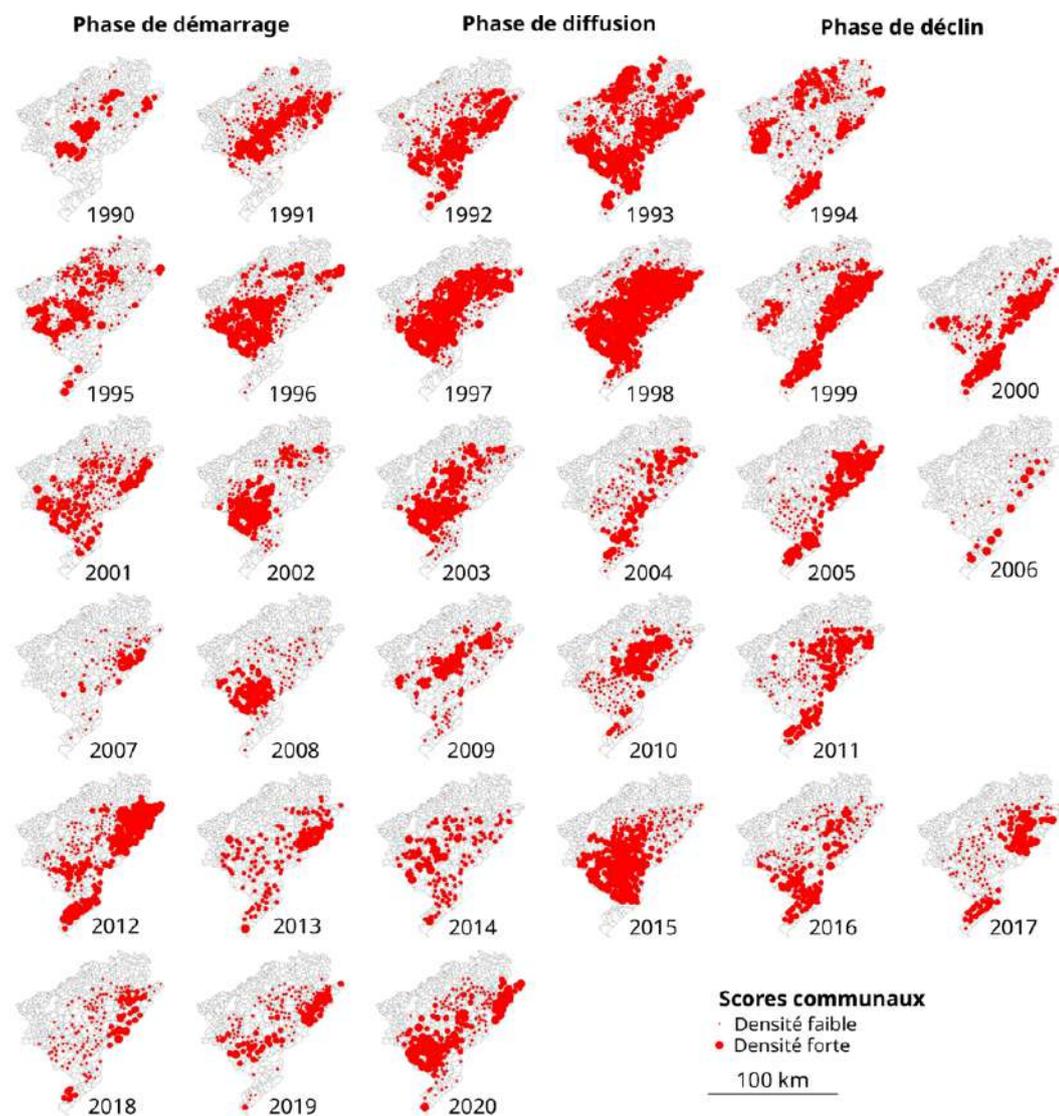


Figure 2 : Évolution temporelle des pullulations de campagnol terrestre dans le Doubs durant 6 cycles démographiques (source : FREDON/DRAAF Bourgogne Franche-Comté)



Par ailleurs, et par des techniques de piégeage, il a été montré que, dans la même zone, les pullulations de campagnols des champs, pourtant intenses, n'étaient pas cycliques et que les phases de croissance et de déclin ne dépendaient pas de la précocité et de l'intensité de leur reproduction (Giraudoux et al. 2019, Figure 3).

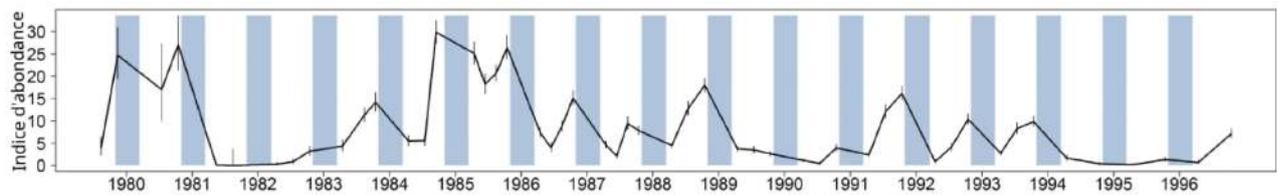


Figure 3 : Variations de l'indice d'abondance du campagnol des champs dans la zone d'étude de Septfontaines – Le Souillot, d'après Giraudoux et al. (2019). Les rectangles bleus matérialisent la période « hivernale » (du 1^{er} novembre au 15 mars), et les barres verticales l'intervalle de confiance à 95 %.

DES EFFETS PAYSAGERS MULTI-ÉCHELLES

Les études descriptives, dites écoépidémiologiques, conduites à plusieurs échelles spatiales ont montré l'importance de la composition et de la structure du paysage dans la modulation de l'amplitude des pullulations, tant pour le campagnol terrestre que pour le campagnol des champs. La hiérarchie des corrélations observées est résumée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Hiérarchie des variables corrélées aux variations d'abondance des campagnols prairiaux, d'après Morilhat et al. (2008).

Échelle spatiale	Références	Espèce	Principaux résultats
Régionale (environ 2 500 km ²)	Delattre et al. (1992)	<i>M. arvalis</i>	Dynamique des populations corrélée avec la composition du paysage
	Giraudoux et al. (1997) Fichet et al. (2000)	<i>A. amphibius</i>	Risque de pullulation et vague voyageuse liés à la composition du paysage
Sectorielle (environ 25 km ²)	Delattre et al. (1996) Delattre et al. (1999)	<i>M. arvalis</i>	L' hétérogénéité du paysage diminue l'amplitude des pullulations et filtrerait les relations proie/prédateurs
	Duhamel et al. (2000)	<i>A. amphibius</i>	Les épicentres de pullulation sont localisés dans les prairies homogènes
Locale (environ 0,01 km ²)	Delattre et al. (2006) Morilhat et al. (2007) Morilhat et al. (2008)	<i>A. amphibius</i>	La croissance des populations est : <ul style="list-style-type: none"> • renforcée par la productivité prairiale • renforcée par les réseaux de galeries de taupes • ralentie par le labour et le piétinement du bétail • modifiée par le voisinage paysager (10 - 100 ha)
	Delattre et al. (1992)	<i>M. arvalis</i>	• renforcée par les légumineuses

Ces corrélations permettent d'interpréter l'apparition des pullulations régionales à partir des années 1970. D'une polyculture-élevage pratiquée jusque dans l'immédiate après-guerre, l'agriculture locale est passée dans les années 1960 à une spécialisation laitière exclusive pour des produits fromagers sous AOP (Comté principalement, mais aussi Morbier, Mont d'Or, Bleu de Gex). De 2 197 tonnes de Comté produits dans l'arrondissement de Pontarlier en 1841, on passe à 5 068 tonnes en 1 875, à une quantité à notre connaissance inconnue dans les années 1950 mais très certainement bien supérieure, puis à 36 600 tonnes en 2014 (Brischoux et al. 2015). La productivité des prairies, estimée à 2-3 tonnes de matière sèche par hectare dans les années 1950, atteint 4 à 9 tonnes à partir des années 1990. La surface occupée par les prairies permanentes dans les années 1950, variable d'une commune à l'autre, était d'environ 35 % de la surface agricole utilisée sur le deuxième plateau, alors qu'elle atteignait 100 % dès la fin des années 1970. La connectivité entre les parcelles a été, de plus, favorisée par les remembrements, par augmentation consécutive de leur taille et la suppression de plusieurs kilomètres de haies dans chaque commune (Giraudoux et al. 1997 ; Giraudoux 2023). L'ensemble de ces changements correspond à une modification des facteurs résumés dans le Tableau 1, corrélés à l'amplification des variations de densité de campagnols.

QUELS SONT LES FACTEURS PROXIMAUX DE CONTRÔLE DES PULLULATIONS ?

Compte-tenu du fait qu'un seul couple de campagnols peut théoriquement générer une centaine d'individus par an par emboîtement des générations, plutôt que l'existence de phases de haute densité, c'est bien l'absence de pullulation et les phases de faible densité qui sont surprenantes. Les observations suivantes plaident pour un contrôle des fluctuations pluriannuelles d'abon-



dance par un ensemble de facteurs externes non météorologiques, dépendant des phases du cycle, donc principalement les prédateurs et les organismes pathogènes :

- Existence de « vagues voyageuses » pour le campagnol terrestre, dont la propagation n'est en aucun cas liée aux conditions météorologiques ;
- Déconnexion entre effort de reproduction et dynamique des populations chez le campagnol des champs pour lequel ces paramètres ont été mesurés sur une durée de 17 ans ;
- Synchronie locale des déclinés de population au sein de la même espèce et souvent même entre espèces, même dans les parcelles qui n'ont apparemment pas épuisé les ressources végétales.

De plus, la sensibilité des populations à ces facteurs pourrait varier au cours du temps : de fortes densités peuvent induire un stress général (Charbonnel *et al.* 2008) sensibilisant, par exemple, à des agents microbiens par ailleurs peu pathogènes dans d'autres conditions.

Le paysage serait alors le « filtre » de ces processus, en favorisant ou défavorisant certaines communautés de prédateurs, l'accès à leurs proies et la dispersion des individus et des agents pathogènes. Une étude d'une partie importante de la communauté de prédateurs (seuls les petits et moyens mustélinés étaient exclus pour des raisons techniques), conduite sur le long terme (20 ans) et combinant comptages nocturnes, diurnes et modélisation, a montré la variabilité de sa composition et la stabilité des variations d'abondance au cours des cycles de campagnols (Figure 4). La prise alimentaire de la communauté de prédateurs varie d'un facteur 1 à 7 lors des fluctuations d'abondance des campagnols, alors que les populations de campagnols prairiaux varient d'un facteur un à plusieurs centaines. Cette comparaison indique que cette communauté de prédateurs peut contrôler les densités de campagnols quand elles sont basses, mais de façon de plus en plus marginale au-delà d'un certain seuil (estimé à 70-100 campagnols terrestres/ha dans un milieu très productif comme l'est par exemple une prairie de fauche) (Giraudoux *et al.* 2020).

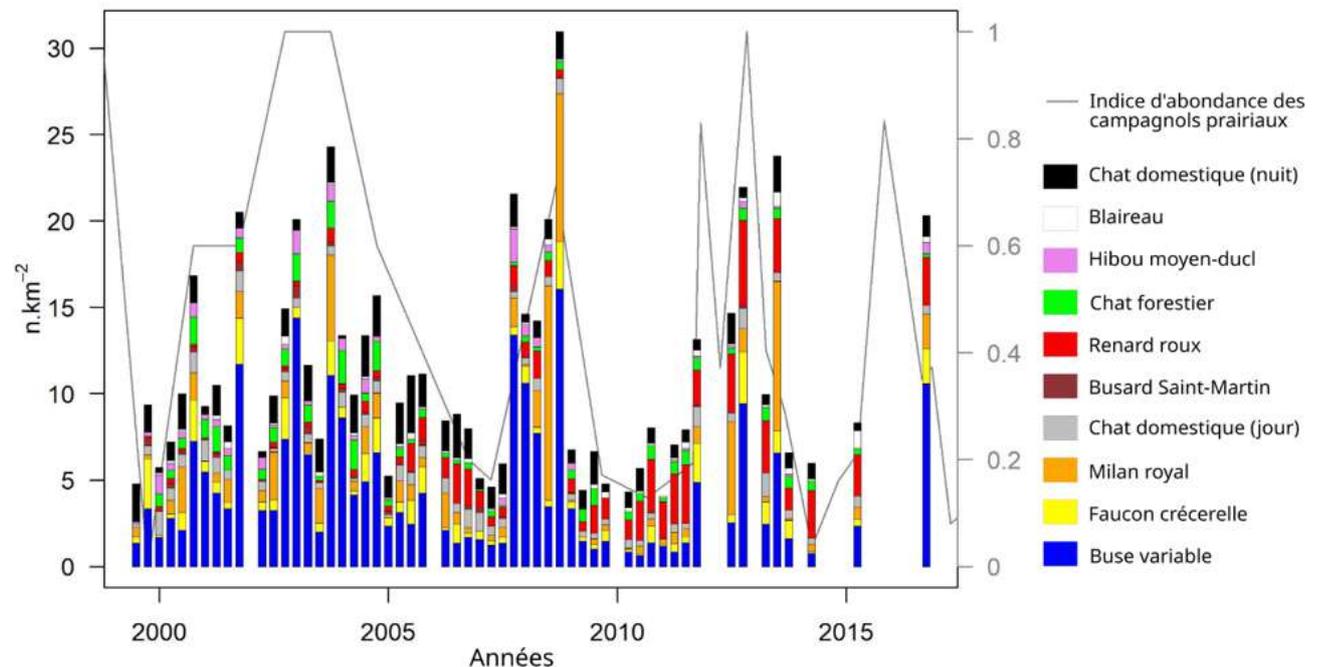


Figure 4 : Variations des densités de prédateurs de campagnols dans la ZELAC, Pissenavache, Doubs, d'après Giraudoux et al. (2020) ; $n.km^{-2}$, nombre d'individus par kilomètre carré.

Enfin, à défaut de pouvoir étudier l'ensemble des agents pathogènes, dont les virus, l'étude des communautés de bactéries potentiellement pathogènes par séquençage haut débit, pendant le pic de densité et la phase de déclin des campagnols terrestres, a permis de détecter 155 unités taxonomiques opérationnelles (OTU) représentant au moins 13 genres dans 11 familles, sans pour autant distinguer de pattern clair explicatif du déclin (Villette *et al.* 2020). Ces résultats indiquent la complexité des relations entre les communautés bactériennes et les variations de densité des hôtes. Leur importante variabilité saisonnière et interannuelle implique de les étudier à plusieurs échelles temporelles et spatiales : plusieurs fois par an sur plusieurs années, et à la fois à l'échelle locale et à l'échelle de la dispersion sur de longues distances des hôtes considérés.



TOUT COMPRENDRE N'EST PAS INDISPENSABLE POUR AGIR

La démarche écoépidémiologique adoptée ne permet pas directement d'apporter la preuve de chaînes de causalités, mais elle met en évidence des corrélations entre compartiments du système (Figure 5). Sur cette base, l'existence de relations de causalité entre ces compartiments peut être posée en hypothèse, et ces hypothèses testées en agissant pour perturber la relation supposée, réalisant ainsi des quasi-expériences en conditions réelles.

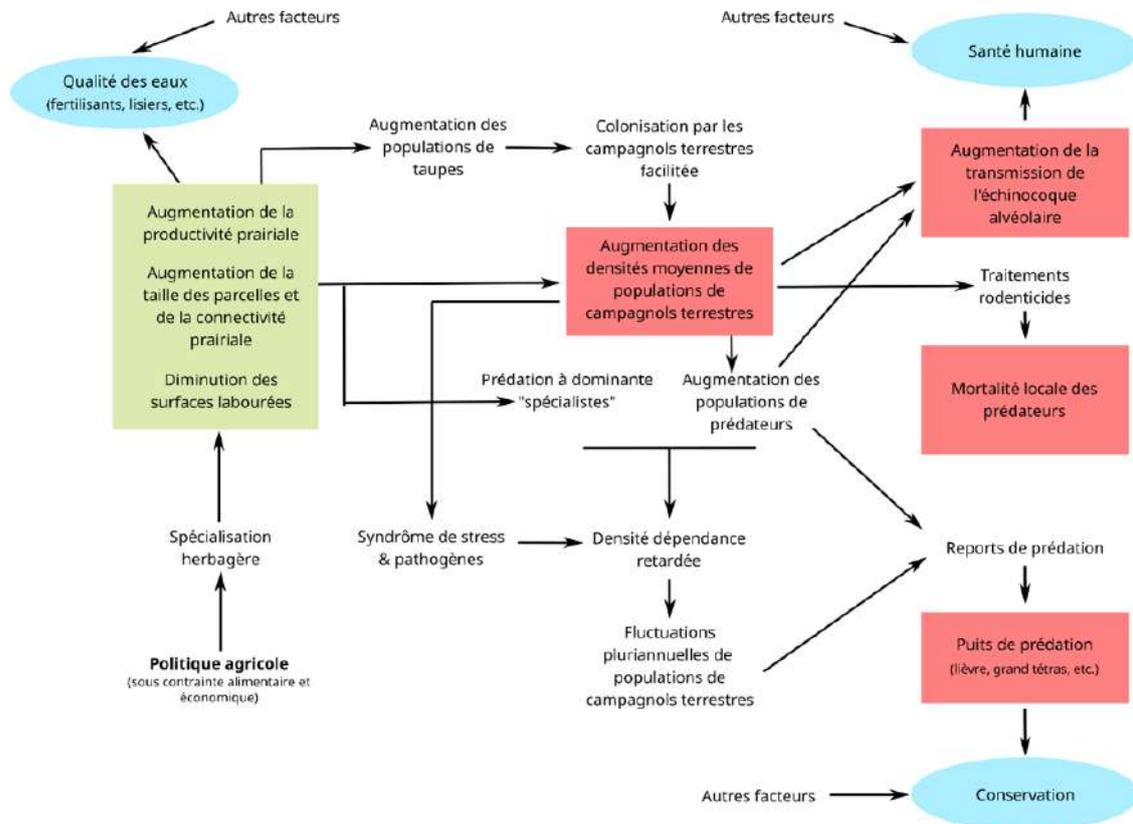


Figure 5 : Cascade des conséquences de la spécialisation herbagère sur les populations de campagnols terrestres, leurs prédateurs, les proies alternatives et la transmission de l'échinocoque alvéolaire, d'après Giraudoux (2022a). L'encadré vert regroupe les résultats proximaux de la spécialisation agricole herbagère, et les encadrés rouges les effets non désirés. Les ellipses bleues indiquent les domaines distaux non-agricoles touchés dans un tel système.

Comme nous l'avons vu plus haut, la dynamique interannuelle des populations ne pouvait pas être expliquée par une cause unique. Ce résultat confirmait plus de 60 ans de recherches menées dans le monde sur le sujet, le plus souvent basées sur une hypothèse monofactorielle. Ces études ont abouti à une longue liste de conclusions, toutes correctes, sur les facteurs qui n'expliquent pas les pullulations (Krebs 2013), mais aucune d'entre elles n'a permis de formuler des prévisions ou d'orienter l'action.

Il a fallu une vingtaine d'années pour tester seuls ou en combinaison les différents leviers qui pouvaient être actionnés, et passer progressivement d'une lutte curative peu efficace et très préjudiciable aux prédateurs de campagnols, donc non soutenable sur le long terme, à un contrôle préventif visant à empêcher le dépassement de densités insupportables pour le producteur d'herbe. Mise au point dans deux zones expérimentales, dites de la ZELAC et de la CLAC, par des collectifs d'éleveurs organisés en Groupement de défense, en étroite collaboration avec les chercheurs, une boîte à outils a pu être ainsi élaborée, jouant sur les multiples facteurs supposés contrôler les populations (Figure 6). Le succès de telle ou telle expérimentation valait alors preuve de l'existence de la relation initialement supposée, qu'elle soit, dans la réalité, directe ou indirecte. L'emploi de cette boîte à outils fait maintenant partie de « contrats de lutte » proposés et passés entre les éleveurs intéressés et la FREDON (Fédération régionale de lutte et de défense contre les organismes nuisibles), leur permettant de puiser à leur gré au moins 3 outils à mettre en œuvre conjointement, adaptés aux contraintes de l'exploitation, à la connaissance acquise par l'exploitant sur le déroulement d'une pullulation (identification des zones de démarrage, etc.), et à son vouloir technique. L'existence de la vague voyageuse et le dispositif de surveillance à échelle régionale mis en place par la FREDON permettent de cartographier les pullulations et de prévoir leur déplacement



d'une année sur l'autre, ce dont sont informés les éleveurs. L'ensemble permet d'inscrire les actions dans une chronologie décrite en Figure 7.

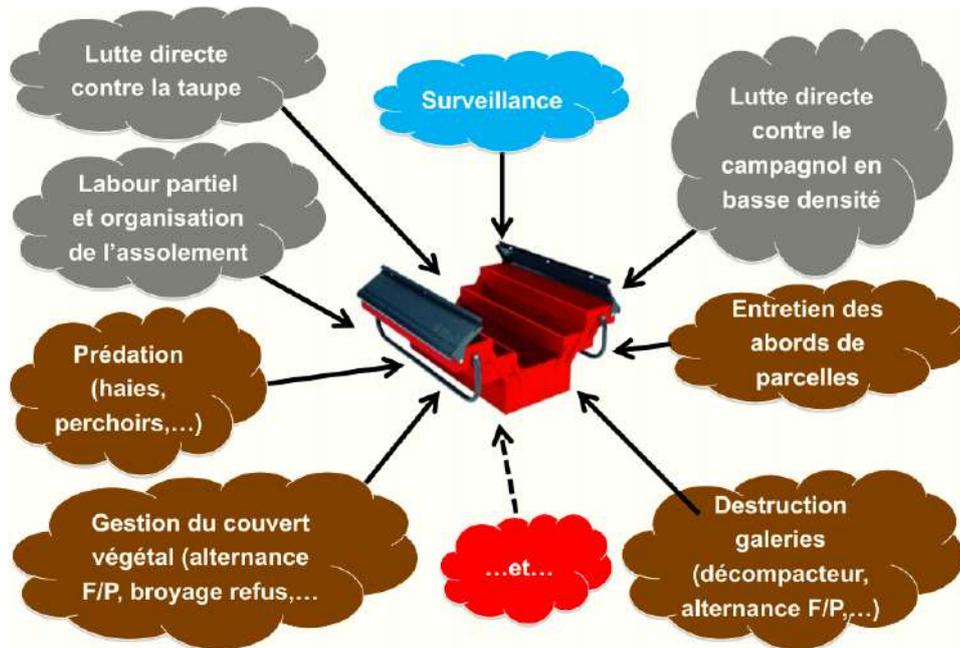


Figure 6 : Boîte à outils employée dans le cadre de contrats de lutte intégrée passés entre la FREDON et les éleveurs volontaires ; F/P, fauche/pâturation.

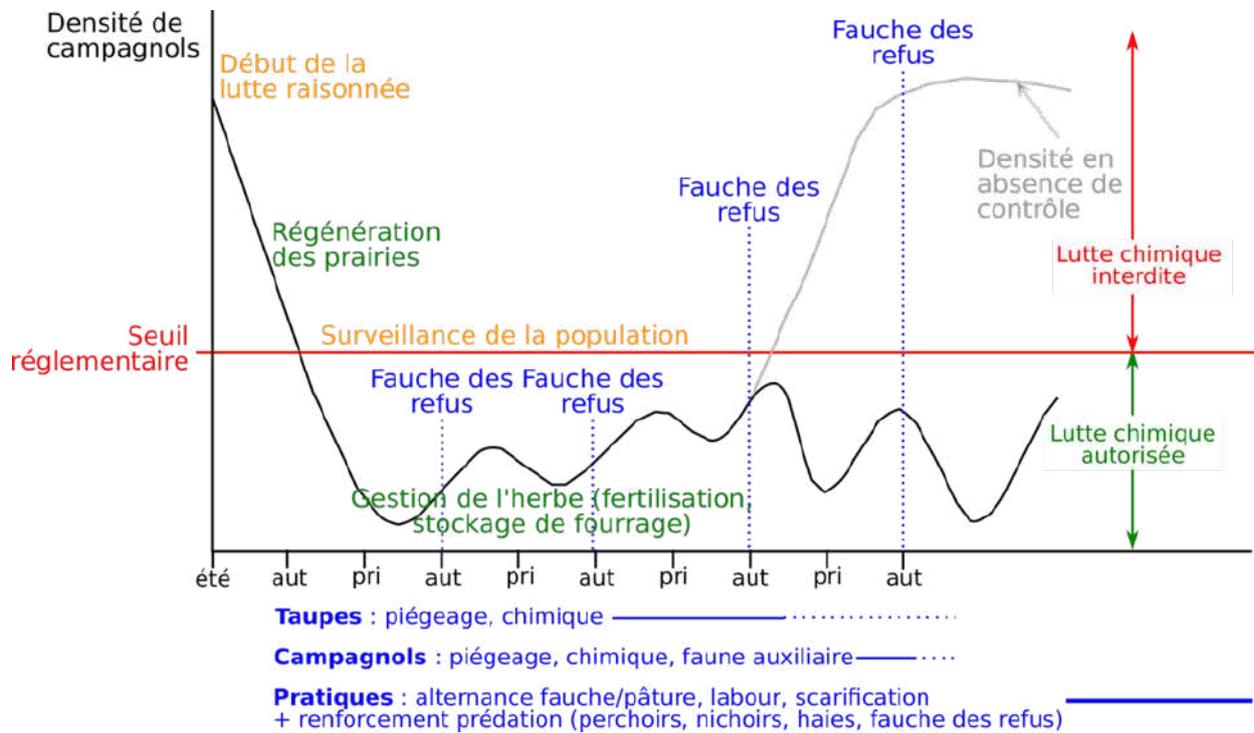


Figure 7 : Chronologie de mise en œuvre des éléments de la boîte à outils au cours d'un cycle démographique, d'après Couval et Truchetet (2014). Le « seuil réglementaire » est la limite de densité de campagnols au-delà de laquelle la lutte chimique est interdite (pour limiter les risques d'intoxication non-intentionnelle d'autres espèces, comme les prédateurs et les consommateurs d'appâts).



La démarche a permis localement de diminuer par plus de 44 la quantité de bromadiolone utilisée par unité de surface pour le contrôle des populations (Coeurdassier *et al.* 2014b ; Giraudoux *et al.* 2020), jusqu'à ce qu'elle soit interdite en 2020, et de garder le principe de traitement précoce quand cet anticoagulant a été remplacé par le phosphore de zinc. Cette nouvelle approche a vu parallèlement la reconstitution des populations de renards qui avaient été décimées par les empoisonnements secondaires dans les années 1990 (Jacquot *et al.* 2013) et s'est révélée efficace pour protéger la production fourragère (Figure 8).

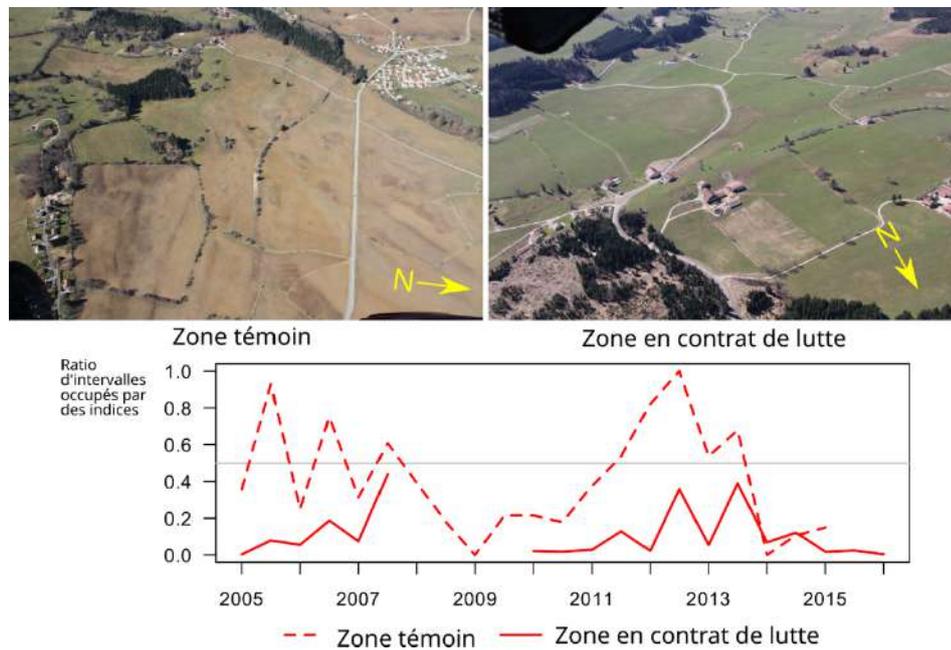


Figure 8 : En haut, comparaison en avril 2013 d'une zone en contrat de lutte intégrée avec une zone voisine dans la région de Charquemont (Doubs). En bas, graphe des variations d'abondance du campagnol terrestre. D'après Giraudoux *et al.* (2017)

AGIR SUR UN SYSTÈME COMPLEXE IMPOSE LE LONG-TERME ET UNE APPROCHE COLLECTIVE

Arnaud Macé (2022), dans sa préface de l'ouvrage « Socio-écosystèmes : l'indiscipline comme exigence du terrain », a parfaitement défini les conditions par lesquelles une communauté des choses, une communauté des savoirs et une communauté d'actions peuvent et doivent s'organiser pour arriver à maîtriser des phénomènes d'une redoutable complexité (Figure 9). « Chaque acteur doit accomplir sa part sous peine de voir l'édifice s'écrouler (...) il faut apprendre à agir de manière plurielle en réunissant des communautés d'acteurs aux points de vue disparates, mais qui ne résoudront rien sans s'unir et sans bénéficier de la contribution de chacun ». Pour ce faire, la confiance entre et au sein des communautés d'acteurs, vue comme un bien collectif, est essentielle (Figure 9). Un manque à ce niveau explique les nombreuses défaillances observées dans l'action collective face au risque de prolifération (Dureau & Jeanneaux 2023).

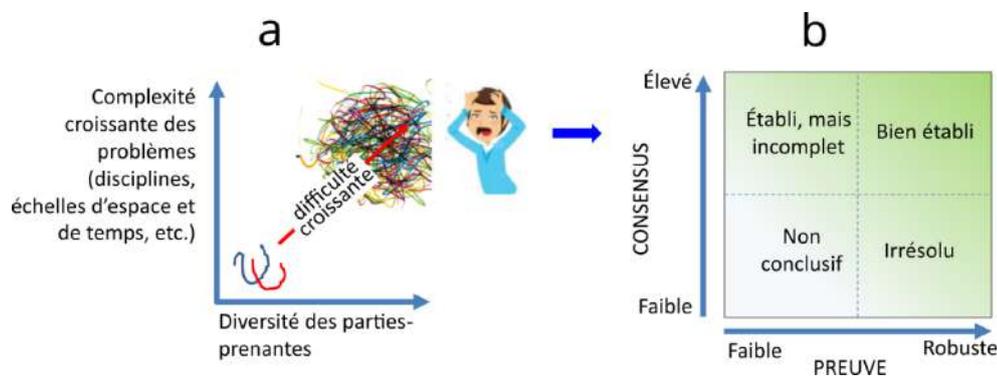


Figure 9 : (a) la résolution d'un problème complexe est d'autant plus difficile que se conjuguent la diversité des parties prenantes et de leurs intérêts et la diversité des processus et des échelles à prendre en compte ; (b) les difficultés sont amplifiées par la variabilité du niveau de preuve apportée et du niveau de consensus des parties prenantes sur ces preuves.



Vivre avec la faune sauvage, ici au sein d'un socio-écosystème où les pullulations de campagnols posent un problème agricole important, c'est très certainement reconnaître sa complexité dans ce qu'elle est et les nombreuses ignorances dont elle fait l'objet. Loin de conduire à une inaction contemplative, cette reconnaissance permet d'entrer dans un processus de recherche-action où l'ensemble des parties-prenantes sont en recherche de solutions dans un cadre rationnel, par expérimentation et capitalisation de l'expérience, appuyé par les « travailleurs de la preuve » que sont les chercheurs (Figure 10).

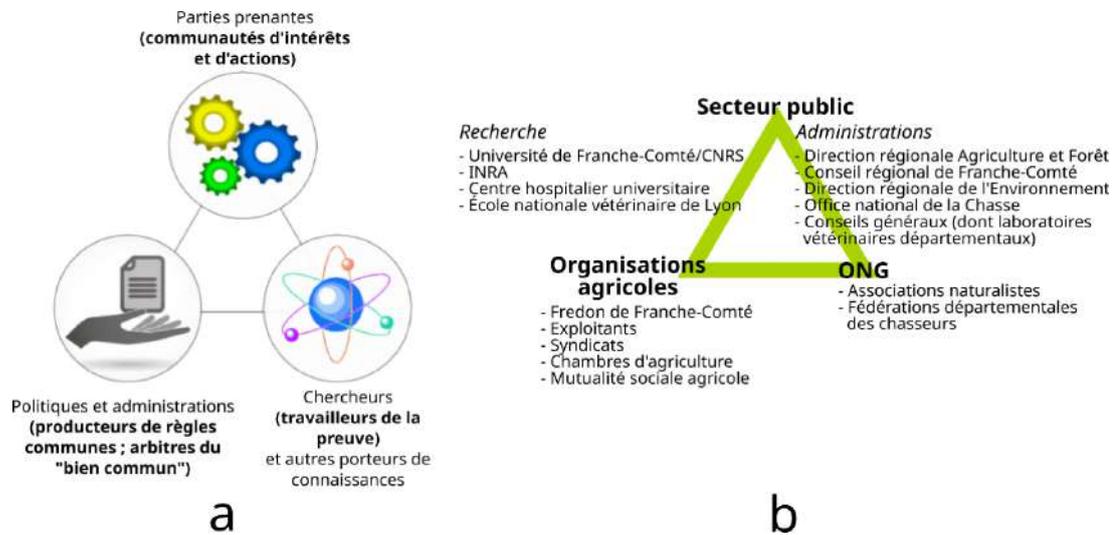


Figure 10 : (a) articulation théorique des grands ensembles d'acteurs en résolution d'un problème complexe posé par la faune sauvage ; (b) organisation pratique du consortium lors de la mise au point des méthodes de contrôle des populations dans le cadre du Contrat de plan État-région 2001-2006.

Il n'en reste pas moins que ces communautés se heurtent à des temporalités différentes, illustrées par la Figure 11, qu'il est indispensable de comprendre et d'accorder dès le départ. Le chercheur est de peu de secours pendant la crise. Malheureusement, c'est souvent seulement à ce moment qu'il est convoqué, en espérance régulièrement déçue de solutions immédiates. Il a nécessairement besoin de données d'observation, qui se collectent dans l'inter-crise (ici en phase de faible densité) et pendant l'ensemble du cycle d'abondance, et, pour des raisons statistiques, il doit disposer de répliques (un cycle de 6 ans ne permet un premier réplique qu'au bout de 12 ans !).

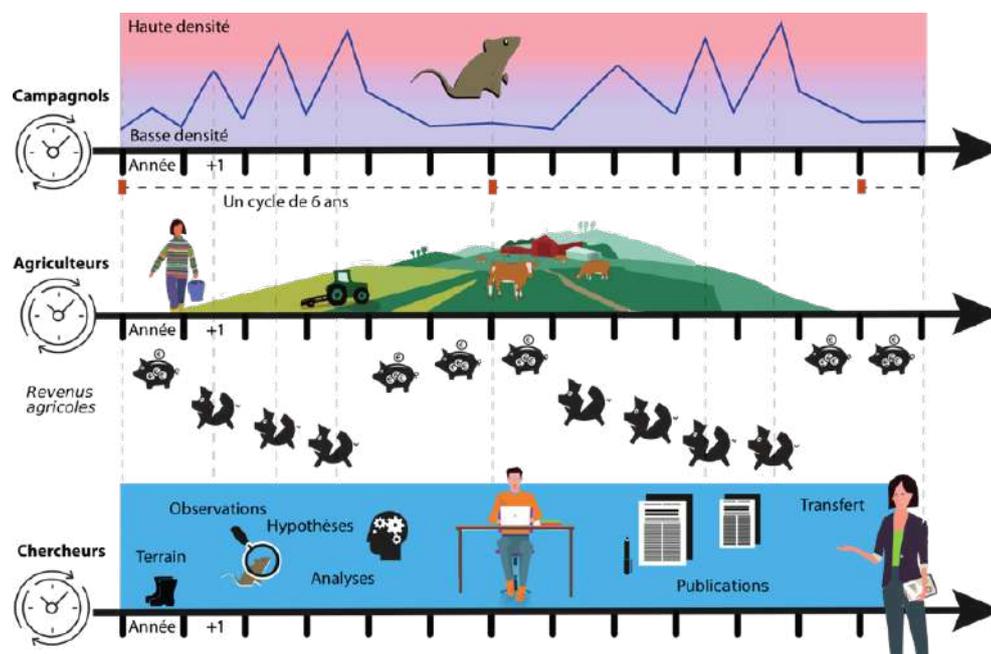


Figure 11 : Les temps de la population de campagnols, de l'éleveur et du chercheur (infographie Estelle Franc), d'après Giraudoux (2022a).



CONCLUSION

Le cadre Une seule santé (One Health) est une invitation forte au décloisonnement disciplinaire et sectoriel pour résoudre des questions de santé (OHHLEP *et al.* 2022). L'exemple d'une implication collective dans le contrôle des populations de campagnols prairiaux dans le massif du Jura peut très certainement être considéré comme une de ses déclinaisons appliquées. Le problème a été initialement généré par une question agricole de « santé des plantes », puisqu'initialement il était traité uniquement par un produit chimique considéré dans la catégorie « phytosanitaire », afin de détruire les campagnols agresseurs. Il a très vite engendré un questionnement sur la « santé des écosystèmes », par les effets délétères non intentionnels de ce produit phytosanitaire sur la biodiversité de la faune non-cible, et sur les raisons mêmes, agricoles et écologiques, de la production de fortes densités de campagnols. Enfin, le fonctionnement de ce socio-écosystème est la cause de l'intensité de circulation d'organismes pathogènes touchant la santé humaine et la santé animale.

Dans un contexte d'effondrement de la biodiversité et de changement climatique, trouver un équilibre et une optimisation entre santé humaine, animale, des plantes et des écosystèmes nécessite de considérer le socio-écosystème dans son ensemble. Cette posture impose d'activer des collectifs représentatifs des parties prenantes et de la disparité apparente de leurs intérêts, au moins ceux à court terme, souhaitant travailler sur le long terme et les convergences possibles, notamment durant l'inter-crise, en collaboration avec les chercheurs garants de la rationalité scientifique des approches et des preuves issues de l'expérience⁵. L'entrée initiale dans le socio-écosystème fut un appel de détresse des éleveurs à la fin des années 1970 face à des pullulations de campagnols alors inexplicables, d'une ampleur régionale jusqu'alors inégalée à cette échelle. Systémique et dépendant de l'évolution des pratiques agricoles (augmentation de la production herbagère et homogénéisation des habitats principalement), le phénomène s'est révélé intrinsèque à cette évolution. Les solutions durables qui ont pu être trouvées pour garantir l'autonomie fourragère des exploitations dans un tel type de socio-écosystème ont pris en compte la multi-factorialité des causes des pullulations, la nécessité d'agir quand c'est efficace, c'est-à-dire à basse densité, avant la crise, et celle d'agir à moindre préjudice environnemental.

Il n'en reste pas moins que les solutions trouvées pour « vivre avec la faune sauvage » obligent à une pratique adaptative constante, sur le long terme, d'optimisation sous contrainte. L'usage de produits phytosanitaires devant être de plus en plus limité, ciblé, et si possible évité, la prise en compte de la complexité du vivant est essentielle dans de tels systèmes. De tels groupes de travail multi-acteurs deviendront donc de plus en plus nécessaires à l'avenir (Brown *et al.* 2024). Ils dépendent de la capacité de chacun à exceller dans sa spécialité professionnelle tout en ayant le goût et la capacité, en marge de sa zone de confort, d'admettre une complexité plus grande et de s'y projeter. Il s'agit de prendre en compte avec empathie l'ensemble des problèmes qui se posent, de co-évoluer avec les autres spécialités, dans une appréhension du socio-écosystème dans son entier.

RÉFÉRENCES

- Baudrot V, Fernandez-de-Simon J, Coeurdassier M, Couval G, Giraudoux P, Lambin X. Trophic transfer of pesticides: The fine line between predator-prey regulation and pesticide-pest regulation. *Journal of Applied Ecology*. 2020; 57(4): 806-18. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13578>
- Berny PJ, Buronfosse T, Buronfosse F, Lamarque F, Lorgue G. Field evidence of secondary poisoning of foxes (*Vulpes vulpes*) and buzzards (*Buteo buteo*) by bromadiolone, a 4-year survey. *Chemosphere*. 1997; 35(8): 1817-29. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)00242-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)00242-7)
- Berthier K, Piry S, Cosson JF, Giraudoux P, Foltete JC, De-faut R, *et al.* Dispersal, landscape and travelling waves in cyclic vole populations. *Ecology Letters*. 2014; 17(1): 53-64. <https://doi.org/10.1111/ele.12207>
- Brischoux A, Gurtner J-P, Gurtner M, Matton M. Il est temps de « comté » la fruitière... Ville de Pontarlier. Ornans ; 2015. (Documents de notre histoire).
- 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; 0(0): 1-17. <https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2363877>
- Charbonnel N, Chaval Y, Berthier K, Deter J, Morand S, Palme R, *et al.* Stress and demographic decline: A potential effect mediated by impairment of reproduction and immune function in cyclic vole populations. *Physiological and Biochemical Zoology*. 2008; 81(1): 63-73. <https://doi.org/10.1086/523306>

5- Les sciences vétérinaires, parmi de nombreuses autres, ont contribué à cette approche multi-acteurs, coordonnée par les auteurs de cet article (Université et FREDON de Franche-Comté), depuis plus de trente ans pour PG et près de vingt pour GC. Au sein de l'École vétérinaire de Lyon, maintenant Vetagrosup, le professeur Philippe Berny a collaboré avec les auteurs et avec les firmes productrices d'anticoagulants, sur leur efficacité en laboratoire et au champ, et leurs effets non intentionnels. Par ailleurs, basés au CBGP Montpellier, Jean-François Cosson et Nathalie Charbonnel, des chercheurs-vétérinaires de l'INRAE, ont collaboré au sein du consortium dans le domaine de la génétique des populations et de l'immunologie (co-encadrement de thèses de sciences, etc.). Les laboratoires vétérinaires départementaux du Doubs, du Jura et de Haute-Saône ont fourni un support humain et matériel essentiel aux études conduites sur l'écotoxicologie des anticoagulants et l'échinococcose alvéolaire (accueil d'étudiants en thèse vétérinaire et de sciences, autopsie et analyse de cadavres d'animaux, etc.). Une meilleure connaissance de la démographie des populations de campagnols et de ses impacts a également permis d'enrichir la pratique en cabinet vétérinaire en la contextualisant, notamment pour la prévention de l'échinococcose alvéolaire et la vermifugation des chiens et des chats.



- Coeurdassier M, Berny P, Couval G, Decors A, Jacquot M, Queffelec S, *et al.* Limiting the accidental poisoning of wild and domesticated animals due to the chemical pesticides used to control water vole outbreaks: progress to date. *Fourrages*. 2014a; (220): 327-35.
- Coeurdassier M, Riols R, Decors A, Mionnet A, David F, Quintaine T, *et al.* Unintentional wildlife poisoning and proposals for sustainable management of rodents. *Conservation Biology: the journal of the Society for Conservation Biology*. 2014b; 28(2): 315-21. <https://doi.org/10.1111/cobi.12230>
- Couval G, Michelin Y, Giraudoux P, Maire F, Truchetet D. Changements agricoles de 1956 à 2010 et évolution des pullulations d'*Arvicola terrestris* : comparaison entre la Bourgogne, la Franche-Comté et les Alpes. *Fourrages*. 2014 ; (220) : 303-10.
- Couval G, Truchetet D. Le concept de lutte raisonnée : combiner des méthodes collectives contre le campagnol terrestre afin de conserver une autonomie fourragère. *Fourrages*. 2014 ; (220) : 343-7.
- Delattre P, Clarac R, Melis JP, Pleydell DRJ, Giraudoux P. How moles contribute to colonization success of water voles in grassland: implications for control. *Journal of Applied Ecology*. 2006; 43(2): 353-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01134.x>
- Delattre P, De Sousa B, Fichet E, Quéré JP, Giraudoux P. Vole outbreaks in a landscape context: evidence from a six year study of *Microtus arvalis*. *Landscape Ecology*. 1999; 14: 401-12.
- Delattre P, Giraudoux P. Le contrôle des rongeurs non commensaux: impasse du tout chimique et perspectives de lutte intégrée. In : Regnault-Roger C, Fabre G, Philogène B, éditeurs. *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement : pesticides et biopesticides, agriculture durable*. Cachan : Tec. et Doc. ; 2005.
- Delattre P, Giraudoux P, éditeurs. *Le campagnol terrestre. Prévention et contrôle des pullulations*. Versailles : QUAE ; 2009.
- Delattre P, Giraudoux P, Baudry J, Musard P, Toussaint M, Truchetet D, *et al.* Land use patterns and types of common vole (*Microtus arvalis*) population kinetics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1992; 39(3): 153-68. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90051-C](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90051-C)
- Delattre P, Giraudoux P, Baudry J, Quere JP, Fichet E. Effect of landscape structure on Common Vole (*Microtus arvalis*) distribution and abundance at several space scales. *Landscape Ecology*. 1996; 11(5): 279-88.
- Delattre P, Giraudoux P, Damange JP, Quere JP. Recherche d'un indicateur de la cinétique démographique des populations du Campagnol des champs (*Microtus arvalis*). *Revue d'Écologie (Terre Vie)*. 1990 ; 45 : 375-84.
- Duhamel R, Quéré JP, Delattre P, Giraudoux P. Landscape effects on the population dynamics of the fossorial form of the water vole (*Arvicola terrestris sherman*). *Landscape Ecology*. 2000; 15: 89-98.
- Dureau R, Jeanneaux P. Importance de la confiance dans la gestion collective des risques de pullulation de ravageurs. *Cah Agric*. 2023 ; 32 : 14. <https://doi.org/10.1051/cagri/2023006>
- Fichet-Calvet E, Pradier B, Quéré JP, Giraudoux P, Delattre P. Landscape composition and vole outbreaks: evidence from an eight year study of *Arvicola terrestris sherman*. *Ecography*. 2000; 23: 659-68.
- Giraudoux P. Mutations agricoles et pullulations de rongeurs prairiaux. In : Giraudoux P, éditeur. *Socio-écosystèmes L'indiscipline comme exigence du terrain*. Londres : ISTE - Sciences ; 2022a. p. 23-72.
- Giraudoux P. Pics épidémiques de fièvre hémorragique à syndrome rénal et stabilité historique des foyers : les connaissances écologiques sont encore insuffisantes pour les comprendre. *Bourgogne Franche-Comté Nature*. 2022b ; 34 : 131-42.
- Giraudoux P. Biodiversité et mutations agricoles. In : Magny M, Richard H, éditeurs. *Histoire du climat dans les montagnes du Jura*. Lons-le-Saunier : Éditions de la Belle Étoile ; 2023. p. 232-8. (Le Jura, montagne à vivre, Zone Atelier Arc jurassien ; vol. 1).
- Giraudoux P, Couval G, Levret A, Mougin D, Delavelle A. Suivi à long terme d'une zone de pullulation cyclique de campagnols terrestres : le contrôle raisonné des populations est possible ! *Fourrages*. 2017 ; (230) : 169-76.
- Giraudoux P, Delattre P, Habert M, Quere JP, Deblay S, Defaut R, *et al.* Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris sherman*): a land usage and landscape perspective. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 1997; 66: 47-60.
- 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. *Ecology and Evolution*. 2020; 10(24): 14221-46. <https://doi.org/10.1002/ece3.7020>
- Giraudoux P, Pradier B, Delattre P, Deblay S, Salvi D, Defaut R. Estimation of water vole abundance by using surface indices. *Acta theriologica*. 1995; 40(1): 77-96.
- Giraudoux P, Villette P, Quéré J-P, Damange J-P, Delattre P. Weather influences *M. arvalis* reproduction but not population dynamics in a 17-year time series. *Scientific Reports*. 2019; 9(1): 13942. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50438-z>
- Giraudoux P, Vuitton D, Craig PS. Transmission ecology of *Echinococcus multilocularis*. In : Giraudoux P, éditeur. *Socio-écosystèmes Indiscipline as a requirement of the field*. London : Wiley, ISTE - Sciences; 2022. p. 137-80.
- Habert M. Fondement des réseaux d'alerte et évolution des densités du campagnol terrestre en France. *EPPO Bulletin*. 1988 ; 18 : 423-7.
- Halliez G, Renault F, Vannard E, Farny G, Lavorel S, Giraudoux P. Historical agricultural changes and the expansion of a water vole population in an Alpine valley. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 2015; 212: 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.006>
- Jacquot M, Coeurdassier M, Couval G, Renaude R, Pleydell D, Truchetet D, *et al.* Using long-term monitoring of red fox populations to assess changes in rodent control practices. *Journal of Applied Ecology*. 2013; 50(6): 1406-14. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12151>
- Khalil H, Ecke F, Evander M, Bucht G, Hörnfeldt B. Population dynamics of bank voles predicts human puumala hantavirus risk. *EcoHealth*. 2019; 16(3): 545-57. <https://doi.org/10.1007/s10393-019-01424-4>
- Krebs CJ. *Population fluctuations in rodents*. Chicago and London : The University of Chicago Press ; 2013.
- Luque-Larena JJ, Mougeot F, Arroyo B, Vidal MD, Rodríguez-Pastor R, Escudero R, *et al.* Irruptive mammal host popu-



lations shape tularemia epidemiology. PLoS Pathogens. 2017; 13(11). <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006622>

• Macé A. Préface : la communauté des savoirs au service des communautés. In : Giraudoux P, éditeur. Socio-écosystèmes L'indiscipline comme exigence du terrain. Londres : ISTE - Sciences ; 2022. p. 1-7.

• Michelin Y, Couval G, Giraudoux P, Truchetet D, éditeurs. Pour en finir avec les paradis du campagnol terrestre : de la compréhension des pullulations dans les prairies à l'action ! Versailles : Association Française pour la Production Fourragère ; 2014. (Fourrages).

• Morilhat C, Bernard N, Bournais C, Meyer C, Lamboley C, Giraudoux P. Responses of *Arvicola terrestris scherman* populations to agricultural practices, and to *Talpa europaea* abundance in eastern France. Agriculture Ecosystems and Environment. 2007; 122(3): 392-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.02.005>

• Morilhat C, Bernard N, Foltete JC, Giraudoux P. Neighbourhood landscape effect on population kinetics of the fossorial

water vole (*Arvicola terrestris scherman*). Landscape Ecology. 2008; 23(5): 569-79. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9216-9>

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

• Schouwey B, Cassez M, Couval G, Fontanier M, Michelin Y. Campagnol terrestre et lutte raisonnée : quels impacts économiques sur les exploitations en AOP Comté ? Fourrages. 2014 ; (220) : 297-302.

• Viel JF, Giraudoux P, Abrial V, Bresson-Hadni S. Water vole (*Arvicola terrestris scherman*) density as risk factor for human alveolar echinococcosis. Am J Trop Med Hyg. 1999; 61(4): 559-65.

• Villette P, Afonso E, Couval G, Levret A, Galan M, Goyadin A-C, et al. Spatio-temporal trends in richness and persistence of bacterial communities in decline-phase water vole populations. Scientific Reports. 2020; 10(1): 9506. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66107-5>

