

# Agriculture et campagnols : quels impacts sur les écosystèmes franguignons ?

Patrick GIRAUDOUX<sup>1,2,3</sup>, Geoffroy COUVAL<sup>1,2,4</sup>, Michael COEURDASSIER<sup>1,2</sup> & Petra VILLETTE<sup>1,2</sup>

## Résumé

Les pullulations de campagnol terrestre et de campagnol des champs, deux espèces de rongeurs vivant principalement dans les prairies, sont périodiquement d'une actualité préoccupante pour les exploitations agricoles. Les deux espèces sont les proies principales d'un riche cortège de prédateurs qui contribue à la biodiversité régionale et à leur régulation, mais dont les reports de prédation peuvent impacter localement des espèces d'intérêt cynégétique ou patrimonial. Ces systèmes complexes modulent également la transmission d'un certain nombre de zoonoses intéressant la santé publique et vétérinaire. Ils sont étudiés depuis maintenant une trentaine d'années dans la Zone atelier Arc jurassien (<http://zaaj.univ-fcomte.fr>). Ils conduisent à des jeux d'acteurs subtils par lesquels des points de convergence doivent être trouvés entre des services écosystémiques qui peuvent apparaître contradictoires a priori : protection des cultures et qualité des produits alimentaires, protection des espèces patrimoniales, production cynégétique, santé, voire tourisme. Ces questions ne concernent plus seulement les zones d'altitude du massif du Jura, mais aussi le Morvan et les zones de grande culture de basse altitude où techniques culturales simplifiées et semis direct se popularisent. L'objectif de cet article est de montrer quels sont les principaux processus en cause, quelle est leur dynamique à long terme, et quelles sont les conséquences sur la faune et la flore régionale des espaces dits « naturels » bourguignons. Leur quasi-totalité est de fait anthropogène, c'est-à-dire le résultat transitoire d'économies agricole et forestière adaptatives, dans un contexte biogéographique donné.

**Mots-clés** : campagnol terrestre, campagnol des champs, prairie, prédateur, agriculture de conservation.

## Agriculture and voles: what are their impacts on the “Franguignon” ecosystems?

### Abstract

The population outbreaks of the montane water vole and the common vole, two rodent species living mainly in grassland, are of periodic concern to farmers. Both species are the main prey of a rich community of predators which contributes to regional biodiversity and to the regulation of small mammal prey population dynamics. However, prey switching can locally affect species of hunting or heritage interest. These complex systems also modulate the transmission of a number of zoonotic diseases affecting public and veterinary health. They have been studied for about thirty years in the *Zone atelier Arc Jurassien* (<http://zaaj.univ-fcomte.fr>). Together these relationships constitute a system within which points of convergence must be found between ecosystem services which may appear contradictory *a priori*: the protection of crops and the quality of food products, the protection of species of conservation value, game management, health and even tourism. These questions concern not only the mountain areas of the Jura massif, but also the Morvan and the low-altitude field crops where simplified cultivation techniques and direct seeding are becoming more popular. The aim of this paper is to show the main processes involved and their long-term dynamics, which in several ways affect the regional fauna and flora of the so-called “natural” areas of Bourgogne-Franche-Comté. They are in fact virtually all anthropogenic, i.e. the transient result of adaptive agricultural and forestry economies, in a given biogeographical context.

**Key words** : montane water vole, common vole, grassland, predator, conservation agriculture.

<sup>1</sup> Chrono-environnement, Université de Bourgogne-Franche-Comté/CNRS - 25030 Besançon Cedex - [patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr](mailto:patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr)

<sup>2</sup> LTER France - Zone atelier Arc jurassien, 25030 Besançon Cedex

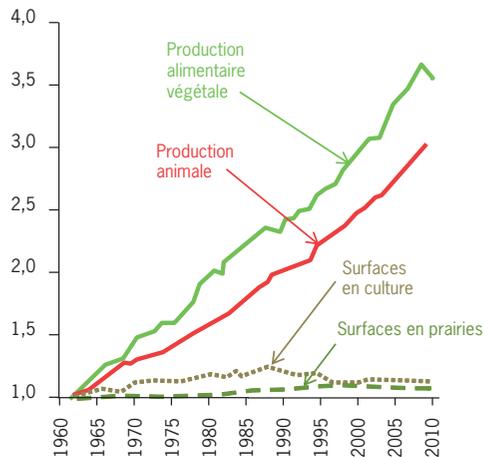
<sup>3</sup> Institut Universitaire de France, Paris

<sup>4</sup> FREDON de Franche-Comté - 12 rue de Franche-Comté - 25480 Ecole Valentin

## Introduction

La population humaine mondiale est passée de 1,66 milliard à 6 milliards d'habitants au cours du XX<sup>e</sup> siècle, et dépasse 7 milliards actuellement. Les projections prévoient qu'elle atteindra au moins 11 milliards d'habitants dans quelques dizaines d'années. Les conséquences de cette évolution exponentielle souvent subie dans l'ignorance de ses conséquences par les populations concernées, si ce n'est encouragée par les croyances, a pour effet une demande alimentaire exponentiellement croissante qui touche aux limites

spatiales de la planète. L'essentiel des terres cultivables est maintenant cultivé, et les quelques gains possibles ne sont pas souhaitables car ils conduisent à la destruction d'écosystèmes majeurs hébergeant une grande part de la biodiversité mondiale, telles les forêts pluviales équatoriales. Si les surfaces en prairie montrent une très légère augmentation au cours des dernières décennies, elle résulte souvent de l'abandon de terres agricoles stérilisées ou de déforestation, et elle est sans commune mesure avec l'augmentation globale de la production agricole (figure 1). Les surfaces en terre arable ont tendance à se réduire (MANCERON *et al.*, 2014), en grande partie du fait de l'altération correspondante des sols labourés mais aussi, localement, de leur urbanisation. Nourrir l'humanité, question de vie ou de mort, oblige depuis plusieurs décennies, à surface constante, à intensifier la production agricole de façon à répondre à des besoins globalisés par la production déficitaire de certains pays (manque de terres arables, population nombreuse relativement à ce fait) et excédentaire d'autres (richesse relative en terres arables, maîtrise technologique, population relativement stable). La prise de conscience progressive d'un certain nombre d'impacts délétères de l'agriculture sur l'environnement (pollutions par les engrais et les pesticides, déforestation massive, érosion des sols, appauvrissement et pollution génétique, etc.) invite depuis quelques années les producteurs à revisiter leurs pratiques. La notion d'intensification écologique, d'agriculture de conservation et l'agro-écologie sont devenues populaires. Elles recouvrent l'idée de maximiser la production en ayant prioritairement recours à tous les processus et services écosystémiques, plutôt qu'à des intrants artificiels (engrais, pesticides, etc.) et veillent tant que faire se peut, notamment par la préservation du sol, à limiter les dégradations environnementales (pollution des eaux, diminution de la biodiversité, etc.) induites par la production. L'agriculture biologique a été précurseur dans ce domaine.



**Figure 1.** Évolution de la production alimentaire mondiale et usage des terres agricoles (d'après MANCERON *et al.*, 2014).

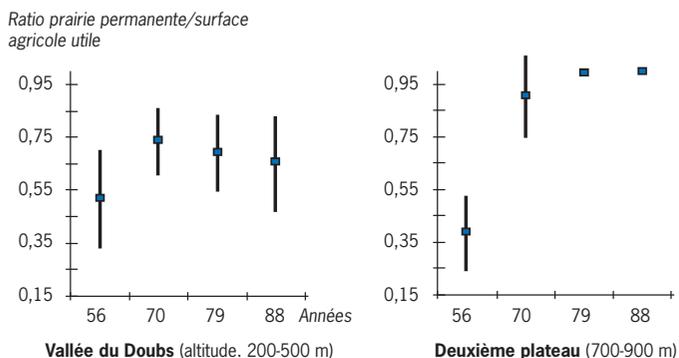
La démographie humaine en Bourgogne-Franche-Comté, franguignone ou bourguicomtoise au choix, est légèrement croissante (2698661 habitants en 1851 pour 2816814 en 2012, avec une décroissance marquée dans l'entre-deux-guerres atteignant un minimum de 2161043 en 1946). Elle cache cependant des trajectoires départementales parfois opposées et s'accompagne d'une urbanisation progressive de la population. Son agriculture et l'évolution de la pression anthropique dans l'espace régional s'inscrivent pleinement dans le contexte économique mondial d'une agriculture française exportatrice et de cette évolution démographique régionale. Elles sont issues d'une trajectoire initiée à la sortie de la deuxième guerre mondiale où l'autosuffisance alimentaire nationale fut une des priorités du redressement d'une Europe dévastée. Celle-ci était atteinte dès les années 1970 au prix d'une modernisation à marche forcée des exploitations et des pratiques, et de la spécialisation des régions agricoles visant à optimiser leur potentiel. Les régions de moyenne montagne furent donc dédiées à l'élevage et celles de basse altitude aux grandes cultures (céréales, oléagineux, betterave, etc.). Cette transformation du paysan en exploitant s'est traduite par un remembrement de la plupart des communes, avec une augmentation de la taille des exploitations et la suppression de plusieurs centaines de milliers de kilomètres de haies (MALFROY *et al.*, 1981 ; PHILIPPE & POLOMBO, 2009), une mécanisation accrue, l'utilisation débridée d'intrants de toutes sortes rendue à l'époque peu problématique par le bas coût du pétrole (entrant dans le coût de production et de leur application), et par l'absence d'éveil aux conséquences environnementales de ces pratiques. La plupart des paysages agricoles francs-comtois comme bourguignons en ont été profondément modifiés, passant d'une polyculture-élevage de petits paysans, concernant, dans les années 1950, près d'un tiers de la population active, quasi généralisée quelle que soit l'altitude, à, depuis les années 1970, un nombre réduit et continuant à décroître d'exploitations spécialisées. Actuellement, les agriculteurs et éleveurs comptent pour 3,5 % de la population active.

# Les écosystèmes prairiaux de moyenne montagne

## Massif du Jura

Dans le massif du Jura, dès le milieu des années 1970, la quasi-totalité des terres arables du deuxième plateau étaient converties en prairies permanentes dévolues à l'élevage et à la production fromagère (figure 2). Ces prairies atteignirent ensuite progressivement leur productivité maximale potentielle, par la fertilisation, la modification de leur composition spécifique végétale et des régimes de coupe. C'est à cette époque qu'ont été signalées les premières « vagues voyageuses » de pullulation de campagnol terrestre, *Arvicola scherman* (anciennement *A. terrestris*). Elles ont succédé alors aux événements sporadiques et locaux signalés çà et là dans la presse des décennies antérieures. Elles naissent dans des épïcêtres situés sur la partie haute du premier plateau et la partie basse du deuxième. Elles se propagent ensuite en quelques années jusqu'aux forêts d'altitude et aux reliefs qui bordent la frontière suisse, et simultanément vers le nord et la vallée du Doubs, avec une intensité moindre, où, perturbées par les reliefs, elles viennent mourir là où la prairie permanente cède le pas aux cultures et aux forêts (GIRAUDOUX *et al.*, 1997 ; BERTHIER *et al.*, 2014) (voir vidéo à <http://zaaj.univ-fcomte.fr/spip.php?article29>).

Les « vagues voyageuses » se succèdent sur une période de 5-6 ans, avec des durées de pic de pullulation qui peuvent s'étaler sur plusieurs années localement. En période de pic, les densités de campagnols terrestres atteignent plusieurs centaines d'individus par hectare, parfois dépassent le millier, et occasionnent des dégâts considérables aux prairies. Les exploitations agricoles peuvent alors se retrouver grandement fragilisées, jusqu'à une perte de 40 k€ en année de pullulation pour un GAEC à 4 associés (SCHOUWEY *et al.*, 2014).



**Figure 2.** Évolution de la prairie permanente dans la vallée du Doubs et sur le deuxième plateau. Les barres verticales sont les écarts-types et matérialisent la variabilité d'une commune à l'autre (d'après GIRAUDOUX *et al.*, 1997).

Les pullulations de campagnol terrestre, par leur caractère spectaculaire et leurs conséquences sur l'économie des exploitations agricoles, focalisent l'attention et laissent généralement peu considérées, dans le massif du Jura, celles de campagnols des champs, *Microtus arvalis*. Moins connues dans leurs détails, leur éventuelle périodicité, et leur propagation régionale, elles sont pourtant d'une ampleur équivalente en nombre d'individus. Il peut dépasser plusieurs milliers par hectare pendant les pics. Par les mêmes mécanismes, elles sont également la conséquence de l'extension de la prairie permanente et de l'augmentation de sa productivité (DELATTRE *et al.*, 1992). Les éventuelles interactions entre campagnol terrestre et campagnol des champs, qui partagent le même habitat, sont virtuellement inconnues. Tout au plus a-t-on constaté que leurs démographies pouvaient être souvent (MICHELAT & GIRAUDOUX, 2006), mais pas nécessairement, synchrones, et que localement, un pic de campagnol des champs pouvait avoir lieu sans concomitance avec un pic de campagnol terrestre (GIRAUDOUX *et al.*, 1994). Les prairies permanentes, dont les sols, par définition, ne sont pas perturbés par le labour, riches en vers de terre du fait de la fumure organique dont elles bénéficient, sont également très favorables à la mise en place de fortes populations de taupe, *Talpa europea*. Cette espèce, par les galeries qu'elle creuse, s'est révélée être un facteur de plus favorisant la colonisation des parcelles par le campagnol terrestre (DELATTRE *et al.*, 2006).

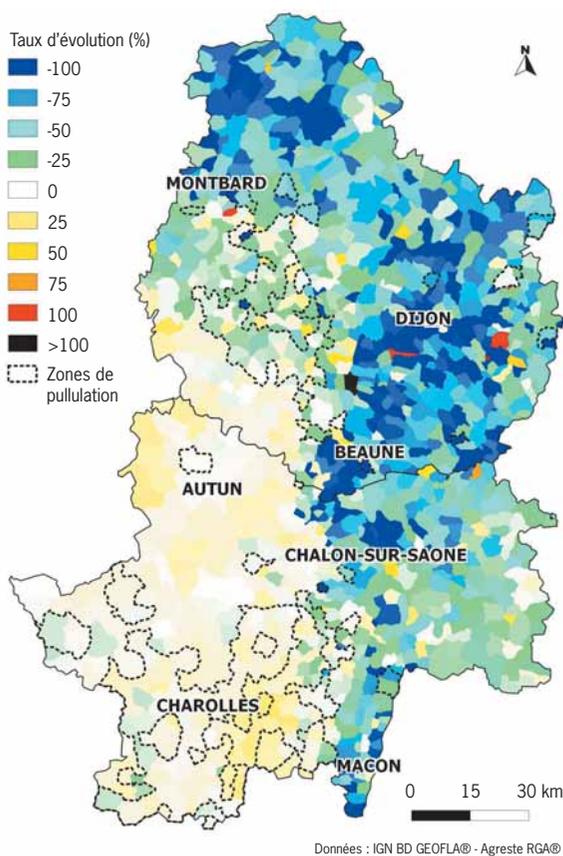
De tels systèmes prairiaux entretiennent, sur de grandes étendues, d'énormes populations de campagnol des deux espèces, de l'ordre de plusieurs dizaines de millions d'indi-



autres organismes pathogènes pouvant profiter des pullulations sont, par ailleurs, mal connus, mais sont étudiés dans le cadre d'une thèse en cours. Les premiers résultats montrent que plusieurs centaines de taxons bactériens sont présentes, dont le rôle est à explorer (VILLETTE *et al.*, in prep.).

La diversification du régime alimentaire des carnivores lors des déclin de populations de campagnols prairiaux, est susceptible d'entraîner des reports de prédation sur des proies alternatives. Par exemple, de 1975 à 1995, une synchronie entre la production de jeunes de grand tétras, *Tetrao urogallus*, et les fluctuations d'abondance du campagnol terrestre, a été montrée dans le massif du Risoux (LECLERCQ *et al.*, 1997). Des reports de prédation pendant les phases de déclin des campagnols pourraient en être la cause. L'effet de ces reports sur d'autres espèces reste encore à formellement démontrer, mais ne peut être exclu *a priori*.

Enfin la spécialisation des prédateurs sur les campagnols prairiaux explique leur vulnérabilité aux traitements anticoagulants rodenticides appliqués pour prévenir et contrôler, localement, les pullulations. La consommation de campagnols intoxiqués par des anticoagulants a, jusqu'au début des années 2000, déclenché des épisodes de mortalité massive de toutes sortes de prédateurs (renard, buse, milan royal, sanglier, etc.) (BERNY *et al.*, 1997). L'application de mesures réglementaires strictes (cf. arrêté interministériel du 14 mai 2014) et la mise en œuvre de stratégies de luttes préventives et intégrées (DELATTRE & GIRAUDOUX, 2009) (contrats de lutte raisonnée FREDON France), ont permis dans les quinze dernières années de limiter drastiquement ces effets non intentionnels, mais pas encore de les éliminer totalement (COUVAL *et al.*, 2013b ; COUVAL *et al.*, 2013a ; JACQUOT *et al.*, 2013 ; COEURDASSIER *et al.*, 2014 ; COEURDASSIER *et al.*, 2016).



**Figure 5.** Taux d'évolution du ratio Total Herbe/SAUL (Surface agricole utilisée + landes non productives) entre 1970 et 2010 en Côte-d'Or et Saône-et-Loire (d'après COUVAL *et al.*, 2014).

## Et les autres massifs de Bourgogne-Franche-Comté ?

Aucun autre massif n'était, jusqu'à récemment, autant affecté par les pullulations de campagnol terrestre que le massif du Jura. Cependant, la Côte-d'Or et la Saône-et-Loire se sont signalées en 2011 par l'émergence de pullulations spatiales et temporelles de grande ampleur (COUVAL *et al.*, 2014). Les raisons de ce qui semble être un phénomène nouveau sont encore peu étudiées et donc mal comprises. La figure 5 montre cependant que depuis les années 1970, le taux d'évolution des surfaces relatives en prairie est plutôt en augmentation dans l'Autunois et le Charolais, ce qui pourrait rendre la situation favorable à l'établissement progressif d'un système cyclique analogue à celui du Jura, sauf à ce que d'autres facteurs de contrôle non-encore identifiés (autres trajectoires paysagères et pratiques différentes) contrecarrent cette tendance. Les émergences dans l'Auxois, dans un contexte de réduction apparente de la prairie, restent cependant inexplicables à ce jour.

L'existence de pullulations régulières de campagnol des champs, par contre, est connue de longue date et documentée dans l'ouest de la Côte-d'Or (TRUCHETET, 1990 ; DELATTRE *et al.*, 1992) et dans le Morvan (DUPUY *et al.*, 2009). Comme en Franche-Comté, l'absence de dispositif de suivi sur le long terme des variations démographiques

de cette espèce rend problématique la mesure de son impact sur les prédateurs dont elle constitue pourtant un élément essentiel du régime, toujours en large proportion des items consommés, même quand elle n'est présente qu'à très basse densité (GIRAUDOUX *et al.*, 2002 ; DUPUY *et al.*, 2009 ; RAOUL *et al.*, 2010).

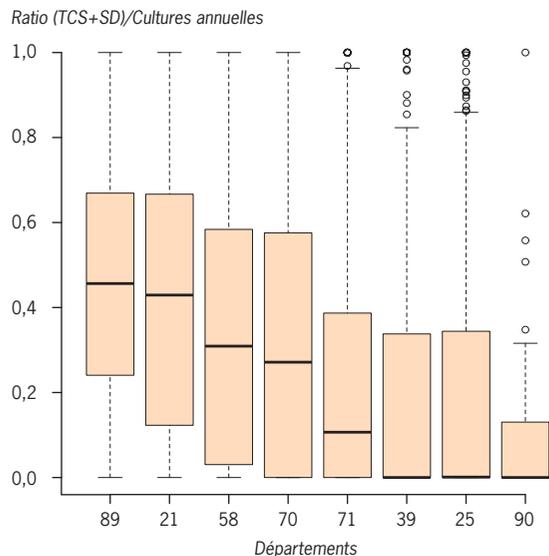
## Les grandes cultures

Le labour annuel des terres dans les exploitations en grandes cultures (céréales, oléagineux, protéagineux, betterave, etc.) était jusqu'à maintenant la meilleure garantie contre la croissance des populations de campagnols prairiaux, même si des dégâts pouvaient être constatés certaines années. Ils correspondaient soit à un débordement de pullulation de campagnol des champs en provenance de zones d'élevage voisines, comme ce fut le cas en 1987-1988 pour les grandes cultures bordant les prairies morvandelles (TRUCHETET, 1990 ; DELATTRE *et al.*, 1992), soit à une colonisation épisodique à partir d'explosions de populations dans les parcelles semi-permanentes de légumineuses et les bandes enherbées bordant les cultures (DELATTRE *et al.*, 1992 ; JARENO *et al.*, 2015). Dans tous les cas, peut-être faute de dispositif de suivi organisé, le phénomène semblait limité dans l'espace (les bordures de parcelles) et apparaissait, en tant que calamité, irrégulier dans le temps.

La plus grande attention portée à la qualité des sols, dans le cadre des approches agro-écologiques dont le contexte est décrit plus haut, pourrait changer cette situation. Les techniques culturales simplifiées (TCS) sont des méthodes de culture limitant le travail du sol. Les trois piliers des TCS sont l'absence de labour, les couverts améliorants et les rotations. Préservant la couverture végétale sur toute l'année, elles limitent l'érosion, préservent la structure et l'organisation verticale du sol, évitent la création de semelles de labour et le tassement par le maintien d'importantes populations de vers de terre, améliorent ainsi le stockage et les voies de dégradation de la matière organique, et donc créent les conditions d'une activité biologique optimale. Au prix toutefois d'une utilisation accrue d'herbicides qui pose questions (ex. le glyphosate), elles aboutissent à des économies des autres intrants, une meilleure rentabilité et durabilité du système de production, et un bilan environnemental et économique amélioré. Pratiquement

inconnues des statistiques agricoles avant celles collectées en 2006, elles prennent une importance croissante depuis une dizaine d'années (figure 6). Le revers de la médaille est que les sols non perturbés, avec une couverture végétale améliorante permanente, sont très favorables au développement de populations de campagnols des champs, dont le contrôle pose de plus en plus de problèmes aux exploitants. Les évolutions prévisibles de l'augmentation de surfaces favorables à une espèce qui peut produire des populations importantes sont les suivantes (DELATTRE *et al.*, 1992 ; DELATTRE & GIRAUDOUX, 2005) :

- Augmentation progressive de l'amplitude des variations d'abondance du campagnol des champs et de leur cyclicité, à partir des habitats favorables structurels (bordures herbeuses) et conjoncturels (surfaces non labourées à couvert végétal permanent, parcelles de légumineuses semi-permanentes)
- Augmentation des dégâts constatés en grandes cultures, motivant un contrôle des populations par les exploitants, dans le meilleur des cas fondé sur une stratégie de lutte préventive et intégrée, économe



**Figure 6.** Ratio commun des surfaces en techniques culturales simplifiées (TCS) ou semis direct (SD) par rapport à la surface en cultures annuelles en Bourgogne-Franche-Comté, en 2010 (données DRAAF Bourgogne-Franche-Comté). Sur l'ensemble de la région, le semis direct ne représente en moyenne que 3 % des surfaces en culture annuelle, alors que les techniques culturales simplifiées comptent pour près de 30 %.

- en produit et à moindre préjudice environnemental, dans le pire fondé sur l'utilisation mal adaptée de rodenticides aux forts effets non-intentionnels sur la faune non-cible.
- Augmentation quantitative et peut-être qualitative des prédateurs de campagnols, dans un système qui, dans son fonctionnement actuel, est extrêmement pauvre de ce point de vue.
  - Augmentation possible de l'intensité de circulation des communautés microbiennes hébergées par les campagnols et leurs prédateurs.

Le jugement qu'on peut porter sur cette évolution, expliquée par le contexte socio-économique actuel, est loin d'être tranché. Les systèmes de grande culture conduits selon les techniques des années 1970 sont des déserts de biodiversité. Une agriculture se réclamant « de conservation », avec les TCS et le semis direct, visant à mieux traiter les sols, à augmenter leur biodiversité interne et leurs qualités, avec pour résultat l'augmentation de la biomasse consommable (par exemple, désirée, les vers de terre, mais aussi indésirée, les campagnols) par une communauté enrichie de carnivores doit-être considérée. Cette évolution se fait à ce jour au prix d'un usage plus intense d'herbicide (quels effets sur l'environnement et la santé ?). Elle expose à des pullulations importantes et cycliques de campagnols des champs (et peut-être plus tardivement de campagnol terrestre ?) qui peuvent poser des problèmes économiques et sociaux sérieux, comme constatés récemment en Espagne (LUQUE-LARENA *et al.*, 2013 ; JARENO *et al.*, 2015 ; LUQUE-LARENA *et al.*, 2015). L'installation d'importantes populations de campagnols des champs dans les cultures pérennes de plantes fourragères porte-graines peut conduire certains exploitants, après quelques années, à l'abandon pur et simple de leur production et à un retour au labour, comme constaté déjà chez certains multiplicateurs de semences de la région de Colombe, en Isère.

## Conclusion

Les campagnols prairiaux constituent un des items majeurs du régime alimentaire d'un grand nombre de prédateurs régionaux. Par-là, ils constituent un groupe clé pour comprendre la dynamique et le fonctionnement des communautés de petits et grands vertébrés qui s'en nourrissent (DELIBES-MATEOS *et al.*, 2011). Leurs dynamiques, on l'a compris, sont liées aux évolutions du paysage et de l'utilisation des sols, elles-mêmes conditionnées par les évolutions agricoles et forestières. Ces systèmes dynamiques régionaux sont étudiés en tant que tels depuis maintenant plus d'une trentaine d'années dans la Zone atelier Arc jurassien (<http://zaaj.univ-fcomte.fr>), labellisée depuis 2013 par le CNRS (LAHOREAU, 2014). Ils conduisent à des jeux d'acteurs subtils par lesquels des points de convergence doivent être trouvés entre des services écosystémiques qui peuvent apparaître contradictoires a priori : protection des cultures et qualité des produits alimentaires, protection des espèces patrimoniales, production cynégétique, santé, voire tourisme. Ces questions ne concernent pas seulement les zones d'altitude du massif du Jura, mais aussi le Morvan et les zones de grandes cultures de plus basse altitude où techniques culturales simplifiées et semis directs se popularisent. Le naturaliste est bien sûr toujours intéressé à la faune et à la flore dites sauvages, mais il faut bien admettre que celles-ci, sur la quasi-totalité du territoire franguignon (ou bourguicomtois), n'existent que dans des espaces profondément anthropisés, fussent-ils verdoyants. Autrement dit, l'abondance et la diversité du vivant (la biodiversité) sont d'abord un état transitoire résultant, comme partout dans le monde, de processus largement guidés par des socio-économies agricoles et forestières adaptatives, dans un contexte biogéographique donné, sous réchauffement climatique depuis plusieurs décennies. La notion de « nature » en tant que portion figée d'espace d'où l'homme serait exclu et où le temps serait suspendu est, de ce fait, totalement contradictoire avec l'évolution du vivant et des écosystèmes à toutes les échelles de temps. Elle peut, à la limite, être pragmatiquement et provisoirement mise en œuvre dans le concept de réserve, alors le plus souvent artificielle bien qu'autoproclamée naturelle, pour sauver quelques gènes d'une extinction irréversible, dans un contexte où l'érosion de la biodiversité résulte d'une démographie humaine et de ses conséquences, toutes deux mal maîtrisées. La question infiniment plus cruciale qui est posée alors, au chercheur en écologie comme au gestionnaire, est de savoir comment réunir les éléments de raisonnement permettant de former un consensus social indispensable pour enrayer cette érosion et l'inverser, autour

des services attendus du système biologique qui, loin d'être un système « naturel » inclut l'activité humaine et en est même pour une grande part le produit culturel (GIRAUDOUX, 2014). La question est rendue d'autant plus difficile qu'elle ne peut s'extraire d'un contexte démographique global inquiétant induisant une empreinte humaine inexorablement croissante sur les écosystèmes. Est-ce un impossible défi à relever ? Plus de 60 ans après que Claude Lévi-Strauss, en parcourant l'Asie, en eut posé les bases de manière visionnaire (LEVI-STRAUSS, 1955), bases hélas confirmées depuis à chaque occasion, cette question reste encore totalement ouverte au chercheur comme au gestionnaire en quête d'une forme de civilisation viable, c'est-à-dire préservant et accompagnant sur le long terme les capacités adaptatives et évolutives des écosystèmes et leur diversité dont tous les êtres vivants dépendent. A une échelle modeste, mais opérationnelle, il nous semble indispensable, pour au moins poser correctement le problème, d'analyser et comprendre le fonctionnement, dans tout leur espace et leur temporalité, des systèmes socio-écologiques régionaux producteurs de faune et de flore (figure 7), non dans l'entre soi et en ne considérant que des espaces marginaux mis sous cloche, mais dans la globalité et la complexité des espaces agricoles, forestiers et des processus, avec la complicité volontaire ou involontaire des acteurs en capacité de les transformer et donc de les améliorer, c'est-à-dire les propriétaires de leurs usages.



**Patrick GIRAUDOUX**

Professeur d'écologie à l'Université de Franche-Comté, laboratoire Chrono-environnement, membre de l'Institut Universitaire de France et professeur distingué de l'Université des Finances et d'Économie du Yunnan où il dirige le laboratoire de Gestion de la Faune Sauvage et Santé des écosystèmes.



**Geoffroy COUVAL**

Ingénieur d'étude à la Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles de Franche-Comté et au laboratoire Chrono-environnement de l'Université de Franche-Comté.



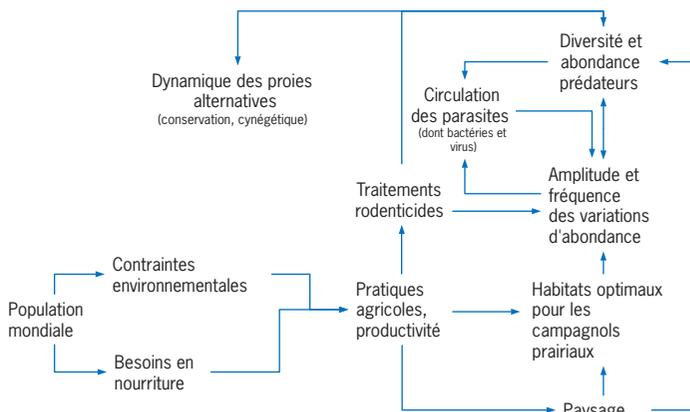
**Michael COEURDASSIER**

Écotoxicologue, il est maître de conférences au laboratoire Chrono-Environnement, responsable de la licence professionnelle Métiers du Diagnostic, de la Gestion et de la protection des Milieux Naturels de l'Université de Franche-Comté, et membre du CSRPN Bourgogne-Franche-Comté



**Petra VILLETTE**

Écologue, elle est doctorante à l'Université de Bourgogne-Franche-Comté, laboratoire Chrono-environnement.



**Figure 7.** Schéma de synthèse s'appliquant à l'ensemble des écosystèmes régionaux frangiignons. Les populations de campagnols constituent la ressource principale des carnivores terrestres dans la quasi-totalité de l'espace régional.

## Bibliographie

- BERNARD N., MICHELAT D., RAOUL F., QUIERE J.P., DELATTRE P. & GIRAUDOUX P. 2010. Dietary response of Barn Owls (*Tyto alba*) to large variations in populations of common voles (*Microtus arvalis*) and European water voles (*Arvicola terrestris*). *Canadian Journal of Zoology* 88: 416-426.
- BERNY P.J., BURONFOSSE T., BURONFOSSE F., LAMARQUE F. & LORGUE G. 1997. Field evidence of secondary poisoning of foxes (*Vulpes vulpes*) and buzzards (*Buteo buteo*) by bromadiolone, a 4-year survey. *Chemosphere* 35: 1817-1829.
- BERTHIER K., PIRY S., COSSON J.F., GIRAUDOUX P., FOLTETE J.C., DEFAUT R., TRUCHETET D. & LAMBIN X. 2014. Dispersal, landscape and travelling waves in cyclic vole populations. *Ecology Letters* 17: 53-64.
- COEURDASSIER M., COUVAL G. & GIRAUDOUX P. 2016. La lutte raisonnée contre le campagnol terrestre... 30 ans de recherche-actions pour prévenir les effets non intentionnels sur la faune sauvage. *Fiches thématiques du réseau INRA écotox* [Online], 1. Available: <http://www6.inra.fr/ecotox/Productions/Fiches-thematiques/Fiche-thematique-N-1-Fevrier-2016> [Accessed 27/12/2016].
- COEURDASSIER M., RIOLS R., DECORS A., MIONNET A., DAVID F., QUINTAINE T., TRUCHETET D., SCHEIFLER R. & GIRAUDOUX P. 2014. Unintentional Wildlife Poisoning and Proposals for Sustainable Management of Rodents. *Conservation Biology* 28: 315-321.
- COUVAL G., MICHELIN Y., GIRAUDOUX P., MAIRE F. & TRUCHETET D. 2014. Changements agricoles de 1956 à 2010 et évolution des pullulations d'*Arvicola terrestris* : comparaison entre la Bourgogne, la Franche-Comté et les Alpes. *Fourrages* 220: 303-310.

- COUVAL G., TRUCHETET D., COEURDASSIER M., MICHELIN Y., JACQIOT M., GIRAUDOUX P., BERNY P., DECORS A., MORLANS S., QUINTAINE T. & RENAUDE R. 2013a. La lutte raisonnée contre le campagnol terrestre. *Phytoma* 664: 33-36.
- COUVAL G., TRUCHETET D., COEURDASSIER M., MICHELIN Y., JACQIOT M., GIRAUDOUX P., BERNY P., DECORS A., MORLANS S., QUINTAINE T. & RENAUDE R. 2013b. Pullulations de campagnol terrestre : quels enjeux ? *Phytoma* 664: 29-32.
- DELATTRE P., CLARAC R., MELIS J.P., PLEYDELL D.R.J. & GIRAUDOUX P. 2006. How moles contribute to colonization success of water voles in grassland: implications for control. *Journal of Applied Ecology* 43: 353-359.
- DELATTRE P. & GIRAUDOUX P. 2005. Le contrôle des rongeurs non commensaux: impasse du tout chimique et perspectives de lutte intégrée. In: REGNAULT-ROGER C., FABRE G. & PHILOGÈNE B. (eds.) Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement : pesticides et biopesticides, agriculture durable. Cachan: Tec. et Doc.
- DELATTRE P. & GIRAUDOUX P. (eds.) 2009. Le Campagnol terrestre: prévention et contrôle des pullulations. Ed. Quae, Versailles, 304 p.
- DELATTRE P., GIRAUDOUX P., BAUDRY J., TRUCHETET D., MÛSARD P., TOUSSAINT M., STAHL P., POULE M.L., ARTOIS M., DAMANGE J.P. & QUÈRE J.P. 1992. Land use patterns and types of common vole (*Microtus arvalis*) population kinetics. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 39: 153-169.
- DELIBES-MATEOS M., SMITH A.T., SLOBODCHIKOFF C.N. & SWENSON J.E. 2011. The paradox of keystone species persecuted as pests: A call for the conservation of abundant small mammals in their native range. *Biological Conservation* 144: 1335-1346.
- DUPIUY G., GIRAUDOUX P. & DELATTRE P. 2009. Numerical and dietary responses of a predator community in a temperate zone of Europe. *Ecography* 32: 277-290.
- GIRAUDOUX P. 2014. Équilibre écologique et santé des écosystèmes: entre mythe biologique et consensus social. *Nature ou Culture, Les colloques de l'Institut Universitaire de France*. Publications de l'Université de St Etienne.
- GIRAUDOUX P., CRAIG P.S., DELATTRE P., BARTHOLOMOT B., BAO G., BARNISH G., HARRAGA S., QUÈRE J.P., RAOUL F., WANG Y.H., SHI D. & VUITTON D. 2003. Interactions between landscape changes and host communities can regulate *Echinococcus multilocularis* transmission. *Parasitology* 127: 121-131.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., HABERT M., QUÈRE J.P., DEBLAY S., DEFAUT R., DUHAMEL R., MOISSENET M.F., SALVI D. & TRUCHETET D. 1997. Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris scherman*): a land usage and landscape perspective. *Agriculture Ecosystems and Environment* 66: 47-60.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., QUÈRE J.P. & DAMANGE J.P. 1994. Structure and kinetics of rodent populations in a region under agricultural land abandonment. *Acta Oecologica* 15: 385-400.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., TAKAHASHI K., RAOUL F., QUÈRE J.P., CRAIG P. & VUITTON D. 2002. Transmission ecology of *Echinococcus multilocularis* in wildlife: what can be learned from comparative studies and multiscale approaches? In: CRAIG P. & PAWLOWSKI Z. (eds.) Cestode Zoonoses: Echinococcosis and Cysticercosis: An Emergent and Global Problem. IOS Press, Amsterdam: 251-266.
- JACQIOT M., COEURDASSIER M., COUVAL G., RENAUDE R., PLEYDELL D., TRUCHETET D., RAOUL F. & GIRAUDOUX P. 2013. Using long-term monitoring of red fox populations to assess changes in rodent control practices. *Journal of Applied Ecology* 50: 1406-1414.
- JARENO D., VINUELA J., LUQUE-LARENA J.J., ARROYO L., ARROYO B. & MOUGEOT F. 2015. Factors associated with the colonization of agricultural areas by common voles *Microtus arvalis* in NW Spain. *Biological Invasions* 17: 2315-2327.
- LAHOREAU G. 2014. La face cachée des zones AOC. CNRS *Le Journal* [Online]. Available: <https://lejournal.cnrs.fr/articles/la-face-cachee-des-zones-aoc> [Accessed 27/11/2016].
- LECLERCQ B., DESBROSSES R. & GIRAUDOUX P. 1997. Cycles démographiques du campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*), et reproduction et cinétique des *Tetraonidae* du massif du Risoux, Jura, France. *Gibier et Faune Sauvage* 14: 31-47.
- LEVI-STRAUSS C. 1955. *Tristes tropiques*. Ed. Plon, Paris, 504 p.
- LUQUE-LARENA J.J., MOUGEOT F., ROIG D.V., LAMBIN X., RODRIGUEZ-PASTOR R., RODRIGUEZ-VALIN E., ANDA P. & ESCUDERO R. 2015. Tularemia Outbreaks and Common Vole (*Microtus arvalis*) Iruptive Population Dynamics in Northwestern Spain, 1997-2014. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 15: 568-570.
- LUQUE-LARENA J.J., MOUGEOT F., VINUELA J., JARENO D., ARROYO L., LAMBIN X. & ARROYO B. 2013. Recent large-scale range expansion and outbreaks of the common vole (*Microtus arvalis*) in NW Spain. *Basic and Applied Ecology* 14: 432-441.
- MALFROY M., OLIVIER B. & GUIRAUD J. 1981. *Le Val d'Usier. Histoire de Sombacour, Bians, Goux-Les-Usiers*. Editions Cêtre, Besançon, 230 p.
- MANCERON S., BEN-ARI T. & DUMAS P. 2014. Feeding proteins to livestock: Global land use and food vs. feed competition. *OCL* 21(4): D408, 10 p.
- MICHELAT D. & GIRAUDOUX P. 2006. Synchrony between small mammal population dynamics in marshes and adjacent grassland in a landscape of the Jura plateau, France: a ten year investigation. *Acta Theriologica* 51: 155-162.
- PHILIPPE M.-A. & POLOMBO N. 2009. Soixante années de remembrement. *Études foncières* 140: 43-49.
- PLEYDELL D.R.J., RAOUL F., DANSON F.M., GRAHAM A., CRAIG P.S., TOURNEUX F. & GIRAUDOUX P. 2004. Modelling the spatial distribution of *Echinococcus multilocularis* infection in foxes. *Acta Tropica* 91: 253-265.
- RAOUL F., DEPLAZES P., RIEFFEL D., LAMBERT J.C. & GIRAUDOUX P. 2010. Predator dietary response to prey density variation and consequences for cestode transmission. *Oecologia*, 164: 129-139.
- SCHOUWEY B., CASSEZ M., COUVAL G., FONTANIER M. & MICHELIN Y. 2014. Campagnol terrestre et lutte raisonnée : quels impacts économiques sur les exploitations en AOP Comté ? *Fourrages* 220: 297-302.
- TRUCHETET D. 1990. Le Campagnol des champs (*Microtus arvalis*) contribution à la mise au point d'une méthode de prévision des pullulations en Bourgogne. Mémoire d'ingénieur, École nationale d'ingénieurs des travaux agricoles de Quétigny.
- VIEL J.F., GIRAUDOUX P., ABRIAL V. & BRESSON-HADNI S. 1999. Water vole (*Arvicola terrestris scherman*) density as risk factor for human alveolar echinococcosis. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 61: 559-565.