

Les rongeurs en vergers de production biologique : méthodes de lutte préventive et continue

Sandrine Miot^a, Pierre Delattre^b

^a Division Eau et milieux aquatiques, service Biodiversité et ressources naturelles, DREAL Midi-Pyrénées, 2 boulevard Armand Duportal, bat G, BP 80002, 31074 Toulouse cédex 9

^b INRA SUPAGRO, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cédex

sandrine.miot@developpement-durable.gouv.fr; delattre@supagro.inra.fr

Limiter le recours aux substances chimiques pour la préservation des cultures est le défi nouveau de l'agriculture – une « rupture » avec des années de développement fondé sur la logique « un problème, un produit ». Mais cette simplification a privilégié de fait les stratégies individuelles au point que, parfois, des stratégies collectives de lutte utilisant ces produits avec parcimonie n'ont pu s'implanter. Nouvel angle d'attaque, l'écologie du paysage s'intéresse à la dynamique spatio-temporelle des composantes biologiques, physiques et sociales des paysages humanisés et/ou naturels. Ici, pour l'arboriculteur, il importe dorénavant d'intégrer le rôle des autres parcelles qui environnent son verger, et de comprendre les mœurs de ses vrais ennemis, par exemple ceux qui, parmi les campagnols, mangent occasionnellement non pas l'usufruit (les parties aériennes) mais le capital (les racines) du verger. Ce faisant, il sera confronté à des incertitudes scientifiques et techniques, voire à des contradictions. Par exemple, devra-t-il limiter la couverture du sol ou la laisser pour des raisons hydrologiques ? En poussant plus loin, est-il économiquement viable pour l'arboriculture d'abandonner les zones herbagères ? Il y a de quoi discuter pendant un moment.

Les perspectives de développement de l'agriculture biologique se heurtent en particulier à la difficulté de lutter contre certains ravageurs. En arboriculture, les problèmes posés par les rongeurs peuvent trouver des solutions pratiques. Elles seront cependant de nature essentiellement préventives. Leur acceptation par les professionnels sera d'autant plus facile que l'efficacité des rodenticides est relativement faible, que leur usage est dangereux pour la faune auxiliaire et engage l'exploitant dans une stratégie de lutte répétitive et peu rentable (Godfrey et Ashkam, 1988). En effet, si les conditions du milieu demeurent favorables, les capacités de dispersion et de croissance démographique des populations de rongeurs sont telles qu'elles constituent une menace permanente pour la survie des arbres et pour la production (Byers, 1984 ; Delattre et Giraudoux, 2005).

L'objectif de cet article est de développer une réflexion sur les moyens de prévenir l'installation et la croissance des populations de rongeurs, en intervenant en amont et successivement sur le choix des sites d'implantation des vergers, leur mode d'installation et les méthodes d'entretien. Cette réflexion se concrétise en conséquence par une synthèse des recommandations applicables, de la mise en place du verger jusqu'à la période de production.

Production biologique ou protection intégrée ?

Dès les années 1970, le constat fut fait par quelques collègues « invertébristes » qu'il était possible de conduire un verger en production biologique dans un environnement entomologique favorable, en l'occurrence celui d'une parcelle contiguë à un système forestier (Couturier, 1973). Inversement, les expériences menées depuis pour promouvoir les méthodes de protection intégrée ont fait apparaître des difficultés à développer des stratégies de lutte efficaces dans des agrosystèmes dont les peuplements naturels, végétaux et animaux, sont naturellement et potentiellement trop pauvres.

Pour diminuer les risques de développement des ravageurs dans un verger, la proximité d'un environnement « protecteur » serait donc plus importante que la réduction de l'emploi des pesticides ou leur choix sélectif tels que le préconisent les tenants de la protection intégrée (Ferron, 1999 ; Deguine et Ferron, 2004). Dans les deux situations, production biologique ou protection intégrée, l'objectif recherché est le même : augmenter le flux des facteurs de régulation que représentent les auxiliaires naturels (prédateurs et maladies parasitaires). Plusieurs aspects les différencient cependant. D'une

part, dans un environnement « protecteur », la diversité des auxiliaires et leur abondance sont supérieures à celles d'un verger isolé (Rieux *et al.*, 1999 ; Sauphanor *et al.*, 2005). D'autre part, la diversité des microclimats des écosystèmes bocagers ou forestiers confère aux peuplements d'auxiliaires qu'ils hébergent une précocité qui assure une recolonisation bien plus rapide et bien plus active des milieux contigus (Simon *et al.*, 1998, 2006), évitant ou limitant ainsi le nombre de « situations irrattrapables ». Cette réflexion s'applique, à notre sens, tout autant aux rongeurs qu'aux invertébrés, voire à certains phytopathogènes.

Nous présenterons ici successivement les différents types de rongeurs recensés en arboriculture ainsi que les dégâts qu'ils peuvent occasionner ; l'influence de l'environnement du verger, considéré à différentes échelles spatiales, sur le fonctionnement des populations de rongeurs ; les grandes lignes d'une stratégie de lutte contre les rongeurs, dans une perspective de production fruitière biologique.

Les diverses espèces de rongeurs

Selon les régions et leurs caractéristiques physiques et édaphiques, on rencontre diverses espèces de rongeurs. Leur identité détermine la nature des problèmes rencontrés, les risques de dégâts et les solutions à adopter. Les différentes catégories de rongeurs se distinguent par leurs caractéristiques biologiques, notamment leur degré d'inféodation à un ou plusieurs habitats (qui détermine en grande partie le risque de dégâts) ; leurs comportements alimentaires (qui déterminent le type de dégâts) ; leurs modes d'utilisation de l'espace (qui déterminent la vitesse de recolonisation des milieux).

Les rongeurs de prairies

Ils rassemblent plusieurs espèces de campagnols et sont les plus fréquemment incriminés en arboriculture. Il s'agit, en Europe, des campagnols des champs (*Microtus arvalis*), agrestes (*Microtus agrestis*), provençaux (*Microtus duodecimcostatus*), de Savi (*Microtus savi*), souterrains (*Microtus subterraneus* et *Microtus lusitanicus*) et terrestres (*Arvicola terrestris*) (voir les cartes de répartition européenne dans l'ouvrage de Le Louarn et Quéré, 2003). En Amérique du Nord ce sont les campagnols sylvestres (*Microtus pinetorum*), montagnards (*Microtus montanus*), des champs (*Microtus pennsylvanicus*), des prairies (*Microtus ochrogaster*), le Gaufre gris (*Thomomys talpoides*) et

plus rarement le Campagnol longicaude (*Microtus longicaudatus*) (Sullivan et Hogue, 1987).

Les rongeurs forestiers

En Europe, ce sont les campagnols rous-sâtres (*Clethrionomys spp.*), les mulots (*Apodemus spp.*), le Loir (*Glis glis*) et le Lérot (*Éliomys quercinus*). En Amérique, ce sont essentiellement les souris sylvestres (*Peromyscus maniculatus*) et le Tamia amène (*Tamias amoenus*).

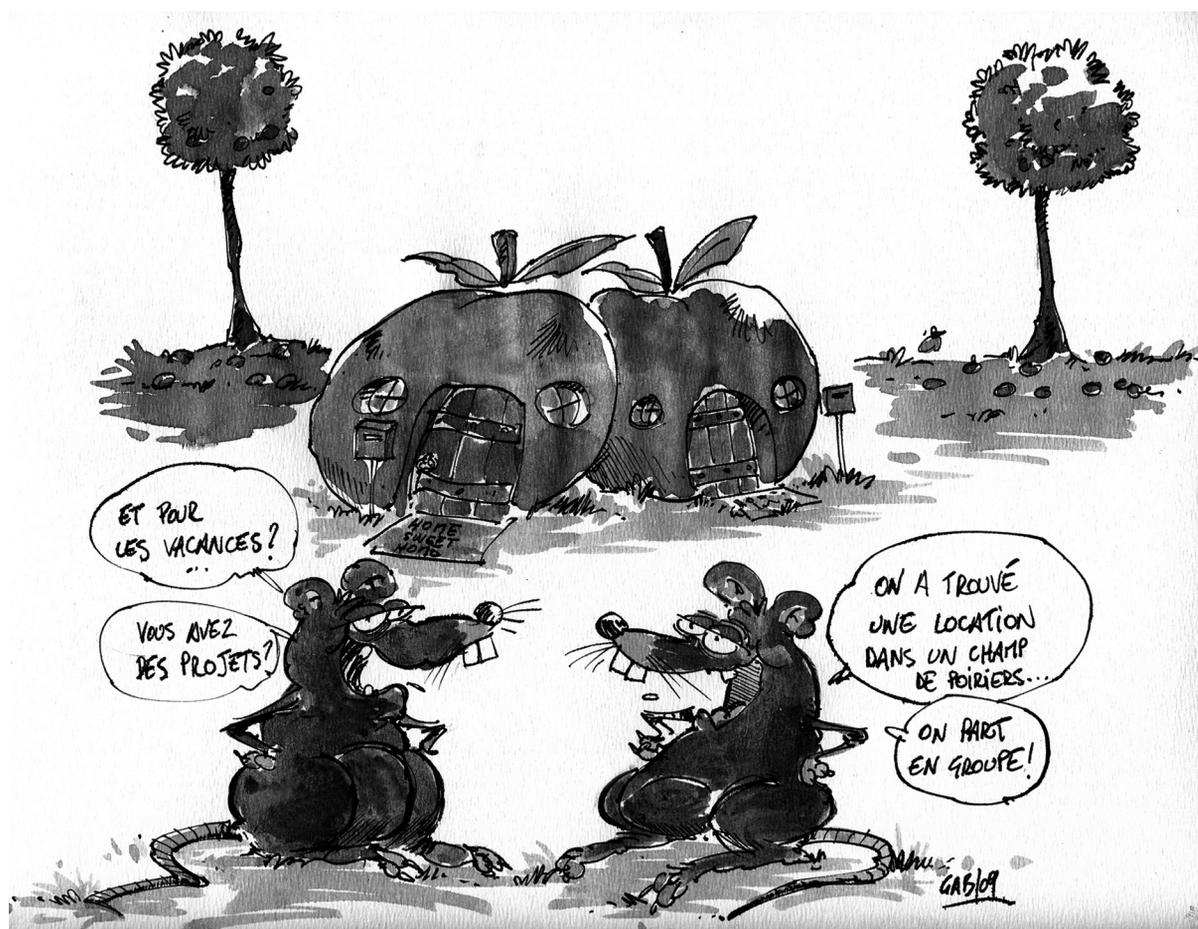
Les rongeurs aquatiques

Ce sont le Castor (*Castor fiber*), le Rat musqué (*Ondatra zibethica*) et le Ragondin (*Myocastor coypu*).

Les dégâts occasionnés

En Europe et en Amérique du nord, une très grande partie des dégâts signalés en arboriculture sont attribuables aux rongeurs de prairies. Des dégâts occasionnels peuvent être le fait de rongeurs forestiers. Cependant les mesures préventives, préconisées pour les espèces de prairies, sont généralement suffisantes pour diminuer simultanément les risques posés par l'ensemble des deux premières catégories (prairiales et forestières). Les problèmes, souvent ponctuels, posés par les castors et ragondins, ont été étudiés attentivement par plusieurs auteurs. Ils appellent des solutions spécifiques, déjà efficacement documentées (Rouland et Petot, 1990 et Rouland, 1993, pour le Castor ; Jouventin *et al.*, 1996 et Mougnot et Roussel, 2006, pour le Ragondin). Seul le cas des espèces de prairies, responsables de la grande majorité des dégâts en verger, sera en conséquence développé ici.

Parmi les rongeurs de prairies, les modes d'utilisation de l'espace et les comportements alimentaires permettent de séparer des espèces à mœurs plutôt souterraines (campagnols terrestres, souterrains, provençaux et de Savi) et des espèces circulant fréquemment en surface (campagnols des champs et agrestes). Les dégâts occasionnés par ces deux catégories concernent le système racinaire (Byers, 1984 ; Swihart et Conover, 1988), le collet des arbres (Kushad, 1994 ; Godfrey et Askham, 1988), les branches basses et parfois le tronc (attaque hivernale sous manteau neigeux ; Romankow-Zmudowska, 1980).



Choisir l'environnement du verger

Les concepts de l'écologie du paysage – en particulier le rôle des bordures, celui de filtre des corridors, le rôle des matrices paysagères et celui des arrangements spatiaux qui déterminent les degrés de connectivité physique et biologique – ont permis de prendre en compte un grand nombre d'interactions ignorées jusqu'alors, notamment entre l'évolution des modes d'utilisation de l'espace par l'homme, d'une part, et les organismes vivants, d'autre part. Or ce sont ces interactions qui déterminent les réponses comportementales des individus. L'écologie du paysage a ainsi renouvelé notablement notre compréhension du fonctionnement des populations animales et en particulier celui des populations d'auxiliaires naturels que sont les prédateurs et les parasites. Les éléments qui structurent les paysages conditionnent en effet à la fois l'utilisation de l'espace par ces auxiliaires et leur succès d'installation et/ou de développement : d'une part, ils facilitent ou font obstacle à leurs déplacements, d'autre part, ils déterminent les conditions microclimatiques de leur développement ou de leur survie. Pour comprendre pourquoi et comment la structuration de l'envi-

ronnement intervient pour stabiliser et réguler les populations de rongeurs, il faut donc se pencher sur les travaux qui expliquent la dynamique de ces populations essentiellement par des facteurs externes non climatiques comme la prédation, le parasitisme et les maladies (Lidicker, 2000). Établir une forte connectivité entre le verger et les espaces potentiellement riches en auxiliaires naturels paraît alors nécessaire et devrait conduire à porter une attention particulière à l'environnement global du verger.

Parallèlement, les techniques d'échantillonnage indiciaires, mises au point dans le contexte d'études développées à de larges échelles spatiales, permettent à présent d'évaluer les risques de croissance des populations à plusieurs échelles, notamment les échelles régionale et sectorielle (celle des paysages) (Quéré *et al.*, 2000 ; Giraudoux *et al.*, 1995 entre autres). Elles permettent de surveiller rapidement les niveaux d'abondance à l'échelle locale (celle du verger et de son environnement immédiat) et d'évaluer les risques encourus à l'échelle de chaque exploitation. Nous examinerons successivement la nature des informations accessibles à ces différentes échelles.

À l'échelle régionale

En règle générale, le risque de pullulation d'un ravageur est subordonné en premier lieu à la proportion de son habitat favorable dans l'environnement global. Dans le cas des rongeurs prairiaux, il s'agira naturellement des surfaces toujours en herbe (STH) et de leur proportion, calculée en référence à la surface agricole utile (SAU).

Dans le cas du Campagnol des champs (*M. arvalis*), un risque élevé de pullulation est constaté à partir d'un seuil « STH/SAU » proche de 50 (Delattre *et al.*, 1992). A ce stade, la phase de pullulation se produit de façon irrégulière et brève au cours de chacun des cycles de fluctuations pluriannuelles qui chez cette espèce durent en moyenne 4 ans. Au-delà de ce seuil, la fréquence et la durée des pullulations augmentent souvent très brutalement, en réponse à des effets de type « point de rupture ». Ces effets signent des changements importants dans le fonctionnement des populations et sont générés par des modifications de la composition des communautés animales. A ces moments critiques, on observe des changements dans la composition des communautés animales qui s'expriment en particulier par le basculement d'une communauté à dominance de prédateurs généralistes (renards, chats, blaireaux, buses, *etc.*) vers une communauté dominée par les prédateurs spécialistes (petits mustélidés ; belettes et hermines, notamment). D'un épisode ponctuel et local de pullulation, ne durant d'abord que quelques mois, on passe rapidement à un rythme de pullulation s'établissant régulièrement tous les 3 ou 4 ans et de durée excédant souvent un an (Delattre *et al.*, 1996 ; Delattre et Giraudoux, 2005). Une aggravation du processus conduit à une augmentation de la durée de la phase de pullulation qui passe progressivement de 1 à 2 années, puis à 3 années successives pour un cycle pluriannuel d'une durée totale de 4 ans. Dans quelques cas extrêmes, des pullulations chroniques peuvent se mettre en place (cas des polders vendéens pendant les années 60 ; Spitz, 1976)

Pour le Campagnol terrestre (*A. terrestis*), le seuil de déclenchement des pullulations est plus élevé. Il se situe aux alentours d'un rapport « STH/SAU » de 90 (Delattre *et al.*, 1988 ; Giraudoux *et al.*, 1997a). Au-delà de ce seuil, les phases de pullulation se succèdent rapidement et interviennent selon un rythme de 6 ou 7 ans. La durée des pullulations, d'abord limitée à quelques mois, s'établit à 2, puis 3, voire 4 années consécutives (cas actuels de certaines communes de Franche-Comté ; Giraudoux *et al.*, 2002).

Aucun cas de pullulation chronique n'a cependant encore été constaté pour cette espèce.

Pour ces deux espèces, le déclenchement des pullulations correspond à des niveaux d'abondance à partir desquels les mécanismes de dispersion et de diffusion des populations deviennent si efficaces qu'ils compliquent sérieusement la mise en place de stratégies de lutte. Ces niveaux d'abondance sont considérablement plus élevés que les seuils de tolérance des cultures qui, pour le Campagnol terrestre en arboriculture par exemple, sont de l'ordre de quelques individus/ha. Les valeurs de STH/SAU indiquent en conséquence qu'il sera difficile de prévenir la colonisation d'un verger par les campagnols dans des situations où, à échelle régionale, les seuils de 50 et 90 sont approchés ou dépassés respectivement pour ces 2 espèces.

Les rythmes de pullulations des autres espèces de prairies restent encore largement méconnus, mais devraient pouvoir être établis plus rapidement à présent si les démarches scientifiques retenues pour les étudier (techniques indiciaires appliquées à l'échelle des paysages notamment) sont utilisées. Il est probable que pour l'ensemble des espèces de petite taille (20 à 50 g), les rythmes sont proches de celui du Campagnol des champs (i.e. des cycles pluriannuels de 3 ou 4 ans). Pour ces espèces, des cas de pullulations chroniques sévissent sans doute déjà pour le Campagnol de Savi en Italie (Santini, 1997). Il en est peut être de même localement pour le Campagnol provençal en Languedoc-Roussillon (Guédon et Pascal, 1993).

À l'échelle d'un paysage

La dynamique des populations de rongeurs est fortement influencée par le degré de structuration et notamment la proportion de surfaces boisées. A STH égale, les paysages ouverts (« openfields ») présentent un risque de pullulation considérablement plus élevé que des paysages cloisonnés (réseaux bocagers) ou en damiers (mosaïques boisées). C'est ce qu'ont montré Delattre *et al.* (1999) pour le Campagnol des champs et Giraudoux *et al.* (1997b) pour le Campagnol terrestre. Par ailleurs, des degrés de connectivité élevés entre les prairies, souvent liés à la largeur et à la disposition des talus, des bermes et des chemins herbeux, accroissent encore ce risque (Myllymaki, 1977).

À l'échelle des parcelles contiguës

La nature des parcelles contiguës au verger, ou situées dans un périmètre de quelques centaines de mètres, est un facteur de risque qui

s'évalue en fonction de la nature de ces parcelles (en particulier les types de prairie ou de culture), de leurs caractéristiques d'exploitation (pratiques agricoles intensives ou extensives, fréquence des fauches, type de pâturage, hauteur du couvert végétal, cultures sans labour, *etc.*) et du degré de structuration de l'espace environnant. Les prairies temporaires et de fauche sont par exemple des sources potentielles de campagnols très importantes, comparées aux prairies régulièrement pâturées (Benoit *et al.*, 2007). La proximité de cultures à végétation précoce (luzerne, trèfles, *etc.*) augmente localement le risque de pullulation. Les résidus de cultures (chaumes de céréales sur pied durant tout l'hiver) ou le maintien d'une couverture végétale élevée en automne et en hiver (prairies non fauchées en automne ou non pâturées) sont également des facteurs d'aggravation du risque local.

Premières conclusions

La perception de l'environnement global du verger à différentes échelles spatiales renseigne rapidement sur le niveau de risque de pullulation. Elle permet d'orienter d'emblée le choix des sites, lorsque ce dernier est envisageable. Elle dicte également la conduite à tenir au cours de la période d'installation, puis de production du verger. Par ailleurs, elle détermine les types d'aménagement possibles en cas de risques de pullulation élevés (STH importante, proximité de prairies temporaires, faible structuration de l'agrosystème, éloignement des zones boisées).

Stratégie de lutte préventive et continue pour un verger biologique

La connaissance accrue des modes de fonctionnement des populations de rongeurs et de leurs relations avec l'environnement permet de proposer et d'accréditer un ensemble de mesures préventives et curatives, exposées ci-après.

Avant la plantation

L'une de ces mesures est le choix de l'environnement global du verger. Il faut éviter de préférence les régions à vocation herbagère. Dans le cas où les proportions de prairies sont élevées, il est nécessaire de se placer le plus près possible, voire à l'intérieur, d'un massif boisé, d'un réseau bocager ou d'une mosaïque boisée.

Une autre mesure est le choix de l'environnement périphérique du verger :

- il faut éviter le voisinage immédiat des prairies temporaires, des luzernes et de toutes parcelles riches en légumineuses ;

- préférer un environnement de cultures annuelles (crucifères, céréales d'été, betteraves) ou, à défaut, de prairies intensivement pâturées (préférentiellement par des ovins ou par des chevaux dont la durée de pacage des parcelles est souvent plus longue que celle des bovins et dont les refus sont plus rares) ;

- éviter les zones à végétation hygrophile (Teivainen *et al.*, 1981) et les sols argileux à forte capacité de rétention en eau (Wieland, 1973) qui sont les plus rapidement colonisés par les campagnols. Cette prescription concerne particulièrement les régions à risque important de pullulation de campagnols terrestres (*i.e.* les régions humides et de moyenne montagne).

D'autres mesures peuvent encore être prises dans l'aménagement du verger :

- en l'absence de structures boisées suffisantes à proximité immédiate, mettre en place, en périphérie, ou au moins sur deux des côtés du verger, une surface boisée de 5 à 30 m de large (encadré 1) ;

Encadré 1. Principes d'aménagement des zones périphériques ou internes au verger

Le principe de base est de mettre en place des zones boisées les plus hétérogènes possibles (haies ou bosquets connectés entre eux par des haies), tant dans leur composition (association de plantes herbacées, arbustives et arborées ; associations de feuillus et de résineux)* que dans leur structure (densités variables de plantations).

Règles pratiques :

- alterner des zones à plantations denses avec des zones à plantations plus lâches ;
- associer arbres et arbustes ;
- utiliser de préférence des essences locales ;
- alterner ou associer des arbres à croissance lente (cèdres, hêtres, sapins, chênes, *etc.*) avec des essences à croissance rapide (frênes, sorbiers, tilleuls, épicéas, *etc.*) ;
- éviter les alignements ou les écartements trop réguliers ;
- installer des tas de pierres et/ou de bûches (2 à 3 stères chacun) au milieu des bosquets et dans les haies les plus larges, à intervalles de 100 à 150 m.

* N.B. Compte tenu des contraintes liées aux autres populations de ravageurs, il peut être opportun d'éviter les espèces botaniquement proches de celles composant le verger (rosacées) et qui hébergent les mêmes ravageurs (à cet égard, on lira avec profit les conclusions des travaux et réflexions de Chaubet, 1992 ; Rieux, 1998 ; Rieux *et al.*, 1999 ; Baudry *et al.*, 2000 ; Jay, 2000).

- dans le cas de vergers de plus de 200 m de large, prévoir une bande médiane boisée de 5 m à 20 m de large, traversant le verger dans le sens de la longueur ;
- ne pas excéder une surface de 8 ha d'un seul tenant (seuil au-delà duquel l'intensité des attaques de campagnols s'accroît rapidement ; Sullivan *et al.*, 1987). Au-delà de 8 ha, morceler le verger par des haies larges et par des bosquets de 1 à 2 ha ;
- assurer la connectivité des vergers avec les éléments boisés les plus proches par des réseaux de haies, des alignements d'arbres et de bosquets, ou à défaut par des murets rustiques.

Au cours de la plantation et pendant les trois premières années

Les mesures préventives utilisables consistent à bien choisir l'époque de plantation par rapport aux phases des cycles des rongeurs locaux et à appliquer quelques techniques relativement simples.

• La plantation des jeunes arbres

Il s'agit essentiellement de mesures de préparation :

- préparer le sol en automne, par labour ou hersage, et maintenir le sol nu pendant l'hiver précédant la plantation ;
- planter les scions de préférence en fin d'hiver et pendant une phase de déclin des populations de rongeurs (encadré 2) ; ceci réduira au maximum les risques d'attaques par les campagnols des champs et agrestes dont les dégâts, sur écorce, sont à craindre pendant la période hivernale et essentiellement pendant les 3 premières années ;
- choisir éventuellement des porte-greffes peu attractifs et éviter ceux qui le sont. Ce domaine de recherches a fait l'objet de programmes de sélection et d'études expérimentales dont une analyse, non exhaustive, peut être apportée par la lecture des travaux de Czynczyk (1981), Michelesi *et al.* (1995) pour les variétés européennes et ceux de Byers et Cummins (1977) et Wysolmerski *et al.* (1980) pour les variétés américaines. Les différences de sensibilité souvent constatées sont attribuables à la composition chimique des tissus, à la finesse ou la texture des écorces, voire aux capacités de cicatrisation et de récupération des arbres après attaque (Byers, 1984). Le pêcher semble plus résistant que le pommier (Byers et Young, 1974 ; Myllymaki, 1977) ; le cerisier Sainte Lucie est très appétent, comparativement au cerisier franc (Jay, *commun. pers.*)

Encadré 2. Méthodes de prévision des phases d'abondance des campagnols

Les populations de campagnols sont sujettes à des fluctuations pluriannuelles qui déterminent des phases successives de croissance, d'abondance (à caractère ou non de pullulation), de déclin et de faible densité (Krebs, 1996). Seules des méthodes indiciaires, basées sur l'observation d'indices de présence facilement observables et typiques des espèces ciblées, permettent de suivre les évolutions de ces populations et de déterminer les phases rencontrées (Von Kruger, 1996 ; Byers, 1975b). Le nombre de tumulus (pour le Campagnol terrestre) ou la présence/absence de fécès dans les galeries superficielles (pour le Campagnol des champs), observés par intervalle de 10 m le long de parcours plurikilométriques réalisés au printemps et en automne, apportent une évaluation convenable des abondances de population (Giraudoux *et al.*, 1995 et Quéré *et al.*, 2000, respectivement pour ces 2 espèces). D'autres méthodes d'échantillonnage peuvent être utilement adaptées et appliquées à d'autres espèces sous réserve que les protocoles d'observation soient régulièrement appliqués le long des mêmes parcours et aux mêmes époques (Whisson *et al.*, 2005). Ont ainsi été proposées l'obturation des terriers et le dénombrement des réouvertures pour le suivi des populations du Campagnol de Savi (Santini, 1997) et du Campagnol des champs (Romanow-Zmudowska, 1980) ; la pose de pommes et l'observation du nombre de fruits attaqués pour le Campagnol sylvestre (Byers, 1975b) ; l'utilisation de rameaux de pommiers exposés aux rongeurs durant une semaine ou deux et le dénombrement des morsures pour les campagnols « de surface » (opérationnelle en automne et en hiver ; Von Kruger, 1996).

Cet aspect de la lutte n'est pas développé ici car il nous paraît assez délicat de jouer sur ce registre. En effet, ce sont essentiellement les conditions environnementales (déficit hydrique et niveau de stress pour les arbres, disponibilité alimentaire et couverture neigeuse pour les campagnols) ainsi que l'état des populations (niveaux d'abondance, besoins énergétiques) qui déterminent les risques d'attaque (Geyer et Cummings, 1980).

Par ailleurs, les capacités des rongeurs à contourner les mécanismes de résistance des plantes sont importantes (Bergeron, 1984 ; Bergeron et Jodoin, 1989). Aussi, avant de s'engager dans la recherche et l'utilisation de variétés résistantes, une réflexion sur les mesures globales de protection doit-elle être entreprise, en particulier celles qui concernent l'entretien du verger évoquées ci-après.

• *Enherbement du verger*

Il serait idéalement préférable de maintenir constamment le sol nu sur l'ensemble du verger, ce qui constitue la meilleure parade à l'installation et au développement des populations de campagnols (Stalder *et al.*, 1972 ; Myllymaki, 1977 ; Sullivan et Hogue, 1987 ; Sullivan *et al.*, 1998). Cependant, ce choix est souvent incompatible, soit avec la gestion d'un verger de production biologique (notamment avec l'implantation de bandes fleuries pour l'accueil et le maintien d'insectes auxiliaires), soit avec d'autres contraintes locales (mesures agronomiques prises pour limiter les pertes en azote, la dégradation des sols, l'érosion, *etc.*).

Aussi, lorsque la décision d'enherber un verger est retenue, il est conseillé de :

- semer l'herbe plusieurs mois avant la plantation des pommiers ;
- rouler les parcelles le plus fréquemment possible de façon à assurer un tassement du sol suffisant pour limiter les capacités de creusement et donc de colonisation du verger par les campagnols ;

Encadré 3. Appétence des plantes

Dans la plupart des cas, le caractère appétent ou répulsif des plantes vis-à-vis des campagnols a été constaté dans des conditions particulières (isolement en cage ou en terrarium ; diversité alimentaire faible, *etc.*). Par ailleurs, dans les situations où le caractère nocif des plantes a été vérifié, leur effet dépressif sur les populations ne s'est exercé que lorsqu'elles constituaient la seule nourriture disponible, comme les moutardes (*Brassica* sp.) et *Fagopyrum esculentum* vis-à-vis du Campagnol des champs (Jaworska, 1995). L'utilisation de ces résultats doit donc être réfléchie.

Les plantes appétentes sont, en règle générale, les plantes et graminées à rhizomes, le chiendent et les pissenlits. Plus spécifiquement :

- pour le Campagnol terrestre (Kopp, 1988), les trèfles des prés, les luzernes, le trèfle blanc et la fétuque des prés ;
- pour le Campagnol agreste (Myllymaki, 1977) : les trèfles et *Taraxacum* ;
- pour le Campagnol des champs américain (*Microtus pennsylvanicus*) : *Coronilla varia*, *Festuca rubra*.

Les plantes nocives sont *Brassica* sp., *Fagopyrum esculentum* et plus spécifiquement :

- pour le Campagnol des champs, le Pâturin raide et le Vulpin des prés ;
- pour le Campagnol terrestre, les Dactyle aggloméré, ray-grass, Phléole et Avoine (Kopp, 1988).

Les plantes répulsives sont le Méliot, la Couronne impériale, la Langue de chien.

- choisir des plantes peu appétentes pour les campagnols (encadré 3). Comme pour le choix des variétés fruitières résistantes aux attaques de campagnols, l'intérêt de ce critère doit cependant être relativisé (Kopp, 1993) ;

- le couvert végétal par contre, en particulier sa hauteur, exerce une action majeure sur le développement et le maintien des populations de campagnols (Romankow-Zmudowska, 1980). Une hauteur de végétation suffisante assure une protection importante contre les prédateurs (Sullivan et Hogue, 1987), augmente la survie hivernale (Myllymaki, 1977), facilite les déplacements des campagnols et, *in fine*, favorise les activités de creusement et l'extension des colonies (Eadie, 1953 ; Saraiva, 1973 ; Kopp, 1993 ; Smallwood, 1996). On sait, en outre, qu'une coupe rase et trop brutale de la végétation (fauche, pâturage tournant) provoque un déplacement important des campagnols vers les zones voisines (Saucy, 1988).

• *Entretien du verger*

Il consistera en particulier à :

- maintenir mécaniquement le sol nu sur les rangées d'arbres, au minimum sur 1 m de largeur, et de préférence sur 3 à 4 m (Byers et Young, 1974) ; 2 passages par an semblent nécessaires pour assurer une bonne destruction des réseaux de galeries et devraient être réalisés de préférence en juillet et en novembre (Byers et Young, 1978). Des possibilités de désherbage thermique se développent actuellement pour assurer ce travail ;

- maintenir l'herbe constamment rase sur les inter-rangs (Byers, 1979 ; Godfrey et Askham, 1988) ;

- éviter tout mulch végétal (Miller et Bell, 1982 ; Merwin et Stiles, 1994) et paillage du sol (Mika *et al.*, 1998) dont l'utilisation peut être à l'origine de dégâts importants (Santini, 1997). Ils assurent en effet un abri excellent aux campagnols, facilitent l'installation durable des colonies et sont à proscrire particulièrement autour des arbres. Cette mesure s'applique également aux mulchs artificiels (films plastiques ; Merwin *et al.*, 1999) dont les inconvénients sont supérieurs à leurs avantages dans toutes les situations où les besoins en eau sont normalement satisfaits (Guiheneuf, 1988). En région méditerranéenne, où l'herbe sèche rapidement, un gyrobroyage, avec projection à l'écart des arbres, peut être envisagé ;

- assurer une protection du sol par un mulch de pierres broyées mis en place sur le rang (Byers, 1984) ;

– poser des gaines ou des colliers à la base des troncs des jeunes arbres ; la protection apportée ainsi est efficace contre les campagnols « de surface », sous réserve qu'aucun mulch ne soit déposé à proximité (Merwin *et al.*, 1999). Une assez grande diversité de dispositifs est proposée ; grillages en vinyl et peinture des troncs (Grokhol'skii et Solov'eva, 1992) ; colliers plastiques, en spirale et à pose rapide (Giege, 1977) ; gaines en aluminium (Myllymaki, 1977). Contre certaines espèces souterraines, il est nécessaire d'enfoncer profondément les cylindres protecteurs (jusqu'à 60 cm de profondeur dans le cas du Gauvre gris ; Willis, 1981) ;

– faucher au moins une fois l'an, en automne, les cultures de plantes adventices mises en place pour favoriser les auxiliaires biologiques (Jaworska, 1995) ;

– éloigner du verger, au fur et à mesure des opérations, les résidus de taille ainsi que les déchets de tous ordres ; tas de bois, vieilles souches, sacs plastiques, *etc.* (Godfrey et Askham, 1988).

Pendant toute la production

Il est nécessaire de surveiller les populations (voir encadré 2) et de lutter de façon préventive et continue (encadré 4). Simultanément il convient de mettre en place ou de renforcer les mesures de protection des auxiliaires naturels.

Contre les espèces « de surface »

La lutte, en principe, devient moins nécessaire au-delà des 3 ou 4 années qui suivent la plantation et généralement inutile après une dizaine d'années si les mesures préventives ont été appliquées (Sullivan *et al.*, 1987). Cependant, dans les régions enneigées de façon régulière ou durable, les colonies de campagnols peuvent s'installer sous le couvert neigeux et occasionner des dégâts, par écorçage des branches basses, du collet, voire du tronc des arbres, pendant toute la période de production (Kushad, 1994). En Scandinavie, des pommiers âgés de 30 ans furent ainsi sévèrement attaqués au cours d'un hiver rigoureux par *M. agrestis* et plus de 25 des arbres furent détruits à cette occasion (Kanervo et Myllymaki, 1970). Dans ces situations, il est donc important d'estimer les niveaux d'abondance des populations dès la fin de la période estivale et en cas d'abondance de limiter au maximum les colonies de campagnols par un piégeage intensif au cours de l'automne. Lorsque des mesures adéquates n'auront pu être prises en automne, il peut être opportun, au cours des périodes d'enneigement, d'apporter

Encadré 4. Lutte active et piégeage des campagnols

Les périodes de recolonisation active ont lieu en fonction des phases des cycles d'abondance (Lapasha et Powell, 1994) avec une dispersion maximale pendant les phases de forte densité (Byers, 1984) et les périodes de modifications des habitats (fauches, labours des prairies, *etc.*) ou de conditions climatiques particulières : sous la neige, par exemple (Madison *et al.*, 1983) ou pendant des épisodes pluvieux importants (Saucy, 1994 pour le Campagnol terrestre). La réutilisation des galeries au cours de la recolonisation des parcelles par les individus en phase de dispersion doit conduire à engager une lutte active durant ces périodes. On lira avec profit les publications de Niemeyer *et al.* (1996) pour le piégeage des campagnols de petite taille ; Meli (1976) pour les méthodes de lutte continue contre les taupes et les campagnols terrestres ; Walther *et al.* (2007) pour la mise en place des barrières ; Sullivan *et al.* (1988) pour l'utilisation de répulsifs. En production bio, l'utilisation de produits tels que le phosphore de calcium pourrait rendre de sérieux services si des autorisations en ce sens étaient obtenues.

momentanément une nourriture artificielle aux campagnols de façon à les dissuader de s'attaquer aux écorces (Servello, *et al.*, 1984). Ces dernières ne constituent en effet qu'un aliment très pauvre, consommé seulement en situation extrême par les rongeurs et rapidement délaissé au profit d'une nourriture plus riche.

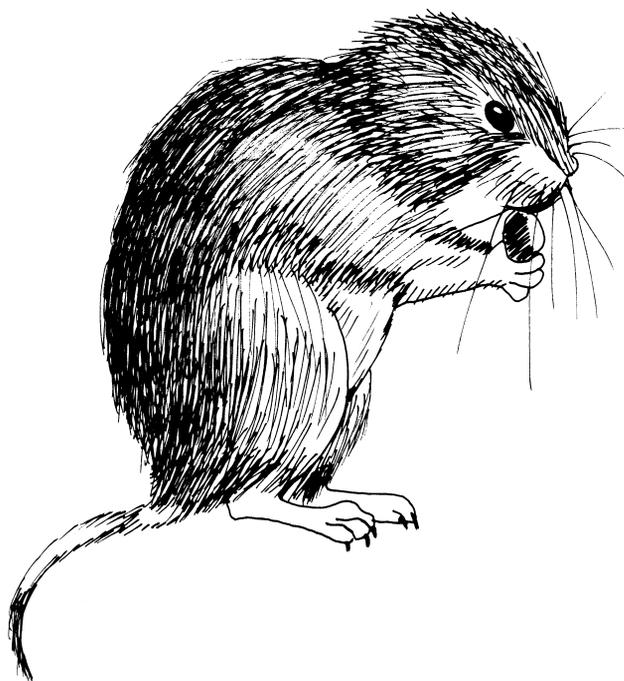
En région méditerranéenne, les déficits de « verdure », et donc les périodes de faible disponibilité alimentaire pour les campagnols, ont lieu durant l'été (juin, juillet et août ; Santini, 1997). Ils déterminent la période critique au cours de laquelle les dégâts sont le plus à craindre. Pour anticiper ce risque, il convient dans ces régions de limiter les populations dès le début du printemps.

Contre les espèces souterraines

La lutte devra être préventive et continue. L'impact de ces espèces sur la production reste important durant toute la période de production et peut être à l'origine de pertes supérieures au tiers du revenu moyen des récoltes (Pearson et Forshey, 1978 ; Byers, 1984 ; Guédon, 1987 ; Askham, 1988 ; Godfrey et Askham, 1988). Une attention constante doit en conséquence être maintenue envers ces espèces, dont quelques individus seulement à l'hectare peuvent être à l'origine de pertes importantes au niveau d'un verger (cas du Campagnol terrestre en particulier). Le repérage des nouveaux individus dans le verger, ainsi que celui des taupes dont les

réseaux de galeries constituent un facteur de colonisation rapide des parcelles par les campagnols (Delattre *et al.*, 2006), devra être continu au cours de l'année. Il sera réalisé par la recherche des indices de présence (tumulus de terre, taupinières, ouvertures de terriers, galeries de surface, *etc.*) à la fois à l'intérieur du verger et dans les zones périphériques enherbées (dans ces dernières, sur une largeur d'au moins 100 m à partir des limites du verger). Il est en effet crucial, pour l'ensemble de ces espèces, de limiter au maximum les possibilités de colonisation, ce qui peut être obtenu en particulier par la destruction régulière des réseaux de galeries. Pour établir une veille continue des populations, il est conseillé de marquer avec des jalons colorés l'emplacement de toutes les taupinières, tumulus ou signes d'activité nouvellement apparus.

Ce travail d'observation peut incomber à toutes les personnes se déplaçant dans le verger, quelles que soient leurs activités. Il devrait être complété, dans les situations à risque, par un parcours régulier quadrillant la totalité du verger et de sa périphérie. Dès l'apparition de signes de présence, il convient de pratiquer un piégeage des campagnols et des taupes dans les réseaux de galeries repérés et de procéder ensuite, si possible, à la destruction de ces réseaux (par griffage du sol ; Byers, 1975a) ou à leur surveillance et piégeage jusqu'à disparition complète des traces d'activité.



Microtus arvalis, le Campagnol terrestre.
Dessin de Claire Brenot.

Protéger et favoriser les auxiliaires naturels

Les espèces carnivores généralistes sont probablement les régulateurs les plus efficaces des populations de campagnols (Andersson et Erlinge, 1977). Leur degré de sédentarité élevé et leurs capacités à modifier rapidement leurs habitudes alimentaires concourent à favoriser leur action durant les phases de faible densité des populations de campagnols et prévenir ainsi efficacement leur croissance démographique. La quasi totalité des prédateurs de rongeurs exigent pour leur survie, leur reproduction, leurs déplacements et leurs gîtes, une structuration suffisante du milieu. Ces conditions sont apportées essentiellement par les éléments boisés. Il en est de même pour la plupart des parasites de rongeurs car, pour nombre d'entre eux, le cycle de développement comporte une phase de portage par un ou plusieurs prédateurs. Ceci explique les liens étroits observés entre structures paysagères et régulation des populations. Des mesures de protection spécifiques (renards, fouines, martres, putois notamment) devraient systématiquement être négociées localement avec les associations de chasse et les administrations départementales et régionales lorsqu'un risque de pullulation de rongeurs se développe.

Parallèlement, un aménagement adéquat du verger et de son environnement, conçu dans le but d'assurer une disponibilité suffisante de zones refuges et de corridors favorables à leurs déplacements, apportera l'assurance d'une utilisation régulière des vergers par cette catégorie de prédateurs (Merwin *et al.*, 1999).

La prédation exercée par les rapaces peut dans certains cas être appréciable. Cependant, elle intervient généralement lorsque les niveaux de population sont déjà élevés, ce qui explique sans doute que peu d'essais mis en place pour augmenter la prédation par ces espèces aient été concluants (Howard *et al.*, 1982 ; Norrdahl et Korpimäki, 1995 ; Marsh, 1998 ; Wolff *et al.*, 1999). Quelques mesures permettant leur sédentarisation sur les zones à protéger peuvent aider à tirer parti de leur potentiel de régulation : protection des arbres élevés, âgés ou creux ; pose de nichoirs après diagnostic des espèces présentes ; mesures de protection ; implantation de haies larges ; rangées d'arbres suffisamment écartées dans les vergers ; quiétude des lieux (Strecht, 1996 ; Merwin *et al.*, 1999 ; Jay, 2000).



Verger biologique enherbé. Contre les rongeurs, le sol a été travaillé et les collets des arbres ont été protégés par des bandes. Dessin de Claire Brenot, d'après une photo de Laurent Jamar (Centre wallon de recherches agronomiques, Gembloux, Belgique).

La régulation des populations de campagnols sur de grandes surfaces et pendant de longues périodes peut modifier la structure des peuplements de rongeurs et se traduire notamment par une augmentation d'espèces plus mobiles (*Apodemus* spp. en Europe ; *Peromyscus* spp. en Amérique). Cette modification n'est pas à craindre car ces espèces sont pour la plupart ubiquistes et ne causent habituellement pas, ou peu de dégâts en arboriculture. Par ailleurs, par leur régime alimentaire diversifié (partiellement entomophage), elles contribueraient à la régulation des populations de certains insectes ravageurs (cas de *Peromyscus leucopus* et *P. boylii* vis à vis de certains diptères ; Thomas, 1993). Enfin, par leur présence, elles attirent et maintiennent sur place certains prédateurs.

En conclusion

La diversité des interactions entre populations de rongeurs et éléments du milieu (proportion des milieux enherbés, importance des réseaux de haies et des couverts boisés, hauteur du couvert végétal, qualité de la végétation, disponibilité alimentaire, exposition à la prédation, couverture neigeuse hivernale, etc.) a freiné la mise en place de techniques de lutte contre ces ravageurs. De leur prise en compte et de leur connaissance approfondie dépend cependant l'adaptation à venir des stratégies de lutte.

Plus qu'avec tout autre ravageur, le principe « mieux vaut prévenir que guérir » doit donc s'appliquer à la lutte contre les rongeurs. Sa prise en compte, ainsi que l'intégration progressive des mesures proposées, sont probablement le meilleur garant d'un contrôle régulier des populations de rongeurs.

Dans une perspective de production biologique, un des principes à établir, et simultanément une des plus grandes difficultés, sera de réfléchir à une gestion commune des différents ravageurs. Si, pour des raisons de commodité et pour une première approche du problème, nous proposons ici les grandes lignes d'une gestion applicable aux seules populations de rongeurs, il est important de garder à l'esprit qu'une synthèse des propositions de lutte contre l'ensemble des ravageurs potentiels du verger devra être menée ultérieurement de manière à assurer, au mieux, leur compatibilité.

De façon plus large, ces propositions devront s'intégrer également dans l'ensemble des modes de conduite agronomique du verger (fertilisation, protection des sols, gestion de l'espace, etc.). Il est fort probable que lorsqu'ils seront davantage définis, les principes d'une gestion biologique des ravageurs seront reconnus communs aux vertébrés et aux invertébrés, ce qui simplifiera la mise en place d'une stratégie commune ■

Références bibliographiques

- ANDERSSON M., ERLINGE S., 1977. Influence of predation on rodent population. *Oikos*, 29: 591-597.
- ASKHAM L.R.A., 1988. Two year study of the physical and economic impact of voles (*Microtus montanus*) on mixed maturity apple (*Malus spp.*) orchards in the Pacific Northwestern United States. *Proceedings XIIIth Vertebrate Pest Conference*, Monterey, California. University of California, Davis, USA, 151-155.
- BAUDRY O., BOURGERY C., GUYOT G., RIEUX R., BERTHOUMIEU J.F., BIAU J., DEBRAS J.F., DEFRANCE H., FAVAREILLE J., MANDRIN J.F., SIMON S., TOURET V., VILLENEUVE F., FAIVRE D'ARCIER F., JAY M., MASSE A., HARZIG J., 2000. *Haies composites, réservoirs d'auxiliaires*. Centre technique des fruits et légumes, Paris, 115 p.
- BENOIT M., CRESPIN L., DELATTRE P., MEHAY V., QUÉRÉ J.P., 2007. Évaluation du risque d'abondance du campagnol des champs (*Microtus arvalis*) en fonction du type de prairie. *Fourrages*, 191, 347-358.
- BERGERON J.M., 1984. L'utilisation de ressources alimentaires, avec ou sans composés secondaires connus, par une population cyclique de campagnols des champs (*Microtus pennsylvanicus*). *Canadian Journal of Zoology*, 62 (4), 601-607.
- BERGERON J.M., JODOIN L., 1989. Plant composition in relation to vole damage in coniferous plantations. *The Forestry Chronicle*, 206-209.
- BYERS R.E., 1975a. Pine vole control in apple orchards. *Proceedings of the Annual Meeting of the New York State Horticultural Society*, Rochester, New York, 120, 159-164.
- BYERS R.E., 1975b. Rapid method for assessing pine vole control in orchards. *Hortscience*, 10 (4), 391-392.
- BYERS R.E., 1979. Controls to stop voles. *American Fruit Grower*, 99 (11), 14-15, 22-23.
- BYERS R.E., 1984. Control and management of vertebrate pests in deciduous orchards of the eastern United States. *Hortical Review*, 6, 253-285.
- BYERS R.E., CUMMINS J.N., 1977. Variations in susceptibility of apple stems to attack by pine voles. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102 (2), 201-203.
- BYERS R.E., YOUNG R.S., 1974. Cultural management of pine voles in apple orchards. *Hortscience*, 9 (5), 455-446.
- BYERS R.E., YOUNG R.S., 1978. Effect of orchard culture on pine vole activity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103 (5), 625-626.
- CHAUBET B., 1992. Diversité écologique, aménagement des agro-écosystèmes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages. *Courrier de la cellule Environnement*, 18.
- COUTURIER G., 1973. Etude éthologique et biocénotique du peuplement d'insectes dans un verger « naturel ». *Travaux et documents de l'ORSTOM*, 22, 96 p.
- CZYNCZYK A., 1981. The effect of interstocks on M.9 and B.9 on the field performance of three apple cultivars. *Acta Horticulturae*, 114, 192-197.
- DEGUINE J.P., FERRON P., 2004. Protection des cultures et développement durable ; bilan et perspectives. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 52, 57-65.
- DELATTRE P., DAMANGE J.P., PASCAL M., HABERT M., 1988. Rôle de la prédation et influence de la structure du paysage agricole sur le développement des cycles d'abondance des populations d'*Arvicola terrestris* Scherman. *Bulletin OEPP*, 18, 415-422.
- DELATTRE P., GIRAUDOUX P., BAUDRY J., MUSARD P., TOUSSAINT M., TRUCHETET D., STAHL P., LAZARINE-POULE M., ARTOIS M., DAMANGE J.P., QUÉRÉ J.P., 1992. Land use patterns and types of common vole (*Microtus arvalis*) population kinetics. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 39, 153-169.
- DELATTRE P., GIRAUDOUX P., GROLLEAU G., DEFAUT R., HABERT M., PRADIER B., QUÉRÉ J.P., TOUSSAINT M., TRUCHETET D., 1996. La lutte contre les campagnols champêtres. Enjeux et perspectives. *Phytoma-La Défense des Végétaux*, 489: 38-43.
- DELATTRE P., DE SOUSA B., FICHET-CALVET E., QUÉRÉ J.P., GIRAUDOUX P., 1999. Vole outbreaks in a landscape context : evidence from a six year study of *Microtus arvalis*. *Landscape Ecology*, 14 (4): 401-412.
- DELATTRE P., GIRAUDOUX P., 2005. *Le contrôle des rongeurs non commensaux : impasse du tout chimique et perspectives de lutte intégrée. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement du XXIe siècle*. C. Regnault-Roger. Paris, Tec & Doc Lavoisier, 385-410.

- DELATTRE P., CLARAC R., MELIS J.P., GIRAUDOUX P., 2006. How moles contribute to colonization success of water voles in grassland : implication for control. *Journal of Applied Ecology*, 43, 353-359.
- EADIE W.R., 1953. Response of *Microtus* to vegetative COVER. *Journal of Mammalogy*, 34 (2), 263-264.
- FERRON P., 1999. Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures*, 8, 389-396.
- GEYER L.A., CUMMINGS J.N., 1980. Textural and taste influences on gnawing by pine voles. *Proceedings of the 4th Eastern Pine and meadow Vole Symposium*, Hendersonville, N.C., 43-49.
- GIEGE B., 1977. Trials with spiral plastic collars as protection against vole damage. *Vaxts-kyddsnotiser*, 41 (5/6), 133-136.
- GIRAUDOUX P., PRADIER B., DELATTRE P., DEBLAY S., SALVI D., DEFAUT R., 1995. Estimation of water vole abundance by using surface indices. *Acta Theriologica*, 40 (1): 77-96.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., HABERT M., QUÉRÉ J.P., DEBLAY S., DEFAUT R., DUHAMEL R., MOISSENET M.F., SALVI D., TRUCHETET D., 1997a. Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris Scherman*) : a land use and landscape perspective. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 66, 47-60.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., HABERT M., DEFAUT R., QUÉRÉ J.P., TRUCHETET D., 1997b. Relations entre composition, structure du paysage et pullulation des rongeurs prairiaux. *ANPP, IVe Conférence internationale sur les ravauteurs en agriculture*, Montpellier, 5p.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., FOLTETE J.C., JOSSELINE D., DEFAUT R., TRUCHETET D., 2002. Les « vagues voyageuses » du campagnol terrestre en Franche-Comté. *Images de Franche-Comté*, 25, 10-13.
- GODFREY M.E.R., ASKHAM L.R.J., 1988. Non-toxic control techniques for *Microtus* spp. in apple orchards. *Bulletin OEPP*, 18 (2), 265-269.
- GROKHOL'SKII V.V., SOLOV'eva M.A., 1992. Protection of trunks of fruit trees from damage by sunscald and frost. *Sadovodstvo i Vinogradarstvo*, 11-12, 5-7.
- GUÉDON G., 1987. Evaluation de la perte de récolte d'un jeune verger de pommiers occasionnée par le campagnol à douze côtes (*Pitymys duodecimcostatus* Sélvs-Longchamps, 1839). *La Défense des Végétaux*, 245, 3-5.
- GUÉDON G., PASCAL M., 1993. Dynamique de population du campagnol provençal (*Pitymys duodecimcostatus* Sélvs-Longchamps, 1839) dans deux agrosystèmes de la région montpelliéraine. *Revue Écologie Terre Vie*, 48 (4), 375-398.
- GUIHENEUF Y., 1988. Le paillage plastique en arboriculture fruitière. *Fruit Belge*, 8 (56), 66-72.
- HOWARD W.E., MARSH R.E., CORBETT C.W., 1982. Raptor perches : their influence on crop protection. *Proceedings of the third International Theriological Congress*, Helsinki, Finland.
- JAWORSKA K., 1995. The cover of herbaceous plants in an IPM apple orchard and its influence on the occurrence of rodents. *Acta Horticulturae*, 422, 431-432.
- JAY M., 2000. *Oiseaux et mammifères, auxiliaires des cultures*. Centre Technique des Fruits et Légumes, Paris, 203p.
- JOUVENTIN P., MICOL T., VERHEYDEN C., GUÉDON G., 1996. *Le ragondin: biologie et méthodes de limitation des populations*. ACTA. Paris, France.
- KANERVO V., MYLLYMAKY A., 1970. Problems caused by the field vole (*Microtus agrestis*) in Scandinavia. *EPPO Publication*, Série A, 58, 11-26.
- KOPP R., 1988. Les choix alimentaires de la forme fouisseuse du campagnol terrestre (*Arvicola terrestris scherman*): essais en terrarium. *Bulletin OEPP*, 18, 393-400.
- KOPP R., 1993. *Etude de l'impact de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre, Arvicola terrestris scherman (Shaw), sur la végétation d'une prairie*. Thèse de doctorat, Lausanne.
- KREBS C. J., 1996. Population cycles revisited. *Journal of Mammalogy*, 77 (1), 8-24.
- KUSHAD M.M., 1994. Vole control in commercial apple orchards. *Transactions of the Illinois State Horticultural Society*, 128, 25-28.
- LAPASHA D.G., POWELL R.A., 1994. Pine vole (*Microtus pinetorum*) movement toward areas in apple orchards with reduced populations. *Journal of Horticultural Science*, 69 (6), 1077-1082.
- LE LOUARN H., QUÉRÉ JP., 2003. *Les rongeurs de France, faunistique et biologie*. Inra Éditions, 256 p.
- LIDICKER W.Z.J., 2000. A food web/landscape interaction model for microtine rodent density cycles. *Oikos*, 91, 435-445.
- MADISON D.M., FITZGERALD R.W., MCSHEA W.J., 1983. Movements of meadow voles in winter ; implications for vole management in orchard habitat. *Proc. 7th Eastern pine and meadow vole Symposium*. Harpers Ferry, W.Va.
- MARSH R. E., 1998. Promoting barn owls to control rodents is deception. *The Probe*, 192, 4.
- MELI T., 1976. Reduction or prevention of damage by mice in orchards. *Schweizerische Zeitschrift für Obst und Weinbau*. 112 (24), 602-609.
- MERWIN I.A., STILES W.C., 1994. Orchard groundcover management impacts on apple tree growth and yield, and nutrient availability and uptake. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119 (2), 209-215.
- MERWIN I.A., RAY J.A., CURTIS P.D., 1999. Orchard groundcover management systems affect meadow vole populations and damage to apple trees. *Hortscience*, 34 (2), 271-274.
- MICHELESI, J.C., MASSERON A., AUDUBERT A., EDIN M., GARCIN A., GIGLEUX C., KOKE E., LAVOISIER C., LECOMTE P., LEMOINE J., MATHIEU V., MONDOU J.B., ROCHE L., TRILLOT M., TRONEL C., VAYSSE P., 1995. Porte-greffe du pommier. Premiers résultats d'une expérimentation en réseau. *L'Arboriculture Fruitière*, 487, 19-26

- MIKA A., KRZEWINSKA D., OLSZEWSKI T., 1998. Effects of mulches, herbicides and cultivation as orchard groundcover management systems in young apple orchard. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 6 (1), 1-13.
- MILLER J.C., BELL S.M., 1982. *Crop production using cover crops and sods as living mulches*. Workshop proceedings, Oregon State University, Corvallis, USA, 124 p.
- MOUGENOT C., ROUSSEL L., 2006. Peut-on vivre avec le ragondin ? Les représentations sociales reliées à un animal envahissant. *Natures Sciences Sociétés*, 14, 22-31.
- MYLLYMÄKI A. 1977. A program for control of damage by the field vole, *Microtus agrestis*, in seed orchards or forest trees. *EPPO Bulletin*, 7 (2) 523-531.
- NIEMEYER H., FUS H.R., KRUGER F., JARCHOW D., 1996. Control of field voles with multiple-catch tub-traps without the use of poison. *Forst und Holz*, 51 (10), 349-352.
- NORRDAHL K., KORPIMÄKI E., 1995. Effect of predator removal on vertebrate prey populations : birds of prey and small mammals. *Ecologia*, 103, 241-248.
- PEARSON K., FORSHEY C.G., 1978. Effects of pine vole damage on tree vigor and fruit yield in New York apple orchards. *Hortscience*, 13 (1), 56-57.
- QUÉRÉ J.P., RAOUL F., GIRAUDOUX P., DELATTRE P., 2000. An index method of estimating relative population densities of the common vole (*Microtus arvalis*) at landscape scale. *Revue Ecologie Terre Vie*, 55, 25-32
- RIEUX R., 1998. Aménager la biodiversité des auxiliaires des cultures. *Transrural Initiatives*. 117, 3-4
- RIEUX R., SIMON S., DEFRANCE H., 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73 (2) 119-127.
- ROMANKOW-ZMUDOWSKA A., 1980. Influence of snowy winter 1978-1979 on injuries caused by rodents (Common vole, *Microtus arvalis*) in the orchard productive farm near Poznan. *Prace Naukowe Instytutu Ochrony Roslin*, 22 (2), 105-116.
- ROULAND P., PETOT P., 1990. Conception et expérimentation d'une protection contre les dégâts de Castor sur les cours d'eau de faible largeur : le système anti-remontée. *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse*, 148, 21-28.
- ROULAND P., 1993. Protection des arbres et des cultures contre les dégâts de castor. *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse*, 183, fiche 78, 4p.
- SANTINI L., 1997. The problem of *Microtus (Pitymys)* voles in Italian orchards. *Bulletin Oilb/Srop*, 20 (6) 21-24.
- SARAIVA I.A., 1973. The damage caused to fruit trees by rodents. *Agricultura Portugal*, 2, 28-42.
- SAUCY F., 1988. *Dynamique de population, dispersion et organisation sociale de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre (Arvicola terrestris scherman Shaw) Mammalia, Rodentia*. Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, 366 p.
- SAUCY F., 1994. Fates of fossorial Water Voles (*Arvicola terrestris*) as revealed by radiotelemetry. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 59, 342-348.
- SAUPHANOR B., BOUVIER J.C., BOISNEAU C., RIEUX R., SIMON S., CAPOWIEZ Y., TOUBON J.F., 2005. Impacts biologiques des systèmes de protection en vergers de pommiers. *Phytoma-La défense des végétaux*, 581, 32-36.
- SERVELO F.A., KIRKPATRICK R.L., WEBB K.JR., TITTON A.R., 1984. Pine vole diet quality in relation to apple tree root damage. *Journal of Wildlife Management*, 48 (2), 450-455.
- SIMON S., DEFRANCE H., RIEUX R., REBOULET J., 1998. Les bandes boisées, réservoirs d'arthropodes : incidence sur la protection des cultures. *Gibier Faune Sauvage*, 1998, 15, 33-42
- SIMON S., BUSSI C., GIRARD T., CORROYER N., 2006. Agriculture biologique : 11 années d'expérimentation en vergers de pêcheurs et pommiers. *Arboriculture Biologique*. INRA Gotheron. 60 p.
- SMALLWOOD K.S., 1996. Managing vertebrates in cover crops : a first study. *American Journal of Alternative Agriculture*, 11 (4), 155-160.
- SPITZ F., 1976. Démographie du Campagnol des champs, *Microtus arvalis*, en Vendée. *Annales de Zoologie et Ecologie Animale*, 6, 259-312.
- STALDER L., POTTER C.A., BARBEN E., 1972. The use of herbicides and soil management in commercial fruit growing. *Obstbau Weinbau*, 9 (3), 88-90.
- STRECHT A., 1996. Birds and pests of apples. *Agricoltura Biologica*, 3 (9), 46-49.
- SULLIVAN T.P., HOGUE E.J., 1987. Influence of orchard floor management on vole and pocket gopher populations and damage in apple orchards. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112 (6), 972-977.
- SULLIVAN T. P., KREBS J.A., KLUGE H.A., 1987. Survey of mammal damage to tree fruit orchards in the Okanagan Valley of British Columbia. *Northwest Science*, 61, 23-31.
- SULLIVAN T.P., CRUMP D.R., SULLIVAN D.S., 1988. Use of predator odors as repellents to reduce feeding damage by herbivores. IV Northern Pockets Gophers (*Thomomys talpoides*). *Journal of Chemical Ecology*, 14 (1), 379-389.
- SULLIVAN T.P., SULLIVAN D.S., HOGUE E.J., LAUTENSCHLAGER R.A., WAGNER R.G., 1998. Population dynamics of small mammals in relation to vegetation management in orchard agroecosystems : compensatory responses in abundance and biomass. *Crop Protection*, 17 (1), 1-11.
- SWIHART R.K., CONOVER M.R. 1988. Strategies for reducing wildlife damage in orchards. *Bulletin Connecticut Agricultural Experiment Station*, 14 p.
- TEIVAINEN T., KANANEN A., KUHLMAN E., 1981. Water vole (*Arvicola terrestris*) damage in Scots pine seed orchards in central Finland during 1979/80. *Folia Forestalia*, Institutum Forestale Fenniae. 492, 17 p.

- THOMAS D.B., 1993. Survivorship of the pupal stages of the Mexican fruit fly *Anastrepha ludens* (Loew) (Diptera: Tephritidae) in an agricultural and a non agricultural situation. *Journal of Entomological Science*, 28 (4), 350-362.
- VON KRUGER F., 1996. Cuttings for the prognosis of abundance and damage caused by epigaeically feeding voles (*Microtinae*), an alternative to trapping. *Anzeiger für Schadlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz*, 69 (6), 130-135.
- WALTHER B., MALEVEZ J., PELZ H.J., 2007. Effect of moles (*Talpa europea*) on drift fences used to prevent vole damage in organic fruit-growing. *Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. <http://orgprints.org/9624/>.
- WHISSON D. A., ENGEMAN R.M., COLLINS K., 2005. Developing relative abundance techniques (RATs) for monitoring rodent populations. *Wildlife Research*, 32 (3), 239-244.
- WIELAND H., 1973. Problems and possible measures to control the large ground vole (*Arvicola terrestris*). *Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR*, 27 (1), 18-21.
- WILLIS D.W., 1981. Controlling pocket gophers. *Pest Control*, 18-23.
- WOLFF J.O., FOX T., SKILLEN R.R., WANG G., 1999. The effects of supplemental perch sites on avian predation and demography of vole population. *Canadian Journal of Zoology*, 77 (4), 535-541.
- WYSOLMERSKI J.C., BYERS R.E., CUMMINS J.N., 1980. Laboratory evaluation of some *Malus* clones for susceptibility to girdling by pine voles. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105 (5) 675-677.