
Modéliser et représenter la vulnérabilité paysagère dans un contexte épidémiologique : les hôtes intermédiaires d'*Echinococcus multilocularis*.

Florian Tolle¹, Francis Raoul², François Pierre Tourneux¹

¹ *ThéMA UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté, 32 rue Mégevand, 25030 Besançon cedex.*

florian.tolle@univ-fcomte.fr; francois.tourneux@univ-fcomte.fr

² *Biologie environnementale EA3184 usc INRA, Université de Franche-Comté, Besançon.*

francis.raoul@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ. *L'échinococcose alvéolaire est une maladie grave causée par l'ingestion accidentelle d'œufs d'Echinococcus multilocularis (Em) par l'homme. Le cycle parasitaire repose sur la prédation des renards, hôtes définitifs, sur les rongeurs, hôtes intermédiaires du parasite. L'intégration spatiale d'hypothèses écologiques et paysagères nous a conduit à élaborer, sur SIG, un indice de présence potentielle de 11 espèces de rongeurs impliquées dans le cycle de vie d'Em. Cet indice est issu du croisement de données de répartition des espèces de rongeurs et de données d'occupation du sol. Dans un second temps, ces indices ont été compilés en intégrant plusieurs facteurs épidémiologiques connus comme jouant un rôle dans le cycle de transmission. Le caractère opportuniste de la prédation du renard a été abordé en identifiant les espèces d'hôtes intermédiaires dominantes dans le paysage. Cette démarche constitue une première étape dans la spatialisation de la vulnérabilité paysagère liée à l'échinococcose alvéolaire à l'échelle de la France.*

ABSTRACT. *Alveolar echinococcosis is caused by accidental ingestion of Echinococcus multilocularis eggs by humans. The parasite's life cycle is dependent on definitive hosts, mainly foxes, and intermediate hosts, usually small mammals. Landscape and ecological hypothesis were integrated in a GIS to provide an index of potential presence for 11 small mammals species known as putative hosts. This index is based on the species extension and on land use data. Epidemiological factors were introduced in the model to reflect the importance of each species in the parasite's transmission cycle. The predation preferences of foxes were also taken into account in the final model. This constitutes the first step in the representation of landscape vulnerability in France.*

MOTS-CLÉS : *Ecologie du paysage, vulnérabilité paysagère, épidémiologie spatiale, Echinococcus multilocularis, SIG.*

KEYWORDS: *Landscape ecology, vulnerability, epidemiology, Echinococcus multilocularis, GIS.*

1. Introduction

L'échinococcose alvéolaire, maladie grave causée par les œufs du ténia échinocoque *Echinococcus multilocularis*, est une maladie considérée comme émergente bien qu'elle soit connue de longue date (Eckert et *al.*, 2000). Un vaste réseau d'épidémiosurveillance du parasite responsable de cette zoonose s'est mis en place en France (partenariat Université de Franche-Comté, ERZ, AFSSA) où plusieurs zones d'endémie sont connues. La nature même du cycle de vie du parasite, qui nécessite deux hôtes distincts et comporte un stade libre dans l'environnement, rend complexe l'appréhension des caractéristiques épidémiologiques du cycle parasitaire et des risques qui y sont associés. La compréhension des facteurs de dispersion de l'agent pathogène dans l'environnement peut amener à définir un risque présumé de contamination humaine.

Pour ce faire, il est crucial de décrire précisément les composantes du cycle naturel du parasite. En effet, c'est la présence conjointe d'hôtes intermédiaires, d'hôtes définitifs et de conditions favorables à la survie du stade libre du parasite qui contraint la dispersion du parasite et, partant, le risque épidémiologique. L'hypothèse sous-jacente à ce raisonnement est celle du rôle du contexte paysager sur la présence et les interactions entre les hôtes. Selon cette hypothèse, il serait possible d'identifier des paysages à risques dans la persistance du cycle parasitaire et dans la transmission d'*Echinococcus multilocularis* à l'homme et aux hôtes. La situation épidémiologique en France n'est pour l'heure que partiellement connue. Certaines zones d'endémie du nord-est de la France et du Massif Central ont fait l'objet de multiples travaux (Pétavy et *al.*, 1984 ; Aubert et *al.*, 1987). Toutefois, les premières données collectées dans le cadre du programme français semblent indiquer une extension de la distribution d'*E. multilocularis* en dehors des zones connues. La connaissance du contexte épidémiologique dans ces zones constitue un enjeu important dans la veille sanitaire sur la maladie.

Ce sont les micromammifères, hôtes intermédiaires du parasite, qui ont fait l'objet d'une description spatiale en fonction de leurs habitats de prédilection. Plusieurs travaux ont démontré l'influence du paysage sur les dynamiques de population de ces hôtes et notamment sur celles du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*) (Duhamel et *al.*, 2000 ; Giraudoux et *al.*, 1997). Delattre et *al.* (1992) ont exploré le rôle du paysage sur les dynamiques du Campagnol des champs (*Microtus arvalis*). Delattre et *al.* (1999) ont également établi un lien entre paysages prairiaux et pullulations de *M. arvalis*. Dans leurs travaux, Millan de la Pena et *al.* (2003) ont repris l'hypothèse selon laquelle les communautés de rongeurs sont influencées par le contexte paysager (Perault et Lomolino, 2000 ; Raoul et *al.*, 2001). Les auteurs ont mis en regard la composition de douze paysages tests avec les espèces de micromammifères présentes. Dans le cas précis du cycle de transmission d'*E. multilocularis*, Giraudoux et *al.* (2003) postulent que la composition du paysage contraint les dynamiques de populations de rongeurs et, par incidence, les relations

proie-prédateur, pouvant ainsi avoir une influence sur les éventuelles interactions hôte-parasite qui dépendent de ces relations. Pleydell et *al.* (2004) poursuivent ce raisonnement en définissant des paysages présumés favorables à la persistance du cycle et qui seraient caractérisés par une abondance d'habitats optimaux pour les rongeurs.

Il semble important de ne pas restreindre l'étude des hôtes intermédiaires du parasite aux seuls rongeurs reconnus comme favorables au cycle. Les dynamiques de transmission propres à une région, et aux hôtes qui y sont présents, sont variables. Giraudoux et *al.* (in press) ont ainsi constaté qu'en Chine, une grande diversité d'hôtes contribue au cycle parasitaire d'*E. multilocularis*. De même, sur l'île d'Hokkaido au Japon, Konno et *al.* (2003) confirment que *Clethrionomys rufocanus* est l'hôte intermédiaire le plus important pour le cycle du parasite. Cette espèce est fréquente à la fois dans les zones ouvertes et dans les zones boisées. Ces exemples contrastent avec l'importance reconnue d'*A. terrestris* et de *M. arvalis* en zone d'endémie en France.

Dans leurs travaux publiés en 1996, Giraudoux et *al.* rappellent que la majeure partie des rongeurs sont susceptibles d'être physiologiquement capables de constituer des hôtes intermédiaires pour *E. multilocularis* (Rausch, 1986 ; Romig et *al.*, 1999). Les premiers résultats du programme français semblent indiquer une présence parasitaire beaucoup plus étendue que ce qui était connu jusqu'alors. Il semble donc que des phénomènes épidémiologiques sont susceptibles d'intervenir dans des contextes écologiques et paysagers qui diffèrent de ceux classiquement connus en zone de haute endémie. On ne peut exclure l'éventualité du rôle d'espèces autres que *M. arvalis* et *A. terrestris*. Selon Giraudoux et *al.* (2003), plus de 40 espèces de rongeurs sont susceptibles d'héberger le parasite (Thompson et Limbery, 1995), bien que les prévalences chez la plupart de ces espèces sont souvent très faibles (<1%) (Roberts et Aubert, 1995). Viel et *al.* (1999) rapportent que six espèces de micromammifères ont été trouvées infectées par *E. multilocularis* en France : *Microtus arvalis*, *Microtus subterraneus*, *Clethrionomys glareolus*, *Arvicola terrestris*, *Ondatra zibethicus* (Rat musqué) et *Mus musculus* (Souris domestique). Giraudoux et *al.* signalent également *Microtus agrestis* comme ayant été trouvé infecté.

En nous appuyant sur les données d'occupation du sol et les connaissances biologiques et écologiques, nous avons cherché à générer un indice reflétant le caractère favorable du paysage en fonction des connaissances établies sur l'utilisation de l'espace par les espèces d'hôtes intermédiaires. Dans un souci d'exhaustivité, nous avons conduit cette démarche sur onze espèces de la sous-famille des Arvicolinés. Seuls les très rares Campagnol de Savi et Campagnol des neiges ont été laissés hors de l'étude, ainsi que la Souris domestique (*Mus musculus*). Dans un premier temps, nous avons cherché à cartographier la répartition spatiale des paysages propices à chaque espèce. Le second objectif de la démarche a visé à identifier les principales communautés de campagnols. En outre, nous avons

4 SAGEO'2005

cherché à faire ressortir les espèces les plus fréquentes dans le paysage local de manière à intégrer l'opportunisme alimentaire des renards.

2. Matériel et méthodes

Les onze espèces ayant fait l'objet de cette démarche sont : le Campagnol amphibie (*Arvicola sapidus*), le Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*), le Campagnol des champs (*Microtus arvalis*), le Campagnol agreste (*Microtus agrestis*), le Campagnol souterrain (*Microtus subterraneus*), le Campagnol de Fatio (*Microtus multiplex*), le Campagnol de Gerbe (*Microtus gerbei*), le Campagnol basque (*Microtus lusitanicus*), le Campagnol provençal (*Microtus duodecimcostatus*), le Campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) et le Rat musqué (*Ondatra zibethicus*).

Des cartes de répartition de ces espèces existent. Nous nous sommes basés sur les cartes disponibles dans l'ouvrage de Le Louarn et Quéré (2003), *Les Rongeurs de France*. Dans un premier temps, il a été nécessaire de convertir ces cartes en données utilisables en SIG. Pour ce faire, nous avons évalué la taille de maille du quadrillage utilisé par Le Louarn et Quéré à approximativement 50 kilomètres. Nous avons généré une grille de points espacés de 50 kilomètres couvrant la totalité du territoire français. Pour chaque point de présence du Campagnol d'intérêt, la table attributaire de la grille a été renseignée en 1 (présence du campagnol) ou en 0 (absence du campagnol). Une fois ce travail effectué, une conversion de la grille de points en un raster de 50 kilomètres de résolution nous a permis d'obtenir une couche thématique correspondant à la répartition spatiale du campagnol. L'application d'un masque des frontières françaises vient achever le processus. Cette démarche a été appliquée à chacune des onze espèces.

La répartition générale des onze espèces étant intégrée sur SIG, nous avons procédé à l'intégration des variables paysagères propices à chacune d'elle. Pour cela, il a fallu établir, en nous basant à nouveau sur l'ouvrage de Le Louarn et Quéré, les types d'habitat fréquentés par chaque espèce. Pour chacune, le tableau 1 fait la synthèse des habitats favorables et des variables paysagères qui ont été retenues dans l'analyse.

Espèce	Habitats favorables	Variables paysagères retenues (Tableau 1)
Campagnol amphibie	Eaux douces stagnantes	Proximité des zones humides (0-1000 m)
Campagnol terrestre	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol des champs	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol agreste	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol souterrain	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol de Fatio	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol de Gerbe	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol basque	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol provençal	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Campagnol roussâtre	Forêts, champs, milieux ouverts	Proximité des zones humides (0-1000 m), Proximité des zones boisées (0-1000 m), Proximité des zones agricoles (0-1000 m)
Rat musqué	Eaux douces stagnantes	Proximité des zones humides (0-1000 m)

Tableau 1. Habitats favorables aux espèces d'Arvicolinés et variables paysagères utilisées dans la modélisation

Les variables paysagères ont été calculées d'après la base de données d'occupation du sol européenne Corine Land Cover (Commission of the European Communities, 1992). Le ratio de chaque variable a été calculé dans un rayon de 1,5 kilomètres par fenêtre mobile sur la totalité de l'espace. La valeur du rayon a été choisie de manière à ne représenter que les caractéristiques locales du paysage. L'hypothèse qui sous-tend ce choix est celle d'une utilisation du paysage par les campagnols sur des espaces très restreints. La combinaison des variables paysagères a permis d'élaborer un indice propre à chaque espèce. Cet indice a bien entendu été restreint à la zone de répartition connue de l'espèce élaborée à l'étape précédente. Deux espèces ont nécessité la mise en place d'un protocole particulier. En effet, la répartition du Campagnol amphibie et du Rat musqué est liée aux cours et aux plans d'eau. Nous avons donc eu recours à une couche vectorielle du réseau hydrographique français dérivée d'après la base Route 500 de l'IGN. Les plans d'eau ont été extraits de Corine Land Cover en format vecteur également. L'application d'une zone tampon à ces deux couches nous a ensuite permis d'élaborer un indice pour ces deux espèces, selon un protocole proche de celui utilisé pour les autres campagnols. L'une ou l'autre de ces démarches a été appliquée à chacune des onze espèces (figure 1).

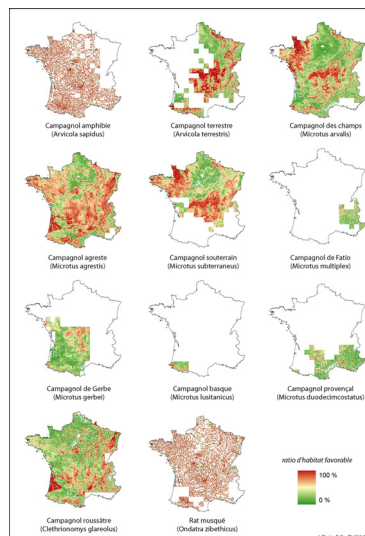


Figure 1. Les 11 indices de présence potentielle des espèces d'intérêt

3. Résultats

La constitution d'indices spécifiques à chaque espèce a constitué une première étape importante dans le processus de compréhension de l'établissement des relations proies-prédateurs. Ces relations conditionnent la transmission du parasite par la chasse exercée par les renards (hôtes définitifs) sur les rongeurs (hôtes intermédiaires potentiels). Nous avons cherché à approfondir cette approche.

L'idée de « richesse » d'habitat en tout point de l'espace peut aisément être obtenue en additionnant les onze couches thématiques des espèces et en divisant le total par onze. Ce simple exercice d'algèbre de carte donne un aperçu des zones au sein desquelles le paysage est favorable aux campagnols en général. Le résultat exprime la capacité de l'espace à héberger plusieurs espèces de campagnols : c'est la richesse en espèces qui est représentée. Toutefois, cette approche n'offre pas d'éclairage particulier sur les relations écologiques entre les rongeurs et leurs prédateurs, phénomènes qui jouent un grand rôle dans la transmission du parasite.

Pour aller plus loin, nous avons donc cherché à intégrer les connaissances disponibles sur les facteurs qui influencent ces phénomènes. Ainsi, les préférences de prédation des renards ont leur importance. L'abondance d'une espèce importe peu si elle n'est pas consommée par les renards. Le plus ou moins grand succès de chasse des renards joue aussi un rôle. Les rongeurs forestiers sont connus comme difficiles à chasser car peu accessibles. Enfin, les densités moyennes de campagnols sont susceptibles d'influer sur la prédation. Ici, l'hypothèse est que les campagnols les plus rares seront moins régulièrement chassés que ceux qui connaissent des populations plus importantes, même si celles-ci revêtent un caractère épisodique. Ces divers facteurs nous ont conduit à attribuer à chaque espèce de l'étude un coefficient de pondération visant à refléter la plus ou moins grande éventualité, pour chaque espèce, d'intervenir dans le cycle parasitaire d'*E. multilocularis*.

L'application de ces coefficients aux couches de chaque espèce nous a permis de calculer un indice de présence présumée d'espèces présentes fortement dans le paysage, susceptibles d'être chassées par le renard, et donc susceptibles de contribuer au cycle parasitaire. La figure 2 représente cet indice. On constate sur cette carte un effet de calque qui lui confère son aspect carré par endroits. Cet effet n'affecte pas la dynamique générale qui est maintenue. L'observation de cette carte révèle un fort potentiel de présence de rongeurs dans le Massif Central, dans le nord-est de la France, et dans les pyrénées. Les deux premières régions mentionnées ici sont classiquement reconnues comme des zones d'endémie d'*E. multilocularis*. Pour continuer dans notre logique d'identification des potentiels locaux de prédation des renards, l'identification systématique des espèces dominantes dans le paysage a été réalisée. L'objectif de cette opération est d'intégrer le caractère opportuniste du renard qui consommera plus intensément les espèces les plus présentes, les autres paramètres liés à la chasse venant d'être intégrés dans l'étape précédente.

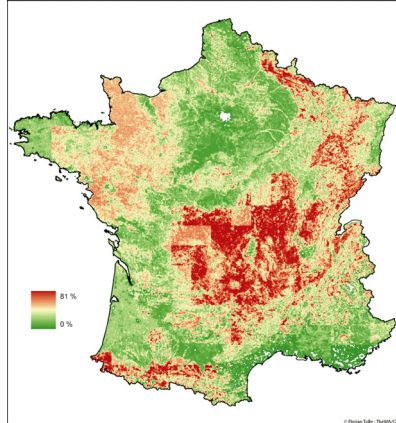


Figure 2. Indice de présence présumée d'espèces de rongeurs favorables au cycle de transmission d'*E. multilocularis*

En SIG, une fonction permet d'obtenir le rang d'une couche thématique par rapport aux autres couches. Cette fonction permet donc d'identifier les pixels pour lesquels les valeurs de la couche focale sont les plus élevées par rapport aux autres couches. Sur les pixels ainsi identifiés, la couche focale possède la valeur la plus élevée. Nous avons procédé de manière systématique, sur la France, à l'identification, parmi les onze espèces, des trois espèces ayant l'indice le plus fort. Ce processus renseigne donc sur les trois espèces présumées les plus courantes en chaque point de l'espace. Pour chaque espèce, trois couches thématiques sont issues de ce processus de classement selon que sa présence est supposée tenir le premier, le deuxième ou le troisième rang par rapport aux autres espèces. Nous avons procédé à l'addition de ces trois couches pour ne garder comme information que la présence attendue en proportions notables de l'espèce.

Ce protocole visait à l'identification des espèces de rongeurs présumées dominantes dans le paysage, en fonction des habitats disponibles et intégrant à la fois les caractéristiques écologiques liées à la prédation des renards, et les caractéristiques épidémiologiques liées à *E. multilocularis*. Dans l'objectif de dresser une cartographie efficace de ce protocole, nous avons procédé à une ultime étape pour obtenir une représentation synthétique des communautés de campagnols présumés dominants dans le paysage.

Nous avons à notre disposition onze couches binaires représentant les zones où chaque espèce a été identifiée comme présumée présente et localement dominante par rapport aux autres espèces. L'extraction automatique des divers assemblages d'espèces dominantes a été conduite en attribuant, à chaque couche correspondant à une espèce, une valeur entière unique. Le choix de ces valeurs a été soigneusement défini pour que chaque combinaison possible des onze espèces n'aboutisse, par

multiplication, qu'à une valeur unique. En appliquant ce principe, il est possible de connaître les couches ayant contribué à la valeur de sortie, et donc les espèces fortement présentes simultanément. Le calcul final a donc consisté en la multiplication des onze couches thématiques, et la couche de sortie offre une lecture interprétable des différentes communautés de rongeurs attendues en France.

La couche issue de ce produit a logiquement révélé un grand nombre d'assemblages d'espèces. Nous avons limité l'interprétation de ces assemblages à ceux qui s'appliquent à plus de 15 000 pixels, ce qui correspond, pour la France, à une superficie minimale de 937,5 km². A l'issue de cette première sélection, 19 assemblages d'espèces de rongeurs couvrent une grande partie du territoire et la majorité de la zone d'étude actuelle du programme français. La figure 3 est le résultat de cette dernière étape. Pour une plus grande clarté, la légende est rappelée dans le tableau 2.

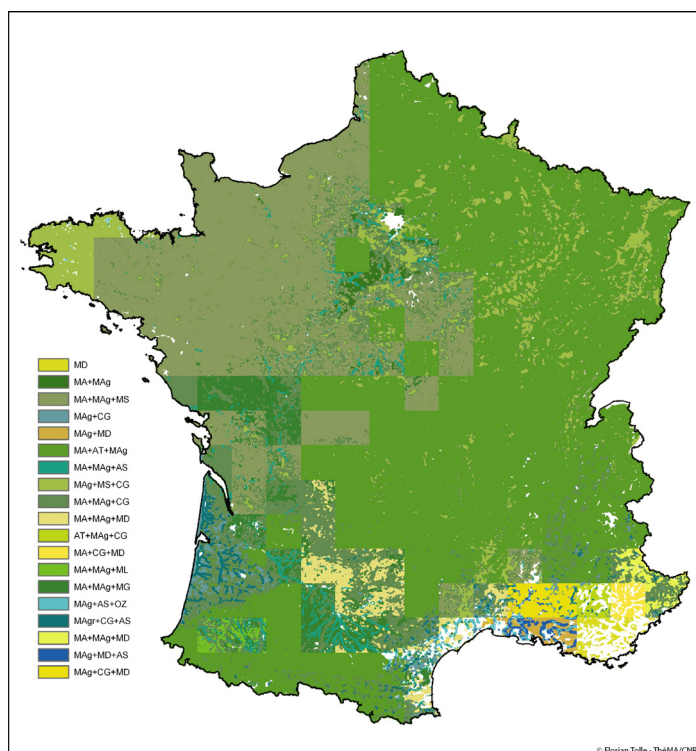


Figure 3. Les assemblages d'espèces de rongeurs en France

MD	Microtus duodecimcostatus Campagnol provençal
MA+MAg	Microtus arvalis et Microtus agrestis Campagnol des champs et Campagnol agreste
MA+MAg+MS	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Microtus subterraneus Campagnol des champs, Campagnol agreste et Campagnol souterrain
MAg+CG	Microtus agrestis et Clethrionomys glareolus Campagnol agreste et Campagnol roussâtre
MAg+MD	Microtus agrestis et Microtus duodecimcostatus Campagnol agreste et Campagnol provençal
MA+AT+MAg	Microtus arvalis, Arvicola terrestris et Microtus agrestis Campagnol des champs, Campagnol terrestre et Campagnol agreste
MA+MAg+AS	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Arvicola sapidus Campagnol des champs, Campagnol agreste et Arvicola amphibie
MAg+MS+CG	Microtus agrestis, Microtus subterraneus et Clethrionomys glareolus Campagnol agreste, Campagnol souterrain et Campagnol roussâtre
MA+MAg+CG	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Clethrionomys glareolus Campagnol des champs, Campagnol agreste et Campagnol roussâtre
MA+MAg+MD	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Microtus duodecimcostatus Campagnol des champs, Campagnol agreste et Campagnol provençal
AT+MAg+CG	Arvicola terrestris, Microtus agrestis et Clethrionomys glareolus Campagnol terrestre, Campagnol agreste et Campagnol roussâtre
MA+CG+MD	Microtus arvalis, Clethrionomys glareolus et Microtus duodecimcostatus Campagnol des champs, Campagnol roussâtre et Campagnol provençal
MA+MAg+ML	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Microtus lusitanicus Campagnol des champs, Campagnol agreste et Campagnol basque
MA+MAg+MG	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Microtus gerbei Campagnol des champs, Campagnol agreste et Campagnol de Gerbe
MAg+AS+OZ	Microtus agrestis, Arvicola sapidus et Ondatra zibethicus Campagnol agreste, Campagnol amphibie et Rat musqué
MAg+CG+AS	Microtus agrestis, Clethrionomys glareolus et Arvicola sapidus Campagnol agreste, Campagnol roussâtre et Campagnol amphibie
MA+MAg+MD	Microtus arvalis, Microtus agrestis et Microtus duodecimcostatus Campagnol des champs, Campagnol agreste et Campagnol provençal
MAg+MD+AS	Microtus agrestis et Microtus duodecimcostatus Campagnol agreste et Campagnol provençal et Campagnol amphibie
MAg+CG+MD	Microtus agrestis, Clethrionomys glareolus et Microtus duodecimcostatus Campagnol agreste, Campagnol roussâtre et Campagnol provençal

Tableau 2. Les assemblages d'espèces de rongeurs en France (légende de la fig. 3)

4. Discussion

Nous avons cherché à valider notre démarche en intégrant des données de régimes alimentaires de renards issues de publications. La zone d'étude des travaux d'Artois et Stahl (1987) est centrée sur la commune de Barisey-la-Côte (Meurthe-et-Moselle). Les auteurs y ont identifié le Campagnol terrestre, le Campagnol des champs, le Campagnol agreste et le Campagnol roussâtre. Le régime alimentaire des renards fait état d'une consommation d'espèces du genre *Microtus* (sans distinction), d'*A. terrestris* (Campagnol terrestre) et de *C. glareolus* (Campagnol roussâtre). Les assemblages, issus de notre approche, identifiés sur la zone sont l'assemblage Campagnol terrestre, Campagnol des champs et Campagnol agreste pour la zone non boisée, et l'assemblage Campagnol roussâtre, Campagnol agreste et Campagnol souterrain pour la zone boisée. La concordance est satisfaisante et le renard ne semble consommer que des espèces identifiées comme présentes de manière importante. D'autres études de régime alimentaire de renard ont été menées en Franche-Comté par Raoul (2001b). L'exemple de la commune d'Amancey révèle une prédation importante sur le Campagnol terrestre et sur les espèces du genre *Microtus*. L'assemblage identifié sur cette commune est composé de Campagnol terrestre, de Campagnol des champs et de Campagnol agreste. Là encore, la caractérisation semble adaptée. Un plus grand nombre de régions de contrôle serait

néanmoins nécessaire à une validation plus poussée de notre démarche. Ces exemples semblent cependant confirmer la consistance de l'approche et son intérêt.

La carte de la figure 3 appelle des commentaires. Tout d'abord, il est frappant de constater qu'un nombre relativement faible d'assemblages d'espèces permet de couvrir une grande partie du territoire français. Comme on pouvait s'y attendre étant donné le protocole de constitution de cette carte, *M. arvalis* et *A. terrestris* sont fortement représentés dans le nord et l'est de la France mais aussi dans les Pyrénées, ce qui était peut-être moins attendu. Dans le nord-ouest du pays, c'est *M. arvalis* qui semble, en l'absence d'*A. terrestris*, le plus largement répandu. Enfin le sud-ouest et le sud-est de la France présentent des assemblages plus originaux et montrent une grande diversité dans les espèces dominantes localement.

L'atout principal de cette carte réside dans le fait qu'elle ne fait pas apparaître les densités pures de rongeurs, mais elle donne une interprétation graphique des espèces dominantes dans le paysage, indépendamment de leur densité. Pratiquement, cela signifie que dans un paysage globalement peu propice aux campagnols, notre carte permet d'identifier les espèces les plus représentées. Ainsi, des espèces comme *M. arvalis* et *A. terrestris*, dont le rôle dans le cycle d'*E. multilocularis* est reconnu, peuvent être les plus représentées dans des contextes où le paysage ne leur est pas clairement favorable. Ce raisonnement s'inscrit dans l'idée de l'existence potentielle de foyers localisés au sein desquels la prédation des renards s'exerce préférentiellement sur quelques espèces, et où le cycle est actif. Les assemblages identifiés pourront être utilisés comme variables explicatives et inclus dans les analyses réalisées sur les données collectées sur le terrain dans le cadre du programme d'épidémiosurveillance français.

5. Conclusion

Nous sommes entrés ici dans une tentative d'intégration spatiale d'hypothèses écologiques et paysagères. Les premiers résultats du programme français nous ont incité à définir de nouveaux indices, dans le but de dresser un bilan plus exhaustif des hôtes intermédiaires disponibles à la prédation par les renards, hôtes définitifs, à l'échelle de la France. Cette approche nous a conduit à identifier des assemblages d'espèces dominantes dans le paysage, données supposées importantes pour l'établissement du cycle parasite et pour les dynamiques de transmission d'*E. multilocularis*.

Remerciements

Patrick Giraudoux du laboratoire de Biologie environnementale. Benoit Combes, Deborah Gottscheck, Stéphanie Favier et Frantz Catarelli de l'ERZ (Entente interdépartementale de lutte contre la Rage et autres Zoonoses). Denis Augot et

Franck Boué de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments).
Projet soutenu par le contrat Européen "Eurechinorisk" QLK-2-CT-2001-01995
"Risk assessment and prevention of Alveolar Echinococcosis".

6. Bibliographie

- Artois M. et Stahl P. « Absence of dietary response in the fox (*Vulpes vulpes*) to variations in the abundance of rodents in Lorraine » In Transactions of the XVIIIth Congress of the international union of game biologists, Krakow, 1987.
- Aubert M., Jacquier P., Artois M., Barrat J.M. et Basile A.M. « Le portage d'*Echinococcus multilocularis* par le renard (*Vulpes vulpes*) en Lorraine. Conséquences sur la contamination humaine » *Recueil médical et vétérinaire*, 163(10), 1987, p. 839-843.
- Commission of the European Communities *CORINE Land Cover Project – Technical Guide*. EUR 12585. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1992.
- Delattre P., Giraudoux P., Baudry J., Musard P., Toussaint M., Truchetet D., Stahl P., Poule M.L., Artois M., Damange J.P., et Quéré J.P. « Land use patterns and types of common vole (*Microtus arvalis*) population kinetics » *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 39, 1992, p. 153-169.
- Delattre P., De Sousa B., Fichet-Calvet E., Quéré J.-P. et Giraudoux P. « Vole outbreaks in a landscape context: evidence from a six year study of *Microtus arvalis* » *Landscape ecology*, 14, 1999, p. 401-412.
- Duhamel R., Quéré J.-P., Delattre P. et Giraudoux P. « Landscape effects on the population dynamics of the fossorial form of the water vole (*Arvicola terrestris sherman*) » *Landscape ecology*, 15, 2000, p. 89-98.
- Eckert J., Conraths F.J. et Tackmann K. « Echinococcosis: an emerging or re-emerging zoonosis? » *International Journal for Parasitology*, 30, 2000, p. 1283-1294.
- Giraudoux P., Vuitton D.A., Bresson-Hadni S., Craig P., Bartholomot B., Barnish G., Laplante J.J., Zhong S.D., Wang Y.H. et Lenys D., « Mass screening and epidemiology of Alveolar echinococcosis in France, Western Europe, and in Gansu, Central China: from epidemiology towards transmission ecology. In: J. Ito et N. Sato (eds.), Alveolar echinococcosis: strategy for eradication of alveolar echinococcosis of the liver, Fuji Shoin, Sapporo 060, Japan, 1996, p. 197-211.
- Giraudoux P., Delattre P., Habert M., Quéré J.P., Deblay S., Defaut R., Duhamel R., Moissenet M.F., Salvi D. et Truchetet D. « Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris scherman*): a land usage and landscape perspective » *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 66, 1997, p. 47-60.
- Giraudoux P., Craig P.S., Delattre P., Bao G., Bartholomot B., Harraga S., Quéré J.P., Raoul F., Wang Y., Shi D. et Vuitton D.A. « Interactions between landscape changes and host communities can regulate *Echinococcus multilocularis* transmission » *Parasitology*, 127, 2003, p. 121-131.

- Giraudoux P., Pleydell D., Raoul F., Quéré J.-P., Wang Q., Yang Y., Vuitton D., Qiu J., Yang W. et Craig P.S. « Transmission ecology of *Echinococcus multilocularis*: what are the ranges of parasite stability among various host communities in China? » *Parasitology International*, In press.
- Konno K., Oku Y. et Tamashiro H. « Prevention of alveolar echinococcosis – Ecosystem and risk management perspectives in Japan » *Acta tropica*, 89, 2006, p. 33-40.
- Le Louarn H. et Quéré J.P. *Les rongeurs de France. Faunistique et biologie*, INRA, Paris, 2003, 260 p.
- Millan de la Pena N., Butet A., Delettre Y., Paillat G., Morant P., Le Du L. et Burel F. « Response of small mammal community to changes in western French agricultural landscapes » *Landscape ecology*, 18, 2003, p. 265-278.
- Perault D.R. et Lomolino M.V. « Corridors and mammal community structure across a fragmented, old-growth forest landscape » *Ecological monographs*, 70, 2000, p. 401-422.
- Pétavy A.F., Deblock S. et Gilot B. « Mise en évidence de la larve du Ténia multiloculaire chez deux campagnols (*Microtus arvalis* et *Clethrionomys glareolus*) dans le foyer d'échinococcose alvéolaire du Massif Central (France) » *Acad. Sci. Paris*, 299, 1984, p. 735-737.
- Pleydell D.R.J., Raoul F., Tourneux F., Danson F.M., Graham A.J., Craig P.S. et Giraudoux P. « Modelling the spatial distribution of *Echinococcus multilocularis* infection in foxes » *Acta tropica*, 91, 2004, p. 253-265.
- Raoul F., Defaut R., Michelat D., Montadert M., Pepin D., Quéré J.P., Tissot B., Delattre P., Giraudoux P. « Landscape effects on the population dynamics of small mammal communities: a preliminary analysis of prey-resources variations » *Revue d'Ecologie – La Terre et la Vie*, 56, 2001, p. 339-352.
- Raoul F. *Ecologie de la transmission d'Echinococcus multilocularis chez le renard dans l'Est de la France : dépendance au paysage et relation proie-prédateur*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon, 2001b.
- Rausch R.L. « Life-cycle patterns and geographic distribution of Echinococcus species » In R.C.A. Thompson (Eds.) *The biology of Echinococcus and hydatid disease*, Georges Allen and Unwin, London, 1986, p. 44-80.
- Roberts M.G. et Aubert M.F.A. « A model for the control of *Echinococcus multilocularis* in France », *Veterinary Parasitology*, 56, 1995, p. 67-74.
- Romig T., Bilger B., Dinkel A., Merli M. et Mackenstedt U. « *Echinococcus multilocularis* in animal hosts: new data from western Europe » *Helminthologia*, 36 (3), 1999, p. 185-191.
- Thompson R.C.A. et Lymbery A.J. (eds.), *Echinococcus and hydatid disease*, CAB International, Wallingford, Oxford, 1995.
- Viel J.F., Giraudoux P., Arbial V. et Bresson-Hadni S. « Water vole (*Arvicola terrestris*) density as risk factor for human alveolar echinococcosis », *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 61(4), 1999, p. 559-565.