

## INTERACTIONS ENTRE SANGLIERS, BLAIREAUX ET BOVINS EN COTE-D'OR : QUELLE OPPORTUNITÉ POUR LA TRANSMISSION DE *MYCOBACTERIUM BOVIS* ? \*

Ariane Payne<sup>1,2</sup>, Lucile Millet<sup>3</sup>, Jean Hars<sup>1</sup>, Barbara Dufour<sup>4</sup> et Emmanuelle Gilot-Fromont<sup>2</sup>

### RÉSUMÉ

La Côte-d'Or connaît une recrudescence de la tuberculose bovine qui circule au sein d'un système multi-hôtes impliquant des espèces sauvages notamment blaireaux et sangliers qui peuvent constituer un réservoir de l'infection et entraver l'assainissement des cheptels. Un suivi télémétrique de 10 blaireaux et 11 sangliers a été entrepris en zone infectée entre août 2011 et décembre 2012 afin de quantifier les contacts indirects entre ces individus et les bovins, pouvant conduire à la transmission interspécifique de *M. bovis*. Pour chaque animal suivi, le nombre de localisations par nuit dans les pâtures et la surface des pâtures incluse dans le domaine vital par mois ont été calculés. Les résultats montrent une variabilité importante qui a été analysée par des modèles linéaires généralisés mixtes en testant l'effet de différentes variables. Ainsi, la distance entre le terrier et la pâture pour le blaireau et la proportion de pâture disponible pour le sanglier sont des facteurs déterminants de l'utilisation des pâtures. Chez le blaireau, le printemps est plus propice que les autres périodes à la fréquentation des pâtures et ce d'autant plus que les températures quotidiennes sont basses. Les sangliers utilisent les pâtures surtout en été et beaucoup moins en hiver sauf par temps doux et humide lorsque les lombrics sont facilement accessibles. Associés à la connaissance du taux d'infection, des conditions de rémanence de *M. bovis* dans l'environnement et aux densités des populations sauvages étudiées, ces résultats fournissent des éléments permettant de mieux évaluer le risque de transmission de la tuberculose bovine entre ces espèces sauvages et les bovins.

**Mots-clés :** *Mycobacterium bovis*, blaireau (*Meles meles*), sanglier (*Sus scrofa*), bovins, transmission.

### SUMMARY

France is officially free of bovine tuberculosis but the infection has been reported to re-occur in cattle and also in wildlife, especially in wild boars and badgers in some regions such as Côte-d'Or. Wild hosts may act as reservoirs and may thus hamper efforts being made to control the infection in livestock. To quantify the level of indirect contact between those wild species and cattle and better understand how transmission may occur, ten badgers and eleven wild boars were tracked in the infected area of Côte-d'Or between August 2011 and December 2012. For each individual, we computed the number of relocations in pastures per night and the area of pasture land covered in the home range per month. Then we analyzed how these estimators varied using generalized linear mixed models evaluating the impact of several variables.

.../..

\* Texte de la communication orale présentée au cours des Journées scientifiques AEEMA, 31 mai 2013

<sup>1</sup> Unité sanitaire de la faune, Direction des études et de la recherche, Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS), 38610 Gières, France

<sup>2</sup> Université Lyon 1; CNRS, UMR 5558 Laboratoire de biométrie et biologie évolutive, 69622 Villeurbanne Cedex, France

<sup>3</sup> Université de Bourgogne, UFR des sciences et de l'environnement, 21000 Dijon, France

<sup>4</sup> Unité EPIMAI, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort (ENVA), USC Anses, 94700 Maisons-Alfort, France

.../..

The distance between pastures and the sett for badgers and the availability of pasture for wild boars appeared to be important drivers for the use of pastures by these animals. Badgers preferred grassland in the spring compared to other seasons; this was particularly true when daily temperatures were low. Wild boars used pastures mostly in the summer and less in winter except when mild and wet weather made earthworms more accessible. These data give an insight into the risk of tuberculosis transmission between badgers, wild boars and cattle. *M. bovis* infection level, its persistence in the environment and the density of animal populations are needed to assess the risk of transmission between these two wild species and cattle in Côte-d'Or.

**Keywords:** *Mycobacterium bovis*, Badger (*Meles meles*), Wild boar (*Sus scrofa*), Cattle, Transmission.




---

## I - INTRODUCTION

---

La circulation de *M. bovis* au sein d'un système multi-hôtes complexe impliquant des populations sauvages complique le contrôle de l'infection et menace, voire empêche, l'assainissement des cheptels bovins [Philipps *et al.*, 2003 ; Corner, 2006]. Face à ces situations, il est nécessaire de connaître le rôle épidémiologique de ces différentes populations sauvages. Dans les îles britanniques, le blaireau a été identifié comme réservoir de la tuberculose bovine (TB), tandis qu'en Espagne, c'est le sanglier qui est considéré comme réservoir. En effet, dans les deux cas ces populations hôtes sont capables d'entretenir l'infection et de la retransmettre aux bovins [Bourne *et al.*, 2007 ; Murphy *et al.*, 2010 ; Naranjo *et al.*, 2008].

La France a acquis le statut indemne de tuberculose bovine en 2001. Cependant, depuis 2004, une recrudescence de l'infection est observée chez les bovins, et parallèlement, dans la faune sauvage, des cas groupés ont été détectés chez des cerfs (*Cervus elaphus*), des sangliers (*Sus scrofa*) et plus récemment chez des blaireaux (*Meles meles*) dans plusieurs départements, notamment en Côte-d'Or et en Dordogne [Hars *et al.*, 2012 ; Payne *et al.*, 2013].

En Côte-d'Or, 128 troupeaux de bovins ont été déclarés infectés entre 2002 et 2011 (source DGAI). On observe par ailleurs un nombre croissant de recontaminations, où des élevages ayant subi un abattage total ou partiel et une désinfection se recontaminent parfois à plusieurs reprises et dans un bref délai. Dans ce département, au sein de la

zone infectée, la prévalence de *M. bovis* entre 2004 et 2011 chez les sangliers s'élevait de 5 à 15 % selon les zones et les années. Chez le blaireau, elle est restée stable entre 2009 et 2011 à un niveau d'environ 5 à 6 %. Un seul cerf a été trouvé positif sur les 692 analysés entre 2004 et 2011. Bovins et espèces sauvages infectés partagent les mêmes souches de *M. bovis* et restent associés spatialement, attestant du lien épidémiologique qui existe entre les deux compartiments [Payne *et al.*, 2013]. Pourtant, le rôle épidémiologique des différentes populations sauvages impliquées est mal connu et, au vu des efforts entrepris dans la filière bovine pour contrôler l'infection, il est nécessaire d'améliorer les connaissances et notamment d'évaluer quels sont les risques de transmission de *M. bovis* entre les populations sauvages et domestiques.

Le niveau d'interaction entre ces deux compartiments est un facteur clé pour évaluer cette transmission car il conditionne les possibilités de contacts contaminants [Corner *et al.*, 2006]. Le blaireau est capable d'excréter *M. bovis* par les aérosols, l'urine et les fèces [Corner *et al.*, 2010]. En Espagne, le tableau lésionnel observé chez le sanglier est en faveur d'une excrétion par les aérosols, la salive et les fèces [Vicente *et al.*, 2007 ; Naranjo *et al.*, 2008]. Aux Etats-Unis, une étude expérimentale a montré que les cerfs de Virginie pouvaient transmettre *M. bovis* aux bovins sur des sites d'affouragement communs [Palmer *et al.*, 2004]. Les bovins, quant à eux, peuvent excréter *M. bovis* par les aérosols et dans les fèces même en

l'absence de lésions macroscopiques [Mc Corry *et al.*, 2005]. Des études ont montré que les contacts directs étaient rares entre blaireaux et bovins [Böhm *et al.*, 2009 ; Drewe *et al.*, 2013] comme entre sangliers et bovins [Cooper *et al.*, 2010]. La bactérie étant capable de survivre plusieurs mois dans l'environnement et jusqu'à six mois dans les bouses des vaches dans certaines conditions climatiques [Phillips *et al.*, 2003], la transmission interspécifique par contact indirect serait la plus probable via l'inhalation ou la consommation de substrats contaminés par des excréta.

Prendre la mesure du partage de l'habitat entre les espèces s'avère donc être un enjeu majeur pour l'évaluation du risque de transmission interspécifique. Le travail qui a été conduit avait comme objectif d'estimer le niveau de contact indirect entre les populations sauvages et les bovins en Côte-d'Or. Etant donné la faible prévalence observée à ce jour chez les cervidés dans ce département, nous avons focalisé notre étude sur les sangliers et les blaireaux.

Au moyen de suivis télémétriques, nous avons cherché à déterminer dans quelle mesure blaireaux et sangliers utilisaient les habitats des bovins, à savoir les pâtures, et quels facteurs influençaient cette utilisation. Dans les paysages bocagers et agropastoraux comme en Côte-d'Or, les domaines vitaux de ces espèces englobent le plus souvent des milieux ouverts et des milieux forestiers. La distribution de ces deux types d'habitats peut influencer l'utilisation des pâtures qui dépend également des saisons et de la richesse du milieu en ressources alimentaires [Kruuk *et al.*, 1979 ; Palphramand *et al.*, 2007 ; Do linh San, 2007 ; Calenge *et al.*, 2002 ; Welander, 2000]. Nous avons posé comme hypothèse que la composition du paysage local pouvait avoir un effet sur l'utilisation des pâtures par ces animaux sauvages. En particulier, nous avons supposé pour les blaireaux que plus le terrier serait proche des pâtures, plus celles-ci seraient utilisées par les individus de ce terrier. Chez les sangliers, nous avons supposé que la proportion de pâture disponible était positivement corrélée à leur utilisation. A l'inverse,

la disponibilité d'autres ressources alimentaires comme les cultures pourrait détourner les blaireaux et les sangliers de l'utilisation des pâtures. Les blaireaux connaissent un pic d'activité territoriale au début du printemps et en automne alors qu'ils ont une activité ralentie pendant les périodes les plus froides, ne sortant pas ou très peu de leur terrier lorsque les températures sont négatives [Roper, 2010 ; Kowalczyk *et al.*, 2003a]. A l'échelle des saisons, les sangliers modifient leurs déplacements et privilégient certains habitats en fonction des ressources alimentaires disponibles (glands, céréales) et de la chasse [Welander, 2000 ; Keuling *et al.*, 2009 ; Calenge *et al.*, 2002 ; Saïd *et al.*, 2012]. En outre, les sangliers sont sensibles aux fortes chaleurs et sont dépendants physiologiquement des points d'eau [Bracke, 2011]. Nous avons donc supposé que l'utilisation des pâtures pouvait varier au fil du temps en fonction du rythme d'activité des animaux, de la disponibilité alimentaire et de la chasse mais aussi de la température et de la pluviométrie, cette variabilité pouvant exister à l'échelle des saisons mais aussi d'un jour à l'autre pour les conditions météorologiques.

Les vers de terre constituent pour les deux espèces une des bases de leur régime alimentaire [Baubet *et al.*, 2003 ; Kruuk et Parish, 1981] ; or, la disponibilité des lombrics est variable selon les saisons mais aussi sur un pas de temps journalier selon les conditions météorologiques. Blaireaux et sangliers sont deux espèces opportunistes et privilégient leur consommation de lombrics quand ceux-ci sont les plus accessibles, à savoir par temps doux et humide [Baubet *et al.*, 2003 ; Kruuk, 1978]. Les pâtures sont des milieux riches en vers de terre [Kruuk et Parish, 1981]. Nous avons donc supposé que des conditions de température et de pluviométrie favorables à la remontée des lombrics à la surface des pâtures pourraient favoriser l'utilisation de celles-ci par les blaireaux et sangliers.

Enfin, nous avons également étudié l'effet du sexe sur l'utilisation des pâtures.

---

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODE

---

### 1. SITE D'ÉTUDE

La zone d'étude correspond à la zone d'infection bovine de la Côte-d'Or. Les foyers bovins recensés depuis 2002 se répartissent dans une zone s'étendant sur 80 km du nord au sud et sur 40 km de l'est à l'ouest représentant une zone coalescente d'environ 2 500 km<sup>2</sup> à l'Ouest de Dijon.

Deux types de paysage se distinguent : la moitié sud de la zone est couverte à 60 % par de la forêt mixte, les massifs forestiers étant interrompus par des petites vallées avec des pâtures et des cultures. La moitié nord présente un paysage bocager fragmenté dominé par le milieu ouvert qui représente environ 80 % de la surface totale. De ce fait, les exploitations bovines sont plus denses dans la zone nord alors que le grand gibier (sanglier et cervidés) est plus abondant au sud. Les densités de populations de blaireaux ont fait l'objet d'une estimation récente dont les résultats préliminaires semblent montrer une population plus abondante dans la zone nord que dans la zone sud, dans une fourchette comprise entre 3 et 8 blaireaux adultes par km<sup>2</sup> (données non publiées). Il faut également noter qu'en zone sud, plusieurs éleveurs laissent leurs bovins à l'herbe toute l'année.

Ces deux zones correspondent également à des entités épidémiologiques relativement distinctes puisque deux souches différentes de *M. bovis* circulaient au début des années 2000 dans ces zones à la fois chez les hôtes domestiques et sauvages : BCG-like au nord et GB35 au sud.

Afin de tester l'hypothèse que l'éloignement du terrier à la pâture influence l'utilisation de celle-ci par le blaireau, les terriers ont été choisis en fonction de leur distance à la pâture la plus proche, dans le but d'obtenir un gradient de distances de 10 mètres à 500 mètres entre les différents individus. L'environnement des terriers les plus proches de pâtures comportait, pour certains, des exploitations bovines (dont l'une a été infectée trois fois). Trois sites dans la zone nord et quatre sites dans la zone sud ont été choisis, chacun comportant plusieurs terriers remplissant ces critères.

Les sites de capture pour les sangliers ont initialement été répartis en zone nord et zone sud. Cependant, après plusieurs mois de tentatives de capture infructueuses en zone nord, nous avons décidé de nous focaliser sur la zone sud où la densité de population de sangliers est plus élevée.

Au sein de cette zone, six sites de capture ont été choisis, présentant un degré plus ou moins important de fragmentation du paysage.

Les pâtures et les cultures du site d'étude ont été répertoriées à partir du registre parcellaire graphique 2011 et 2012 élaboré à l'aide des déclarations des exploitants agricoles, comprenant les caractéristiques spatiales de toutes les parcelles agricoles ainsi que leur utilisation entre mai de l'année N et mai de l'année N+1 (Source : DDT21).

### 2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET PÉRIODES

Nous avons collecté les données météorologiques sur la zone d'étude entre le 1<sup>er</sup> août 2011 et le 31 janvier 2013, correspondant à la période pendant laquelle s'est déroulée l'étude. Les températures minimales et maximales quotidiennes en degré Celsius et les précipitations quotidiennes en mm ont été fournies par deux stations automatiques de Météo France proches des sites de capture. Pour le blaireau, la température minimale a été retenue pour expliquer l'utilisation quotidienne des pâtures plutôt que la température moyenne ou maximale car elle correspond à la température nocturne et est donc plus déterminante sur l'activité des blaireaux, qui peuvent hiverner lorsque la température descend sous un certain seuil [Kowalczyk *et al.*, 2003a]. L'unité temporelle de suivi des blaireaux étant la nuit, nous avons utilisé les données météorologiques du jour J pour chaque nuit entre le jour J et le jour J+1. Pour le sanglier, la température maximale nous a semblé plus pertinente car cette espèce est sensible aux températures élevées et la recherche d'abris ou de points d'eau peut influencer leur utilisation des pâtures [Bracke, 2011]. Les sangliers étant suivis également pendant la journée, l'unité temporelle de suivi correspond à 24h et nous avons donc utilisé les données météorologiques récoltées pendant les 24h du jour J du suivi.

Ces données météorologiques ont été utilisées directement, mais elles ont également servi pour définir les nuits favorables à la remontée des lombrics à la surface du sol, les rendant ainsi facilement accessibles aux blaireaux. D'après Kruuk et Parish (1981), les nuits favorables à la remontée des lombrics sont celles où la température maximale est comprise entre 8.5 et 14.5°C, la température minimale ne descend pas en dessous de 0°C et les précipitations sont soit supérieures à

2 mm dans les dernières 72h, soit supérieures à 1 mm dans les dernières 24h, soit supérieures à 10 mm le jour ou la nuit même.

Pour chaque nuit pour les blaireaux et pour chaque 24h pour les sangliers, une variable « nuit à lombrics » (NL) codée en 0 (nuit non favorable) ou 1 (nuit favorable) a été créée pour toute la durée de l'étude. Le nombre de « nuits à lombrics » (NbNL) a été calculé par mois pour les besoins de l'analyse (cf. § 5) (figure 1).

Le suivi télémétrique des blaireaux s'est déroulé entre début août 2011 et fin mai 2012 : le découpage des différentes classes de périodes (P1 à P4) a été choisi selon des critères d'homogénéité

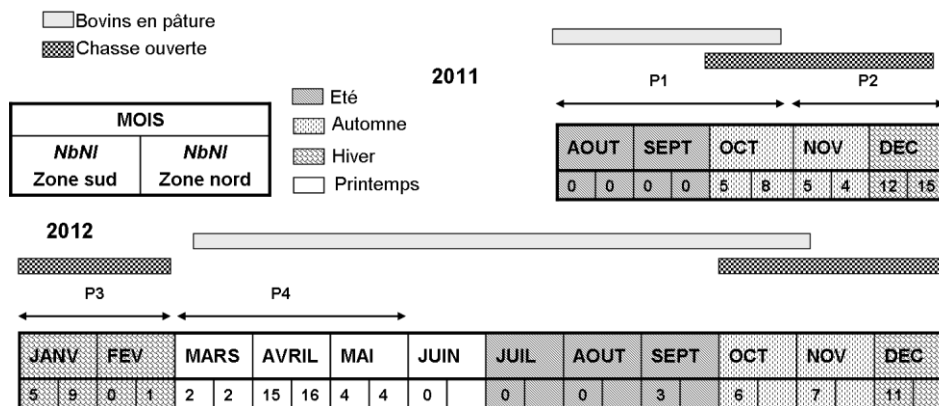
des conditions météorologiques, et pour correspondre aux différentes phases biologiques du blaireau (activité ralentie en hiver, mise-bas et allaitement en janvier-février ; activité territoriale accrue au printemps et automne) et aux différentes saisons zootechniques (vaches présentes sur les pâtures ou rentrées dans les bâtiments) (figure 1).

Le suivi télémétrique des sangliers s'est déroulé d'août 2011 à janvier 2013. Compte-tenu du nombre d'animaux suivis, nous avons choisi de tester l'effet des saisons (été, automne, hiver et printemps) sans tenir compte de l'année, en distinguant dans le découpage les périodes chassées des périodes non chassées (figure 1).

Figure 1

**Définition des périodes utilisées dans l'étude : P1 à P4 pour les blaireaux et saisons (2011 et 2012 confondus) pour les sangliers.**

Le nombre de « nuits à lombrics » (NbNL) par mois figure sous chacun des mois dans les 2 zones du site d'étude.



### 3. CAPTURES, ÉQUIPEMENT DE COLLIERS GPS ET SUIVI TÉLÉMÉTRIQUE

Pour capturer les blaireaux et les sangliers, 24 cages trappes et quatre pièges corral appâtés avec du maïs grain ont été disposées près des terriers et sur des lieux de passage

Pour les blaireaux, la période de capture a commencé en août 2011 et s'est poursuivie jusqu'en février 2012, totalisant un effort de capture de 200 nuits-pièges. Pour les sangliers, les captures, interrompues pendant la chasse, ont été prolongées jusqu'en septembre 2012, pour un effort de capture de 580 nuits-pièges.

Une fois capturés, les blaireaux ont été anesthésiés par un vétérinaire à l'aide d'une sarbacane administrant un mélange de kétamine (Imalgène®)

et de médétomidine (Domitor®) à la dose de 0,1ml/kg de chaque produit [Thornton *et al.*, 2005]. Les sangliers pesant plus de 50 kg ont été anesthésiés par un mélange de xylazine (Rompun®) et de Zolazépan-Tilétamine (Zolétil®) à la dose de 4mg/kg pour chaque produit administré au moyen d'un lanceur hypodermique ou d'une perche (« jabstick ») [S. Rossi, *com. pers.*]. Tous les individus étaient ensuite pesés, sexés et identifiés individuellement au moyen de boucles auriculaires numérotées. Des prélèvements étaient également réalisés pour la recherche de *M. bovis* dans les excréta et pour la sérologie.

Afin d'éviter que le port du collier ne gêne la croissance ou la prise de poids des animaux, nous avons cherché à équiper les individus les plus lourds et les plus âgés possible. Seuls les individus

pesant au moins 10 kg pour les blaireaux et 60 kg pour les sangliers étaient équipés de colliers GPS. Le choix de l'animal à équiper a également été guidé par l'objectif du ratio équilibré entre mâles et femelles d'une part, et celui de n'avoir pas plus d'un individu équipé par groupe d'autre part.

Nous avons utilisé des colliers GPS de la marque LOTEK®, 10 modèles small wildcell pour les blaireaux et six modèles M5 complétés par quatre colliers de la marque SIRTRACK pour les sangliers. Ils comportaient un système de décrochage automatique programmé à l'avance permettant de récupérer le collier sans avoir à re-capturer l'animal. Le poids total du collier était inférieur à 3 % du poids de l'animal. Les blaireaux étant des animaux à activité essentiellement nocturne et restant dans leur terrier le reste du temps [Roper, 2010], les colliers ont été programmés pour prendre un point GPS toutes les 30 minutes pendant la nuit (entre 19h et 8h), programmation que nous avons considérée comme meilleur compromis entre précision du suivi et durée totale de celui-ci. Les sangliers ayant une activité limitée la journée et se déplaçant principalement pendant la nuit [Keuling *et al.*, 2009], les colliers ont été programmés pour prendre un point GPS toutes les 20 minutes entre 18h et 8h du matin et toutes les 2h entre 8h et 18h. La taille de la batterie supportée par l'animal permettait une fréquence de localisations plus importante que chez les blaireaux.

#### 4. TRAITEMENT DES DONNÉES DE GÉOLOCALISATION

Afin de traduire au mieux l'intensité du contact indirect par le niveau d'utilisation des pâtures nous avons choisi de travailler sur des estimateurs en valeurs absolues et non sur des proportions. En outre, les deux estimateurs choisis permettent d'investiguer cette utilisation à deux niveaux temporels et spatiaux.

Tout d'abord, pour chaque individu, nous avons calculé le nombre de localisations en pâture par nuit pour les blaireaux ou par 24h pour les sangliers. Cette variable a été choisie afin de tester si l'utilisation des pâtures pouvait dépendre de facteurs variables d'une nuit à l'autre, comme les facteurs météorologiques et les conditions favorables aux remontées des lombrics à la surface du sol. Nous souhaitions également tester s'il existait une variabilité de l'utilisation quotidienne des habitats bovins en fonction du sexe, de la période de l'année et de la proximité ou de

l'importance des pâtures dans l'environnement des animaux suivis (tableau 1).

Les données brutes de géolocalisation ont permis d'obtenir le nombre de localisations en pâture pour chaque nuit ou chaque 24h pour chaque animal. En pâture, comme dans les autres milieux ouverts, le taux de succès de prise de points GPS a été en moyenne de 95 % et la précision a été évaluée à 10 mètres à partir de tests réalisés avant la pose des colliers. Afin de tenir compte de cette précision, nous avons inclus toutes les localisations se trouvant sur les pâtures identifiées à partir du registre parcellaire graphique et dans une zone tampon de 10 mètres autour de celles-ci. Ces traitements spatiaux ont été réalisés avec le logiciel ArcGis 10.0 (ESRI, Redlands, California).

Dans un deuxième temps, nous avons calculé la surface de pâture incluse dans le domaine vital par mois pour chaque individu suivi. Cette approche permet de prendre en compte l'occupation de l'espace des individus estimé par le domaine vital, sur un pas de temps plus long. L'unité temporelle choisie ici a été le mois qui est approximativement la durée minimale de suivi, générant un nombre de localisations supérieur à 50, suffisant pour calculer le domaine vital [Seaman *et al.*, 1999]. Il a également été vérifié que les conditions météorologiques étaient homogènes à l'intérieur de chacun des mois de l'étude. Les domaines vitaux ont été estimés en utilisant la méthode du kernel fixe prenant en compte 95 % des localisations, considérée comme représentant au mieux la distribution de l'utilisation de l'espace [Worton, 1995].

Le domaine vital a également été calculé avec le polygone minimal convexe prenant en compte 100 % des localisations (MCP100 %), d'une part, dans le but de comparer nos résultats aux autres études et, d'autre part, afin de déterminer les surfaces et proportions de certains milieux disponibles pour chaque animal [Aebischer *et al.*, 1993]. Dans la suite de l'article, le terme « domaine vital » désigne l'estimation réalisée par le kernel 95 %. Ces traitements ont été réalisés avec le package adehabitat de R [Calenge, 2006].

Pour chaque animal, les surfaces de pâture se superposant aux domaines vitaux mensuels ainsi générés ont été calculées en utilisant ArcGis 10.0 (ESRI, Redlands, California) Elles constituent les variables à expliquer. La proportion de cultures disponibles et, pour le sanglier, la proportion de pâture disponible c'est-à-dire comprises dans le MCP100 % global constituent des variables explicatives (tableau 1). Elles ont été calculées pour

chaque individu à l'aide d'Arc Gis 10.0 à partir des données du registre parcellaire graphique.

## 5. ANALYSES STATISTIQUES

Des modèles linéaires mixtes ont été ajustés et comparés pour expliquer les deux indicateurs de l'utilisation des zones bovines (nombre de localisations en pâtures par nuit ou par 24h, surface de pâture incluse dans le domaine vital), par les blaireaux d'une part et les sangliers d'autre part.

La distance entre le terrier et la pâture pour les blaireaux ou la proportion de pâture disponible pour le sanglier, le sexe, la température (minimale pour les blaireaux, maximale pour les sangliers), la pluviométrie, la période (comprenant quatre

classes : P1 à P4 pour les blaireaux et les quatre saisons pour les sangliers) telle que définie dans le paragraphe 2 et la figure 1, et la variable « nuit à lombrics » ont été testées dans la partie fixe du modèle comme variables explicatives pour le nombre de localisations sur pâture par nuit ou par 24h et par animal (tableau 1).

Pour expliquer les surfaces de pâture se superposant aux domaines vitaux mensuels, nous avons également testé dans la partie fixe de chacun des modèles le sexe, la distance entre le terrier et la pâture ou la proportion de pâture disponible et la période, le nombre de nuits à lombrics dans le mois et la proportion de cultures disponible (tableau 1).

Dans tous ces modèles, l'individu a été testé dans la partie aléatoire [Börger *et al.*, 2006].

**Tableau 1**

**Variables testées dans les modèles linéaires généralisées mixtes expliquant le nombre de localisations sur les pâtures par nuit ou par 24h et la surface de pâture incluses dans le domaine vital par mois.**

Les valeurs extrêmes des variables quantitatives figurent entre parenthèses.

	Blaireau	Sanglier
<b>Facteurs intrinsèques</b>	Individu, sexe	
<b>Facteurs paysagers</b>	Distance terrier-pâture (10 → 500m)	Proportion de pâture disponible (2 → 55 %)
<b>Période</b>	4 périodes entre 08/11 et 05/12	4 saisons (2011 et 2012 confondues)
<b>Facteurs météorologiques</b>	Température minimale quotidienne* (-15 → 21°C)	Température maximale quotidienne* (-6 → 35°C)
	Pluviométrie quotidienne*(0 → 27mm)	
	Nuit à lombrics* (oui : 1, non : 0)* Nombre de nuits à lombrics par mois**(0 → 16)	
<b>Ressources alimentaires</b>	Proportion de cultures disponibles** 0 → 48 %                                  5 → 47 %	

\* Variable utilisée uniquement pour expliquer le nombre de localisations sur les pâtures par nuit ou par 24h

\*\* Variable utilisée uniquement pour expliquer la surface de pâture dans le domaine vital par mois

La procédure de sélection de modèle suit celle proposée par Zuur *et al.* [2011]. Dans un premier temps, la partie aléatoire du modèle a été déterminée en comparant le modèle avec et sans prise en compte de l'effet aléatoire « individu ». Nous avons ensuite comparé des modèles ayant la même partie aléatoire, afin de définir la partie fixe. Celle-ci a été déterminée en incluant toutes les variables choisies et les interactions biologiquement plausibles dans le modèle, puis en le simplifiant. Pour cette simplification, les AIC

(Akaike information Criterion) des différents modèles ont été calculés et comparés en ajustant les modèles au maximum de vraisemblance (ML : maximum likelihood). Le modèle ayant l'AIC le plus faible représente le meilleur compromis entre la déviance résiduelle et le nombre de paramètres. Lorsque la différence entre 2 AIC était inférieure à 2, c'est le modèle le plus parcimonieux qui est choisi, c'est-à-dire celui ayant le moins de paramètres.

Pour le modèle expliquant le nombre de localisations par nuit sur les pâtures, nous avons vérifié s'il existait une autocorrélation temporelle entre les sorties quotidiennes, c'est-à-dire si les animaux avaient tendance à répéter les mêmes comportements (en l'occurrence la fréquentation de pâture) d'un jour à l'autre. Cette vérification a été faite en observant le patron d'autocorrélation temporelle des résidus du modèle choisi précédemment. Puis le cas échéant, la structure de cette autocorrélation a été identifiée pour être prise en compte dans le modèle final.

La sélection de la meilleure structure d'autocorrélation entre l'absence d'autocorrélation,

Ar(1) et ARMA (1,1) a été faite en comparant les AIC.

Finalement, les paramètres mesurant l'effet des variables des parties fixe et aléatoire ont été estimés par la méthode de la quasi-vraisemblance pénalisée (REML : restricted maximum likelihood).

La normalité des résidus a été vérifiée visuellement et par un test de Shapiro. Après examen des résidus des modèles, nous avons choisi de transformer la variable initiale à expliquer (transformation racine carrée) pour aboutir à des résidus normalement distribués. Nous avons vérifié que cette transformation ne modifiait pas les parties fixe et aléatoire du modèle sélectionné.

---

### III - RÉSULTATS

---

#### 1. CAPTURES ET SUIVI TÉLÉMÉTRIQUE

##### 1.1. BLAIREAUX

Quarante et un individus ont été capturés, soit un taux de capture de 0,205 captures/nuit-piège. Dix blaireaux, cinq mâles et cinq femelles adultes ont été équipés de colliers GPS. La plupart appartenaient à des groupes différents mais au regard de la superposition de leur domaine vital, il est possible que certains individus proviennent du même groupe. Ces individus se répartissent équitablement entre la zone nord (sur deux sites) et la zone sud (sur trois sites).

Les suivis télémétriques individuels ont duré en moyenne 90 jours (min : 25 jrs ; max : 185 jrs, médiane : 63 jrs). C'est la durée de vie de la batterie qui a déterminé l'arrêt du suivi sauf pour un blaireau qui est mort pendant la récolte de données, possiblement des suites de l'infection à *M. bovis*. L'autopsie a montré un mauvais état général, un abcès et une fibrose pulmonaire ; la culture était positive pour *M. bovis*.

Sept individus ont été suivis pendant la période 1, quatre pendant la période 2, cinq pendant la période 3 et cinq pendant la période 4.

Les terriers des blaireaux équipés sont situés à une distance des pâtures, différente pour chaque animal, variant entre 10 m et 500 m.

Le nombre de localisations sur l'ensemble du suivi a été compris entre 248 et 1 853 par animal. Mensuellement, le nombre de localisations varie entre 82 et 552, ce nombre est donc suffisant pour

l'estimation du domaine vital [Seaman *et al.*, 1999]. Sur l'ensemble du suivi, les domaines vitaux calculés par le MCP100 % mesurent en moyenne 123,6 ha  $\pm$  99,3 ha et 52,2  $\pm$  52,2 ha avec la méthode du kernel 95 %.

##### 1.2. SANGLIERS

Cent soixante douze sangliers ont été capturés, majoritairement des jeunes, pour un taux de capture de 0,296 captures/nuit-piège. Onze sangliers, six femelles et cinq mâles appartenant à des compagnies différentes réparties dans la zone sud ont été équipés de colliers GPS. Ces animaux ont été suivis pendant 127,5 jours en moyenne (min : 25 jrs, max : 253 jrs, médiane : 126 jrs). La perte des colliers (ouverture prématurée du système de décrochement automatique, probablement suite aux frottements répétés sur cette partie du collier) et la chasse ont entraîné des durées de suivis plus courtes que prévues dans le protocole.

Onze individus ont été suivis pendant l'été, neuf l'ont été pendant l'automne et cinq, pendant le printemps. Un seul individu a été suivi pendant l'hiver 2012-13. De plus, cet individu a présenté la proportion de pâture disponible la plus faible. Afin de ne pas déséquilibrer le plan d'échantillonnage, nous avons décidé de ne pas prendre en compte l'hiver 2012-2013 dans l'analyse.

La part de pâture disponible a varié entre 2,5 et 55,4 % selon les individus.



Le nombre de localisations sur l'ensemble du suivi a été compris entre 1 100 et 9 912 par animal.

Mensuellement, ce nombre a varié entre 473 et 1 917.

Les domaines vitaux mesurent en moyenne  $2\,429,4 \pm 1\,633,5$  ha par la méthode du MCP100 % et  $770,7 \pm 564,7$  ha par la méthode du kernel 95 %.

## 2. NOMBRE DE LOCALISATIONS PAR NUIT SUR LES PÂTURES

### 2.1. BLAIREAUX

Le nombre de localisations par nuit a varié entre 0 et 21, soit entre 0 et 87,5 % de la totalité des localisations récoltée théoriquement sur une nuit avec une variabilité importante (figure 2). Le modèle présentant le plus petit AIC comprend les effets fixes de la distance terrier-pâturage, de la période, de la température minimale et de l'interaction entre ces deux dernières variables. La structure d'autocorrélation ARMA(1,1) fournit le meilleur modèle.

D'après le modèle sélectionné, les périodes P2 (automne) et P3 (hiver) sont moins propices à la fréquentation quotidienne des pâtures que P4

(printemps) quand la température est basse alors que ces effets diminuent quand la température augmente. Aucun effet n'est significatif durant la fin d'été (P1). Enfin, lorsque la distance entre le terrier et la pâture augmente, le nombre de localisations en pâture a tendance à diminuer.

### 2.2. SANGLIERS

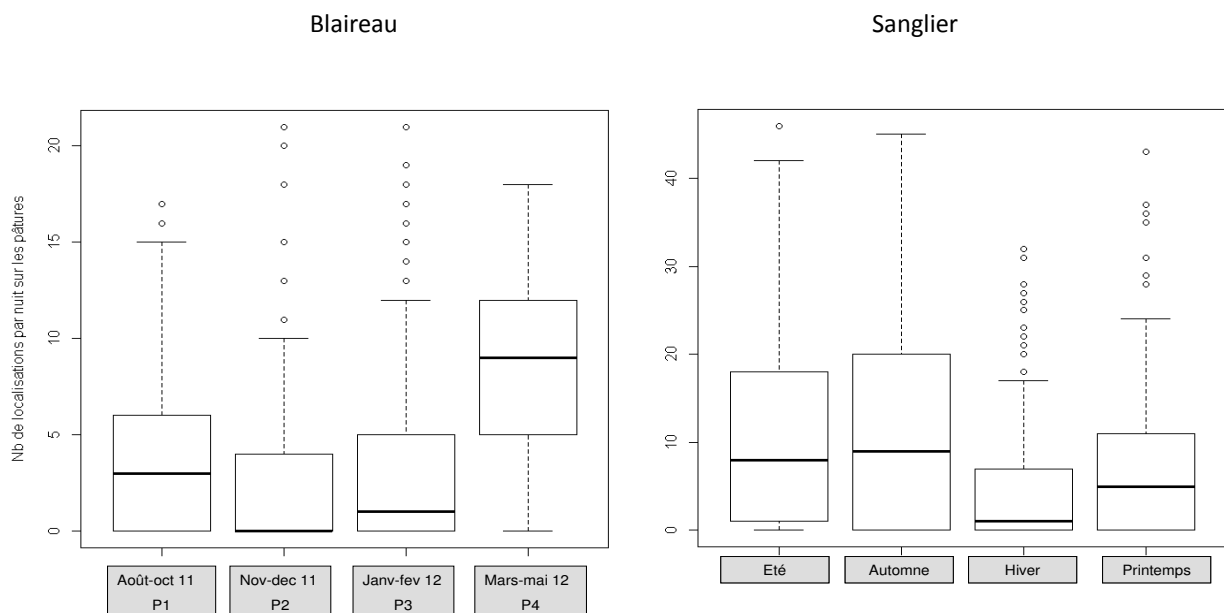
Le nombre de localisations par 24h sur les pâtures est compris entre 0 et 46, soit entre 0 et 100 % des localisations enregistrées théoriquement par 24h (figure 2).

Le modèle retenu est celui incluant les effets de la proportion de pâture disponible, de la saison, des conditions favorables aux nuits à lombrics et de l'interaction entre ces deux dernières variables dans la partie fixe. La prise en compte de l'autocorrélation avec la structure ARMA(1,1) améliore le modèle.

Ainsi, le nombre de localisations sur les pâtures par 24h augmente avec la proportion de pâture disponible. En hiver, l'utilisation quotidienne des pâtures est significativement moins importante qu'en été mais elle s'accroît lors de nuits à lombrics.

Figure 2

Répartition du nombre de localisations sur les pâtures par nuit, selon la période pour le blaireau et selon la saison pour le sanglier



### 3. SURFACES DES PÂTURES INCLUSES DANS LE DOMAINE VITAL

#### 3.1. BLAIREAUX

La surface des pâtures dans le domaine vital calculée mensuellement est en moyenne de  $15,4 \pm 21,5$  ha.

Les effets les plus importants concernent la distance terrier-pâturage (figure 3) et le sexe, en interaction avec la période. Ainsi, globalement, la surface des pâtures dans le domaine vital diminue à mesure que la distance terrier-pâturage augmente et les blaireaux utilisent moins les pâtures en été et en automne qu'au printemps. Cependant, les blaireaux les plus éloignés des pâtures sont davantage attirés sur les pâtures en été et surtout

en automne (P2) comparativement au printemps. En fin d'été et surtout à l'automne (P1 et P2), les mâles utilisent moins les pâtures que les femelles.

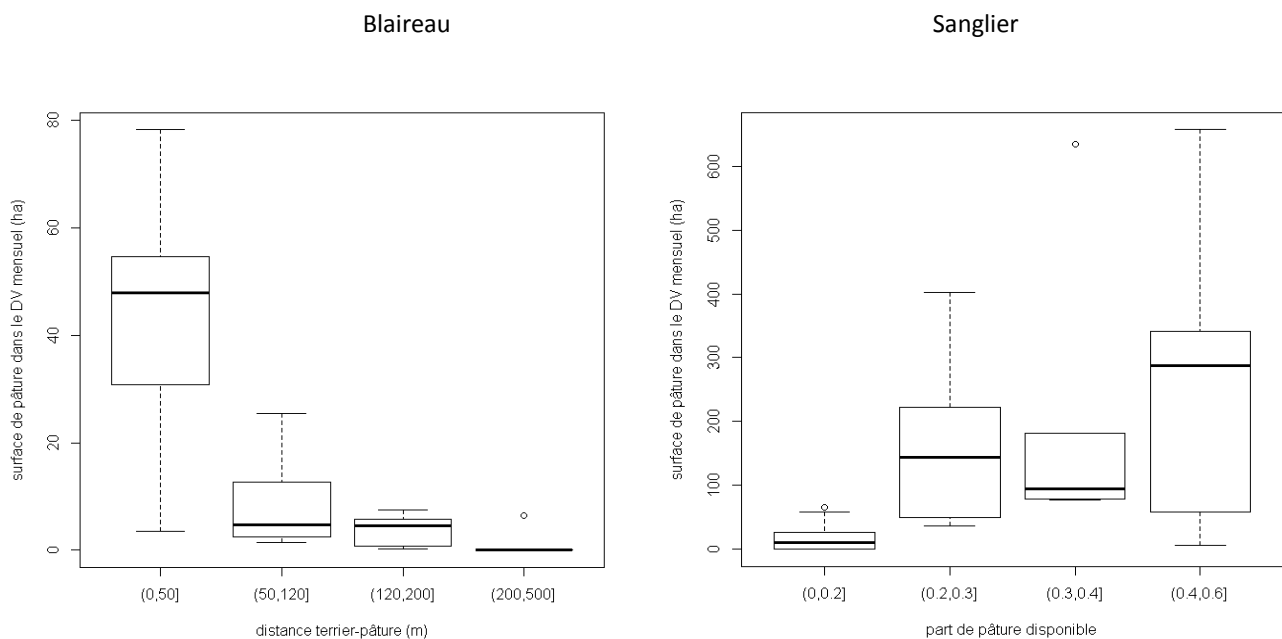
#### 3.2. SANGLIERS

La surface des pâtures dans le domaine vital calculée mensuellement est de  $132,4 \pm 169,7$  ha.

Le modèle retenu montre que l'hiver est beaucoup moins propice que l'été à la fréquentation des pâtures par les sangliers (figure 3). La surface de pâture dans le domaine vital augmente avec le nombre de nuits à lombrics par mois, et la proportion de pâture disponible sauf en hiver où l'effet de cette dernière variable est négatif.

Figure 3

Distribution de la surface de pâture incluse dans le domaine vital mensuel en fonction de la distance terrier-pâturage chez le blaireau et de la part de pâture disponible chez le sanglier



## IV - DISCUSSION

Nous avons estimé l'intensité des contacts indirects entre blaireaux et bovins, d'une part, et sangliers et bovins, d'autre part, en déterminant le niveau d'utilisation des pâtures par ces espèces sauvages au moyen de suivi télémétrique. Le taux variable du succès de capture, combiné à l'arrêt prématuré

de certains suivis (dû au mauvais fonctionnement du collier ou aux tirs d'animaux équipés), n'a pas permis de suivre tous les individus sur l'ensemble des périodes définies dans le protocole. Ce déséquilibre dans le plan d'échantillonnage a pu influencer le résultat des modèles mixtes dans le

sens où les facteurs inhérents aux individus pris comme variables explicatives (sexe, importance ou proximité des pâtures) n'ont pu être testés de façon homogène sur toute la durée du suivi. Il a pu en résulter un biais de confusion entre l'effet des variables temporelles (période et saison) et l'effet des variables individuelles (sexe, distance terrier-pâture ou proportion de pâture disponible). Il est également probable que compte tenu des faibles effectifs d'animaux suivis, nous avons manqué de puissance pour révéler l'effet de certaines variables.

Malgré ces limites méthodologiques, nous avons mis en évidence que l'utilisation des pâtures variait en fonction de différents paramètres.

Tout d'abord, nos résultats montrent que sur notre site d'étude, la proximité ou la superficie des pâtures disponibles pour les animaux suivis est un facteur déterminant de l'utilisation de celles-ci, que ce soit à l'échelle de 24h ou à l'échelle du mois. Ceci traduit l'importance de la structure paysagère, en l'occurrence la fragmentation plus ou moins importante du paysage dans le niveau d'interaction entre ces espèces sauvages et les bovins. Les individus ayant le moins de pâture à leur disposition sont bien ceux qui, en valeur absolue, les utilisent le moins. Il apparaît par exemple dans notre étude que les blaireaux vivant en milieu forestier à 300m ou plus des pâtures ne les fréquentent pas ou très peu. Les sangliers qui ont 20 % ou moins de pâture disponible utilisent moins de 100 ha de pâture dans leur domaine vital.

Un deuxième facteur déterminant l'utilisation des pâtures par les espèces sauvages étudiées est la période de l'année.

Nos résultats indiquent que les blaireaux utilisent davantage les pâtures au printemps qu'aux autres saisons. Au printemps, les comportements territoriaux (exploration et marquage du territoire) sont accrus [Kowalczyk *et al.*, 2006 ; Roper, 2010] ce qui peut conduire les blaireaux à davantage utiliser les pâtures et ce d'autant plus que le paysage est fragmenté, le marquage territorial se faisant préférentiellement au niveau des lisières et des limites entre parcelles [White *et al.*, 1993 ; Roper, 2010].

Par ailleurs, nous avons mis en évidence que la température influençait l'utilisation quotidienne des pâtures en automne et en hiver. L'effet de la température est d'abord déterminant sur la sortie du terrier et, en corollaire, sur l'intensité de l'utilisation des pâtures. En effet, Kowalczyk *et al.* [2003a] ont montré que les blaireaux

n'émergeaient pas de leur terrier en dessous d'une température mensuelle moyenne de -4°C et qu'ils ne sortaient quotidiennement que lorsque la température moyenne dépassait les 5°C. Pendant la période hivernale P3, des températures très basses ont été enregistrées au mois de février (jusqu'à -15°C) et la moyenne des températures durant cette période n'a pas dépassé 1,5°C. En novembre et décembre (période P2), il y a eu plusieurs nuits avec des températures négatives. Nous avons pu en outre, vérifier cette hypothèse en testant le nombre total de localisations en dehors du terrier comme variable à expliquer (résultats non montrés).

Nos analyses ont mis en évidence qu'en été et surtout en automne, les blaireaux les plus éloignés des pâtures étaient davantage attirés sur les pâtures qu'au printemps. Ces résultats sont concordants avec ceux de Palphramand *et al.* [2007], qui ont montré que la pâture était un habitat sélectionné par les blaireaux tout au long de l'année mais qu'elle l'était davantage en été et en automne par rapport aux forêts de conifères et de feuillus. Ceci pourrait s'expliquer par une disponibilité alimentaire plus faible en forêt à ces périodes, poussant les blaireaux à diversifier leurs sources de nourriture en allant dans d'autres milieux [Kruuk, 1978 ; Kowalczyk *et al.*, 2003b ; Byrne *et al.*, 2012]. Cependant, dans la présente étude, un blaireau vivant en milieu forestier à 300 m de la lisière n'a jamais été localisé dans une pâture au cours des sept mois qu'a duré son suivi. De plus, son domaine vital était parmi les plus petits de l'étude (MCP100 % : 0,48 km<sup>2</sup>). Il semble donc que le milieu forestier soit ici suffisamment riche pour subvenir aux besoins des blaireaux qui y vivent.

D'après notre étude, l'été et le printemps sont les saisons les plus favorables à l'utilisation des pâtures par les sangliers, suivis de l'automne puis de l'hiver. De plus, nos résultats montrent qu'en hiver (par rapport à l'été), les sangliers vivant dans un milieu riche en pâtures privilégient d'autres habitats. Les sangliers affectionnent les zones de végétation dense tout au long de l'année, surtout en journée pendant leur phase de repos. En automne et en hiver, le dérangement occasionné par la chasse augmente leurs déplacements et les pousse à utiliser potentiellement plus d'habitats [Saïd *et al.*, 2012]. En milieu fragmenté, il est fort probable que les milieux ouverts tels que les pâtures soient des zones plus à risque que les milieux fermés. Les ressources alimentaires peuvent également expliquer cet effet saisonnier. Les glands, qui se trouvent à terre en forêt de

septembre à la fin de l'hiver, constituent la majorité du régime alimentaire du sanglier lorsque la production est importante [Welander, 2000 ; Baubet *et al.*, 2009]. Ce fut le cas en automne en hiver 2011-2012, ce qui a probablement amené les sangliers à favoriser le milieu forestier par rapport aux autres milieux. En outre, le froid et le gel sont peu favorables à l'accessibilité des lombrics pendant les mois d'hiver, ce qui n'attire pas les sangliers sur les prairies lorsque le sol est gelé [Baubet *et al.*, 2009]. En revanche, au printemps et en été, les conditions sont plus favorables aux lombrics et les céréales arrivent à maturité, prairies et cultures sont alors des zones d'alimentation privilégiées par les sangliers [Jeanneau et Spitz, 1984 ; Keuling *et al.*, 2009 ; Baubet *et al.*, 2009].

D'autre part, les sangliers ont un besoin physiologique de se baigner pour leur thermorégulation, le déparasitage et le comportement sexuel [Bracke, 2011]. Au Texas, Cooper *et al.* (2010) ont démontré que les points d'eau étaient sélectionnés tout au long de l'année, mais il est fort probable qu'en période estivale par temps sec et chaud, les points d'eau entretenus dans les pâtures constituent des sites particulièrement attractifs pour les sangliers.

Enfin, nous avons posé comme hypothèse qu'étant donné la prédominance des lombrics dans le régime alimentaire des blaireaux et des sangliers, les conditions météorologiques favorisant leur remontée à la surface du sol pourraient attirer ces animaux sur les pâtures.

Chez le blaireau, nos résultats ne confirment pas cette hypothèse, les « nuits à lombrics » n'ayant pas été retenues comme variable explicative de l'utilisation des pâtures. Pourtant, beaucoup d'auteurs attestent de la prépondérance du lombric et particulièrement l'espèce *Lumbricus terrestris* dans le régime alimentaire du blaireau [Kruuk et Parish, 1981 ; Palphramand *et al.*, 2007 ; Roper, 2010 ; Byrne *et al.*, 2012]. L'organisation spatiale et les mouvements quotidiens sont en partie conditionnés par la disponibilité de cette ressource alimentaire [Kruuk, 1978 ; Kowalczyk *et al.*, 2003b ; Kowalczyk *et al.*, 2006]. En Angleterre, où les pâtures contiennent la plus grande biomasse de lombrics par rapport aux autres milieux, l'intensité d'utilisation des pâtures dépend de cette disponibilité, qui est elle-même liée à la pluviométrie [Kruuk, 1978 ; Kruuk *et al.*, 1979 ; Palphramand *et al.*, 2007]. Cependant, Kruuk et Parish (1981) ont montré qu'en Ecosse, les lombrics dominaient le régime alimentaire des blaireaux tout au long de l'année et que lorsque ceux-ci

étaient moins accessibles (temps chaud et sec ou froid et sec), les blaireaux accentuaient leurs efforts pour les déterrer. En conséquence, les conditions météorologiques n'auraient que peu d'influence sur leur niveau de consommation de vers de terre et donc sur leur utilisation des pâtures dans ce but. D'autre part, dans d'autres écosystèmes comme en Europe de l'Est et du Nord, les milieux les plus riches en vers de terre sont représentés par les forêts de feuillus [Broseth *et al.*, 1997 ; Kowalczyk *et al.*, 2003b] et non par les pâtures. En Côte-d'Or, il est possible que la biomasse de vers de terre se répartisse entre prairies et forêts ; le fait que certains blaireaux suivis restent en milieu forestier et ne viennent jamais sur les pâtures renforce cette hypothèse. Enfin, certains auteurs nuancent la prépondérance du lombric dans le régime alimentaire du blaireau qui semble dépendre des zones géographiques : plus les régions se situent au sud de l'Europe, moins les lombrics dominent le régime alimentaire et plus ils sont remplacés par les insectes, les vertébrés et les végétaux [Byrne *et al.*, 2012 ; Roper, 2010]. L'analyse de fèces ou de contenus d'estomacs de blaireaux pourrait confirmer ou infirmer cette hypothèse. Il est également possible que nous ayons manqué de puissance pour mettre en évidence l'effet de cette variable.

Chez le sanglier, nos résultats confirment l'effet attractif des « nuits à lombrics » sur l'utilisation des pâtures. Comme pour les blaireaux, les vers de terre entrent dans le régime alimentaire des sangliers tout au long de l'année mais ils sont privilégiés lorsque les conditions météorologiques les rendent plus accessibles. Baubet *et al.* [2003] ont mis en évidence une corrélation entre le nombre de « nuits à lombrics » par mois et la consommation de lombrics. D'après l'analyse des fèces, la consommation de vers de terre est la plus élevée en été et en automne suivi du printemps puis de l'hiver [Baubet *et al.*, 2003]. Ceci est cohérent avec l'effet des saisons sur l'utilisation des pâtures que nous avons mis en évidence chez le sanglier, à savoir l'été comme période la plus favorable et l'hiver comme la moins propice. Cependant, nos résultats montrent qu'en hiver, si les sangliers fréquentent moins les pâtures qu'aux autres saisons, ils s'y rendent tout de même lors de « nuits à lombrics » (qui sont évidemment moins fréquentes qu'aux autres saisons), soulignant le caractère opportuniste de cette espèce qui semble plus important que chez le blaireau.

Il apparaît d'après nos résultats que les blaireaux et les sangliers fréquentent davantage les pâtures au printemps et en été et dans une moindre mesure

en automne. Or ces périodes coïncident avec la présence des bovins sur les pâtures, la mise à l'herbe débutant en mars-avril pour se terminer en novembre. Mullen *et al.* [2013] ont montré que les blaireaux, lorsqu'ils avaient le choix, privilégiaient les parcelles sans bovin et des études utilisant des capteurs de contacts indiquent que les contacts directs entre bovins et blaireaux sont très rares [Böhm *et al.*, 2009 ; Drewe *et al.*, 2013]. Nous n'avons pas mesuré l'effet de la présence ou de l'absence des bovins sur les pâtures car le calendrier précis de l'occupation des parcelles par les bovins n'a pas été pris en compte. Nous avons cependant observé que certains blaireaux suivis sortaient sur des pâtures en présence de bovins. De plus, la préhension des lombrics par les blaireaux et les sangliers est facilitée et par conséquent favorisée lorsque l'herbe est rase [Kruuk, 1979 ; Baubet *et al.*, 2003] donc potentiellement lorsque des bovins paissent dans les pâtures. Cooper *et al.* [2010] ont montré que si les contacts directs entre bovins et sangliers étaient rares, les contacts indirects (présence consécutive de chaque espèce sur le même site à moins de 6h d'intervalle) étaient 12 fois plus fréquents, les sites les plus propices à ce type de contact étant les points d'eau.

Pour les sangliers, l'attractivité des pâtures semble donc reposer sur leur offre alimentaire en lombrics et en points d'eau. De façon moins opportuniste, les blaireaux viennent sur les pâtures pour se

nourrir de lombrics mais y ont également une activité de marquage territorial en urinant et déféquant dans des latrines aux limites de leur territoire [White *et al.*, 1993 ; Hutching et Harris, 1999 ; Roper, 2010].

Les sangliers recherchent les lombrics en fouillant le sol avec leur groin et les blaireaux avec leur museau [Baubet *et al.*, 2009 ; Roper, 2010] ; ces animaux s'ils sont infectés et excréteurs sont donc susceptibles d'excréter *M. bovis* mais peuvent aussi l'inhaler ou l'ingérer si le sol est contaminé. Les sangliers, en buvant, se baignant et fouillant dans les points d'eau ou d'abreuvement partagés avec les bovins [Bracke, 2011], peuvent également excréter, inhaler ou ingérer le bacille. Le blaireau, en excréteur *M. bovis* par voie fécale et urinaire [Corner *et al.*, 2010], peut contaminer les latrines creusées sur les pâtures. Or, Drewe *et al.* [2013] ont montré que les bovins pouvaient avoir plus de 100 contacts distincts avec des latrines actives sur une période de six mois.

En outre, les conditions météorologiques, températures douces et humidité correspondant aux « nuits à lombrics » sont favorables à la rémanence de *M. bovis* dans l'environnement [Young *et al.*, 2005]. La bactérie persiste également très bien dans l'eau et jusqu'à six mois dans les bouses de vaches [Philipps *et al.*, 2003] sous lesquelles blaireaux et sangliers vont couramment chercher les lombrics [Roper, 2010 ; Baubet *et al.*, 2003].

---

## V - CONCLUSION

---

Dans la zone infectée de tuberculose bovine de Côte-d'Or, les pâtures représentent un habitat largement partagé entre blaireaux, sangliers et bovins. Les interactions, beaucoup plus intenses pour les animaux sauvages riverains des pâtures, sont favorisées au printemps et en été et, pour les sangliers, par un temps doux et humide, favorable à l'accessibilité des lombrics. Le contact indirect entre espèces sauvages et bovins sur les pâtures représente un risque de transmission interspécifique de *M. bovis* d'autant plus important

que sangliers et blaireaux y ont un comportement potentiellement excréteur ou au cours duquel ils peuvent s'infecter.

Outre ces éléments, l'évaluation et la gestion de ce risque devra tenir compte des densités et des taux d'infection des populations impliquées, à une échelle locale. De plus, l'étude de la persistance de *M. bovis* dans le compartiment environnemental propre à cette zone devrait apporter un élément-clé à la compréhension du cycle épidémiologique de *M. bovis*.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aebischer N.J., Robertson P.A., Kenward R.E. - Composition analysis of habitat use from animal radio-tracking data. *Ecology*, 1993, **74**, 1313-1325.
- Baubet E., Ropert-Coudert Y., Brandt S. - Seasonal and annual variations in earthworm consumption by wild boar (*Sus scrofa scrofa* L.). *Wildlife Res.*, 2003, **30**, 179-186.
- Böhm M., Hutching M.R., White P.C.L. - Contact Networks in a Wildlife-Livestock Host Community: identifying high-risk individuals in the transmission of bovine TB among Badgers and cattle. *Plos One*, 2009, **4**(4).
- Bourne F.J., Cox D.R., Donnelly C.A., Gettinby G., McInerney J.P., Morrison W.I., Woodroffe R. Bovine Tuberculosis: the scientific evidence. Final report of the independent scientific group (ISG) on cattle TB, 2007, DEFRA London.
- Börger L., Franconi N., Ferretti F., Meschi F., De Michele G., Gantz A., Coulson T. - An integrated approach to identify spatiotemporal and individual-level determinants of animal home-range size. *Am. Nat.*, 2006, **168**, 471-485.
- Bracke M.B.M. - Review of wallowing in pigs : description of the behaviour and its motivational basis. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2011, **132**, 1-13.
- Broseth H., Knutsen B., Bevanger K. - Spatial organization and habitat utilization of badgers *Meles meles*: effects of food patch dispersion in the boreal forest of central Norway. *Z. Säugetierkd*, 1997, **62**, 12-22.
- Byrne A.W., Sleeman D.P., O'Keefe J., Davenport J. - The ecology of the European badger (*Meles meles*) in Ireland: a review. *Biology and environment. Proceedings of the Royal Irish Academy*, 2012, **112B**, 69-96.
- Calenge C., Maillard D., Vassant J., Brandt S. - Summer and hunting season home ranges of wild boars (*Sus scrofa*) in two habitats in France. *Game and Wildlife Science*, 2002, **19**, 281-301.
- Calenge C. - The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecol. Model*, 2006, **197**, 516-519.
- Cooper S.M., Scott H.M., De la Garza G.R., Deck A.L., Cathey C.C. - Distribution and interspecies contact of feral swine and cattle on rangeland in South Texas: implications for disease transmission. *J. Wildl. Dis.*, 2010, **46**, 152-164.
- Corner L.A. - The role of wild animal populations in the epidemiology of tuberculosis in domestic animals: how to assess the risk. *Vet. Microbiol.*, 2006, **112**, 303-312.
- Corner L.A., Murphy D., Gormley E. - Mycobacterial infection in the Eurasian badger (*Meles meles*): the disease, pathogenesis, epidemiology and control. *J. Comp. Pathol.*, 2010, **144**, 1-24.
- Do Linh San E., Ferrari N., Weber J.M. - Socio-spatial organization of Eurasian badgers (*Meles meles*) in a low-density population of Central Europe. *Can. J. Z.*, 2007, **85**, 973-984.
- Drewe J.A., O'Connor H.M., Weber N., McDonald R.A., Delahay R.J. - Patterns of direct and indirect contact between cattle and badgers naturally infected with tuberculosis. *Epidemiol. Infect.*, 2013, **141**, 1467-1475.
- Hars J., Richomme C., Boschioli M.L. - La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Bull. Épid. Hebdo. Anses*, 2010, **38**, 28-31.
- Hutchings M.R., Harris S. - Quantifying the risks of TB infection to cattle posed by badger excreta. *Epidemiol. Infect.*, 1999, **122**, 167-174.
- Keuling O., Stier N., Roth M. - Commuting, shifting or remaining? Different spatial utilisation patterns of wild boar *Sus scrofa* L. in forest and field crops during summer. *Mamm. Biol.*, 2009, **74**, 145-152.
- Kowalczyk R., Jedrzejewska B., Zalewski A. - Annual and circadian activity patterns of badgers *Meles meles* in Białowieża Primeval Forest (eastern Poland) compared to other Palaearctic populations. *J. Biogeogr.*, 2003a, **30**, 463-472.

- Kowalczyk R., Zalewski A., Jedrzejewska B., Jedrzejewski W. - Spatial organization of badgers (*Meles meles*) in Białowieża Primeval Forest, Poland, and the influence of earthworms on badger densities in Europe. *Can. J. Zool.*, 2003b, **81**, 74-87.
- Kowalczyk R., Zalewski A., Jêdrzejewska B. - Daily movements and territory use by badgers *Meles meles* in Białowieża Primeval Forest. Poland. *Wildlife Biol.*, 2006, **12**, 385-391.
- Kruuk H. - Foraging and spatial organisation of the European badger, *Meles meles* L. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 1978, **4**, 75-89.
- Kruuk H., Parish T., Brown C.A.J., Carrera J. - The use of pasture by the European badger (*Meles meles*). *J. Appl. Ecol.*, 1979, **16**, 453-459.
- Kruuk H., Parish T. - Feeding specialization of the European badger (*Meles meles*) in Scotland. *J. Anim. Ecol.* 1981, **50**, 773-788.
- Mc Corry T., Whelan T.O., Welsh M.D. *et al.* - Shedding of *Mycobacterium bovis* in the nasal mucus of cattle experimentally infected with tuberculosis by the intranasal and the intratracheal routes. *Vet. Rec.*, 2005, **157**, 613-618.
- Mullen E.M., McWhite T., Maher P.K., Kelly D.J., Marples N.M., Good M. - Foraging Eurasian badgers (*Meles meles*) and the presence of cattle in pastures. Do badgers avoid cattle? *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2013, **144**, 130-137.
- Murphy D., Gormley E., Costello E., O'Meara D., Corner L.A. - The prevalence and distribution of *Mycobacterium bovis* infection in European badgers (*Meles meles*) as determined by enhanced post mortem examination and bacteriological culture. *Res. Vet. Sci.*, 2010, **88**, 1-5.
- Naranjo V., Gortazar C., Vicente J., De la Fuente J. - Evidence of the role of European wild boar as a reservoir of *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Vet. Microbiol.*, 2008, **127**, 1-9.
- Palmer M.V., Waters W.R., Whipple D.L. - Investigation of the transmission of *Mycobacterium bovis* from deer to cattle through indirect contact. *Michigan Bovine Tuberculosis Bibliography and Database*, 2004, Paper 72.
- Palphramand K.L., Newton-Cross G., White P.C.L. - Spatial organization and behaviour of badgers (*Meles meles*) in a moderate-density population. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 2007, **61**, 401-413.
- Payne A., Boschioli M.L., Gueneau E., Moyen J.L., Rambaud T., Dufour B., Gilot-Fromont E., Hars J. - Bovine tuberculosis in Eurasian badgers (*Meles meles*) in France. *Eur. J. Wildl. Res.*, 2013, **59**, 331-339.
- Phillips C.J.C., Foster C.R.W., Morris P.A., Teverson R. - The transmission of *Mycobacterium bovis* to cattle. *Res. Vet. Sci.*, 2003, **74**, 1-15.
- Roper T.J. - Badger, 386 pages, Ed. Collins, Londres, 2010.
- Said S., Tolon V., Brandt S., Baubet E. - Sex effect on habitat selection in response to hunting disturbance: the study of wild boar. *Eur. J. Wildl. Res.*, 2012, **58**, 107-115.
- Seaman D.E., Millspaugh J.J., Kernohan B.J., Brundige G.C., Raedeke K.J., Gitzen R.A. - Effects of sample size on kernel home range estimates. *J. Wildlife Manage.*, 1999, **63**, 739-747.
- Thornton P.D., Newman C., Johnson P.J. *et al.* - Preliminary comparison of four anaesthetic techniques in badgers (*Meles meles*). *Vet. Anaesth. Analg.*, 2005, **32**, 40-47.
- Vicente J., Höfle U., Garrido J.M., Fernandez-de-Mera I.G., Acevedo P., Juste R., Barral M., Gortazar C. - Risk factors associated with the prevalence of tuberculosis-like lesions in fenced wild boar and red deer in south central Spain. *Vet. Res.*, 2007, **38**, 451-464.
- Welander J. - Spatial and temporal dynamics of wild boar (*Sus scrofa*) rooting in a mosaic landscape. *J. Zool.*, 2000, **252**, 263-271.
- White P.C.L., Brown J.A., Harris S. - Badgers (*Meles Meles*), cattle and bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*): an hypothesis to explain the influence of habitat on the risk on disease transmission in Southwest England. *Proc. S. London B*, 1993, **253**, 277-284.
- Worton B.J. - Using Monte Carlo simulation to evaluate kernel-based home range estimators. *J. Wildlife Manage.*, 1995, **59**, 794-800.

Young J.S., Gormley E., Wellington E.M.H. -  
Molecular detection of *Mycobacterium bovis*  
and *Mycobacterium bovis* BCG (Pasteur) in soil.  
*Appl. Environ. Microbiol.*, 2005, **71**, 1946-1952.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A.,  
Smith G.M. - *Mixed Effect Models and  
Extensions in Ecology with R*. 573 pages, Ed.  
Springer, New York 2009.



### Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les financeurs de cette étude : le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, le Conseil Régional de Bourgogne, le Conseil Général de la Côte-d'Or, la Fédération départementale des chasseurs de Côte-d'Or, le groupement de défense sanitaire de Côte-d'Or, la Fédération nationale des chasseurs et l'ONCFS.

Les auteurs remercient également les assistants de terrain Julien Philippe et Jonathan Fligny, les agents du service départemental 21 de l'ONCFS ainsi que Stéphane Barbier et tous les piégeurs et chasseurs bénévoles ayant participé aux captures et aux manipulations des animaux.

Enfin, nous remercions Clément Calenge et Christophe Ferrier pour leur aide dans le traitement spatial des données.