

ÉTUDE PAR VIDÉOSURVEILLANCE DES INTERACTIONS ENTRE ANIMAUX SAUVAGES AU REGARD DU RISQUE DE TRANSMISSION DE *MYCOBACTERIUM BOVIS* *

Philipon Sixtine¹, Payne Ariane^{2,3}, Barbier Elodie³ et Dufour Barbara¹



RÉSUMÉ

Les interactions entre animaux de la faune sauvage sont susceptibles d'intervenir dans la transmission de maladies dues à des agents pathogènes multi-hôtes, tels que *Mycobacterium bovis*, agent de la tuberculose bovine. Bien que la France soit reconnue officiellement indemne de tuberculose bovine, l'infection est toujours présente dans quelques élevages bovins et dans la faune sauvage de certaines zones. Afin de mieux cerner les possibilités de circulation de *M. bovis* au sein des espèces sauvages sensibles trouvées infectées (sangliers, cervidés et blaireaux) en France, nous avons cherché à évaluer à quelle fréquence ces espèces ont visité des sites d'agrainage et des souilles, que nous considérons comme des zones à risque pour les contacts. Pour cela, nous avons utilisé des caméras de vidéosurveillance spécifiques situées près des zones d'agrainage et des souilles. Nous avons décrit les visites en termes de durée, de comportement et de nombre d'individus présents. Ensuite, nous avons estimé le nombre d'interactions intra-spécifiques et interspécifiques qui se produisent à ces endroits et qui pourraient conduire à la transmission de *M. bovis*. Puis nous avons estimé quelles interactions étaient les plus à risque pour la transmission de cette bactérie en évaluant la probabilité de sa transmission pour chacune d'entre elles à l'aide d'une méthode d'analyse qualitative de risque en santé animale utilisée par l'ANSES.

Les sites ont été fréquentés avec une moyenne de $1,41 \pm 2,07$ visites par jour pour chaque site. Les blaireaux ont davantage fréquenté les zones d'agrainage tandis que les cerfs ont fréquenté uniquement les souilles. Le comportement de nourrissage, abreuvement et fouissage, comportement le plus à risque pour l'excrétion et l'infection a dominé chez toutes les espèces. L'évaluation qualitative du risque conduite suggère que le sanglier pourrait être au centre de la transmission pluri-espèces malgré une capacité d'excrétion modérée. Des mesures de gestion de ces points de rencontre devraient être mises en œuvre afin de limiter les interactions dans le but de réduire la circulation *M. bovis* entre les animaux.

Mots-clés : interactions, faune sauvage, *Mycobacterium bovis*, vidéosurveillance.

.../..

* Reçu le 23 avril 2016 ; accepté le 9 juin 2016

¹ Ecole nationale vétérinaire d'Alfort (ENVA), Unité d'épidémiologie, Maisons-Alfort, France

² INRA, UMR 1347 Agroécologie, 17 rue de Sully, BP 86510, Dijon cedex, France

³ Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS), Direction des études et de la recherche, Unité des maladies de la faune sauvage, Gières, France

.../..

ABSTRACT

Interactions among wildlife are likely to play a role in the transmission of diseases caused by multi-host pathogens such as *Mycobacterium bovis*, the agent of bovine tuberculosis. Although France is officially free from bovine tuberculosis, some areas are still harboring infection in cattle and wildlife. We designed a study to assess how often wild species susceptible to bovine tuberculosis visited artificial feeding places and waterholes, which we considered as *a priori* hotspots for number of individuals and contacts.

Then we estimated the number of intra species and interspecies interactions occurring at these places which may lead to transmission of *Mycobacterium bovis*. Finally, we estimated which interactions were most risky for *M. bovis* transmission assessing the likelihood of transmission of *M. bovis* using the ANSES method for risk analysis in animal health. The sites were visited on average 1.41 ± 2.07 times per day. Badger visited baited places more frequently than waterholes whereas red deer visited only waterholes. Feeding, watering and foraging, which may lead to infection and excretion, were the most frequent behaviors. The qualitative risk assessment suggested that wild boars may represent the epidemiological link among species within the wild host community. Management measures at such meeting points should be implemented to limit interactions in order to reduce the circulation of *M. bovis* between animals.

Keywords: Interactions, Wildlife, *Mycobacterium bovis*, Video surveillance.



I - INTRODUCTION

La tuberculose bovine a été découverte dans la faune sauvage française pour la première fois en 2001 sur des cerfs élaphe tués à la chasse en forêt de Brotonne [AFSSA, 2009]. Par la suite, des actions de surveillance de la faune sauvage ont été conduites dans certains départements. Des cas d'infection à *M. bovis* ont été détectés chez le cerf (*Cervus elaphus*) et le sanglier (*Sus scrofa*) entre 2003 et 2007, puis chez le blaireau (*Meles meles*) à partir de 2009 en Côte-d'Or où une recrudescence de tuberculose bovine a été observée à partir de 2002 dans les élevages bovins. Les souches bactériennes mises en évidence dans la faune sauvage étaient les mêmes que celles présentes dans les cheptels bovins infectés, laissant supposer un lien épidémiologique entre les deux. L'étude du rôle épidémiologique des différentes espèces de la faune sauvage dans la transmission de *M. bovis* a mis en évidence l'existence possible d'un réservoir multi-hôtes en Côte-d'Or [Payne, 2014].

Les souilles sont des mares le plus souvent d'origine naturelle, remplies d'eau ou de boue, de superficie variable et de faible profondeur où les animaux viennent s'abreuver et, pour certaines espèces, se baigner. L'agraine est une pratique cynégétique consistant à nourrir des animaux dans leur environnement avec des céréales ; elle avait initialement pour but de maintenir la faune sauvage, essentiellement les sangliers, au sein des bois et forêts afin d'éviter les dégâts aux cultures. Différentes études ont montré que l'alimentation artificielle et les points d'eau pouvaient favoriser l'agrégation des populations d'animaux sauvages, avec pour conséquences de favoriser la transmission directe ou indirecte de la tuberculose bovine [Castillo *et al.*, 2011 ; Miller *et al.*, 2003 ; Sorensen *et al.*, 2014 ; Vicente *et al.*, 2007].

L'objectif de cette étude était d'explorer comment les interactions dans ces points de rencontre pouvaient permettre de faire circuler *M. bovis* au sein de la faune sauvage.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. COLLECTE DE DONNÉES

Les sites surveillés étaient constitués par huit souilles, d'origine naturelle ou anthropique et six places d'agrainage, situées au sein de la zone d'infection bovine de la Côte-d'Or dans laquelle tous les blaireaux et sangliers trouvés infectés dans ce département ont été détectés. Les sites surveillés étaient situés dans une zone où la forêt et le bocage dominant et où la densité de bovins est importante. Ils ont été choisis en privilégiant des lieux à priori bien fréquentés et sont représentés sur la figure 1.

La surveillance a été réalisée entre le mois de juin 2011 et le mois de mars 2013 permettant un suivi au cours de différentes saisons.

Le niveau de l'eau des souilles surveillées était variable selon les saisons et la plus petite souille ne contenait que de la boue pendant l'été.

Dans le cadre de ce travail, l'agrainage a été pratiqué sur des sites de piégeage destinés à capturer des sangliers [Payne, 2014]. Des captures de sangliers ont eu lieu uniquement au printemps et pendant l'été. Un seau de maïs par site était distribué et renouvelé quotidiennement en fonction de la quantité consommée.

Pour la vidéosurveillance, dix pièges photo à déclenchement automatique par le mouvement, de la marque HCO (modèle U-way) et de la marque Bushnell (modèle Trophy CAM) ont été utilisés. Les appareils ont été utilisés en rotation sur les différents sites.

Les caractéristiques techniques des deux modèles étaient similaires. L'intervalle minimal entre deux prises, annoncé par les fournisseurs d'appareils était de cinq secondes et la distance de détection de 15 mètres. La sensibilité de détection était réglée au maximum et l'appareil était placé à une distance de deux à cinq mètres du point à surveiller, à une hauteur de 150 à 200 cm au-dessus du sol, hors de portée des animaux. Lorsque l'appareil était en mode vidéo, à chaque déclenchement, une vidéo de 20 secondes était enregistrée, durée jugée suffisamment longue pour recenser les individus et visualiser leur

comportement tout en préservant les batteries. Les appareils étaient soit en mode de fonctionnement photo, soit en mode de fonctionnement vidéo. Au départ, le mode photo était privilégié afin de préserver la batterie puis progressivement, le mode vidéo a été envisagé, celui-ci étant plus informatif sur le comportement. Les appareils étaient en état de marche continue pendant l'ensemble d'une durée appelée « session ». Chaque session était caractérisée par un site de surveillance, une période de temps continue et correspondait à un positionnement de la caméra ainsi qu'à un mode d'enregistrement (photo ou vidéo) unique.

2. ANALYSE DES VISITES

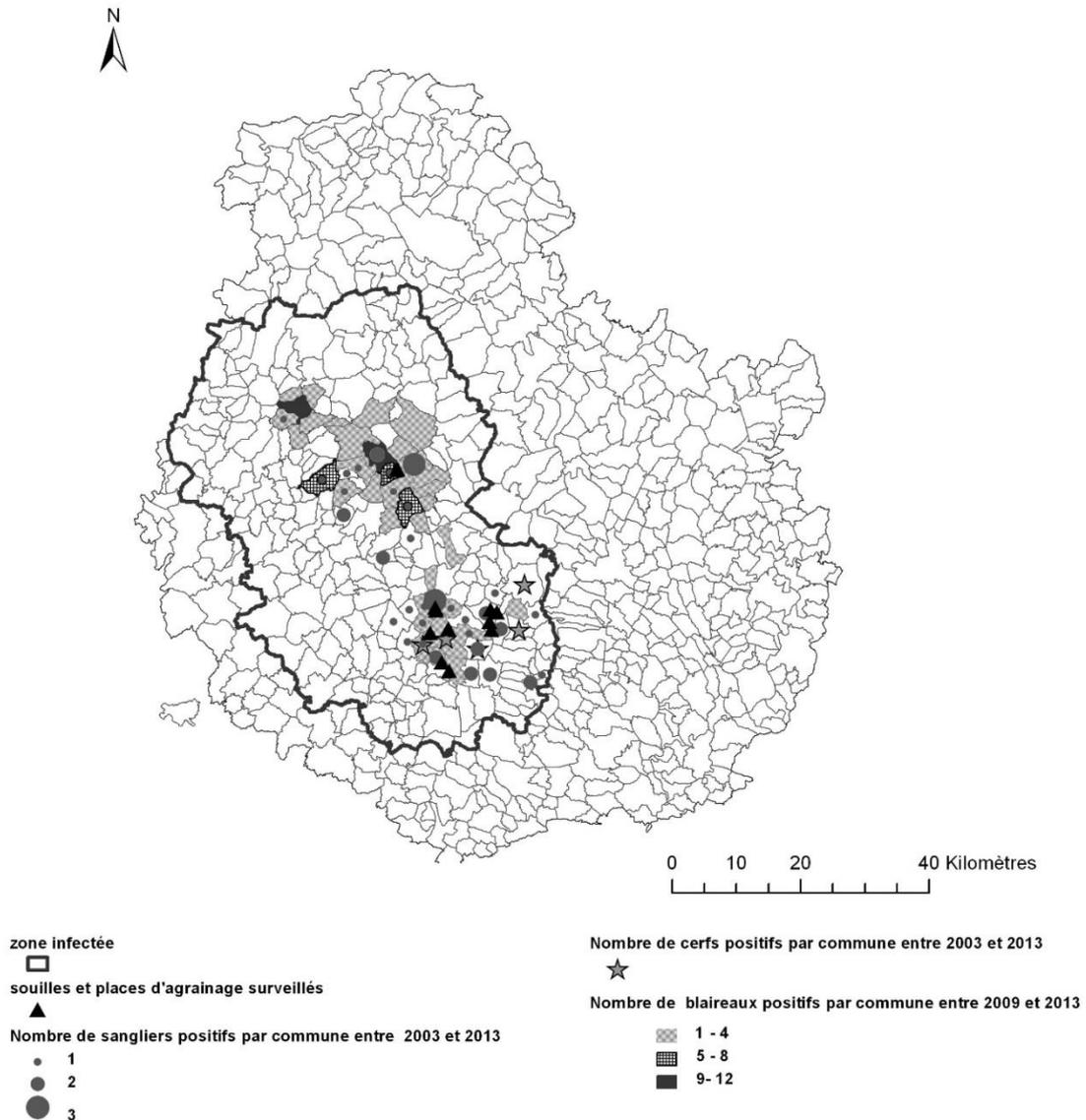
Les données obtenues ont été classées en « visites ». Une visite a été définie par l'observation d'un ou plusieurs individus d'une espèce donnée dans un intervalle de temps inférieur ou égal à 30 minutes.

Pour chaque visite, la durée de la visite, le nombre d'individus observés et l'occurrence des comportements observés ont été récoltés. La moyenne et l'écart-type ont été calculés pour chacun de ces paramètres.

La durée de la visite en minutes était calculée entre l'heure de déclenchement de la première vidéo (ou l'heure de prise de la première photo) et l'heure de la fin de la dernière vidéo (ou l'heure de prise de la dernière photo) constituant la visite. Lorsque la visite ne comportait qu'une seule photo ou une seule vidéo, la durée attribuée était 0,5 minute.

Concernant le nombre d'individus observés au cours de la visite, le nombre retenu était le nombre maximal d'individus observés au cours de la visite. Il s'agissait soit du nombre maximal d'individus observés sur une photo ou vidéo de la visite, soit sur plusieurs photos ou vidéos lorsque certains détails (tels que la taille, la présence ou l'absence de bois par exemple) permettaient d'identifier qu'il s'agissait d'individus différents.

Figure 1

Distribution des sangliers, cerfs et blaireaux détectés positifs à *M. bovis* et localisation des sites surveillés

Cinq types de comportements différents ont été établis : « nourrissage/abreuvement/fouissage » lorsqu'un individu mange, boit ou fouit (c'est-à-dire creuse avec son museau) le sol ou la souille, « baignade/grattage » lorsqu'un animal se baigne dans une souille ou se gratte, « marquage » lorsqu'un individu urine, défèque ou marque le territoire avec sa glande anale pour le blaireau, « interaction directe » lorsque deux individus d'espèces différentes sont présents sur la même photo ou vidéo et « passage » lorsqu'un individu ne pratique aucun des autres comportements précédemment établis. Plusieurs comportements pouvaient être recensés au cours d'une même

visite, soit parce que l'animal les montrait consécutivement, soit parce qu'ils étaient adoptés par différents individus au cours de la visite. Seul le comportement « passage » était exclusif de tous les autres.

Pour chaque espèce, la fréquentation des sites a été calculée (en nombre de visites par jour) et la fréquentation des souilles et des zones d'agraine a été comparée avec le test de Mann-Whitney, au niveau de signification de 5 %, à l'aide du logiciel XLSTAT. Les résultats sont présentés tel que : valeur de la moyenne ± valeur de l'écart-type. Le nombre d'individus par visite et l'occurrence des comportements sont également présentés.

Seuls les résultats pour les espèces blaireau, cerf et sanglier sont présentés, car ce sont les trois espèces trouvées infectées par *M. bovis* en Côte-d'Or.

3. DÉFINITION DES INTERACTIONS

Au sein de chaque session, les intervalles entre chaque visite ont été calculés. Les visites au comportement de passage n'ont pas été incluses car il a été considéré que ce comportement ne pouvait conduire à l'infection ou à la contamination d'un substrat dans l'environnement par *M. bovis*.

Une recherche bibliographique a été conduite dans le but de définir une fenêtre temporelle pendant laquelle *M. bovis* pouvait être capable de survivre dans l'environnement et aurait ainsi pu être compatible avec une transmission indirecte de tuberculose entre un individu excréteur et un individu réceptif. L'étude des interactions entre animaux de la faune sauvage a ensuite été effectuée en fonction de la durée de cette fenêtre temporelle.

Lorsque des animaux d'espèces différentes étaient présents sur une même photo ou vidéo, l'interaction était dite directe. Nous n'avons pas pris en compte les interactions directes

intraspécifiques correspondant aux interactions intragroupes. Lorsque deux visites distinctes sur un même site surveillé se succédaient dans un intervalle inférieur à celui de la fenêtre temporelle définie, l'interaction était dite indirecte.

Pour définir la fenêtre temporelle, nous nous sommes essentiellement fondés sur la publication de Fine *et al.* [2011] qui ont étudié la persistance de *M. bovis* dans différents substrats : l'eau, le foin, le maïs et la terre et dans les conditions climatiques du Michigan aux Etats-Unis.

Pour déterminer la fenêtre temporelle du site d'étude, deux périodes d'étude ont été définies, l'une couvrant l'automne et l'hiver appelée « automne-hiver », l'autre couvrant le printemps et l'été appelée « printemps-été » de la même manière que dans l'étude de Fine *et al.* [2011]. Puis, nous avons comparé les conditions climatiques du Michigan à celles du site d'étude. Le type de substrat a également été pris en compte : pour les souilles, nous nous sommes fondés sur les durées de persistance de *M. bovis* dans le sol et l'eau, alors que pour les zones d'agraineage, nous avons utilisé la rémanence trouvée sur le maïs.

Les durées de survie de *M. bovis* issues de l'étude de Fine *et al.* [2011] ainsi que les durées de fenêtre temporelle retenues dans l'étude sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1

Durée de la persistance de *M. bovis* dans les substrats sol, eau et maïs [Source : Fine *et al.*, 2011] et durée de la fenêtre temporelle retenue en fonction de la période, des zones de souille et d'agraineage

		Dernier jour où la mise en culture a été positive dans l'étude de Fine <i>et al.</i>			Durée de la fenêtre temporelle (jours) retenue dans notre étude
		Moyenne ^a (en jours)	Maximum ^b (en jours)		
Période « Automne-Hiver »	Sol	22	28	Souille	30
	Eau	32	58		
	Maïs	24	37	Agraineage	15
Période « Printemps-Été »	Sol	8	11	Souille	15 ^c
	Eau	18	48		
	Maïs	1,5	3	Agraineage	3

^a Correspond à la durée de survie moyenne de *M. bovis* obtenue dans l'étude de Fine *et al.*, 2011.

^b Correspond à la durée de survie maximale de *M. bovis* obtenue dans l'étude de Fine *et al.*, 2011.

^c La durée de la fenêtre temporelle de la souille de Veuve y a été établie à 10 jours pour la période « printemps-été » car elle est restée asséchée pendant la majeure partie de cette période.

4. ANALYSE DES INTERACTIONS

Les interactions intraspécifiques sont les interactions entre individus de la même espèce de groupes différents, tandis que les interactions interspécifiques font intervenir des individus d'espèces différentes. Ainsi, il existe trois types d'interactions intraspécifiques (entre blaireaux, entre cerfs et entre sangliers) et trois types d'interactions interspécifiques (entre blaireaux et cerfs, entre blaireaux et sangliers et entre sangliers et cerfs). Pour chaque type d'interaction (directe et indirecte confondue) la fréquence moyenne d'interaction et l'intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction ont été calculés. La fréquence d'interaction correspond au nombre moyen d'interactions par jour par session. L'intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction correspond à la valeur moyenne de l'intervalle de temps qui sépare deux visites et est exprimé en heures. La fréquence d'interaction et l'intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction ont été calculés pour les souilles et les zones d'agraineage puis comparés en utilisant le test de Mann-Whitney, au niveau de signification de 5 % à l'aide du logiciel XLSTAT.

Les fréquences des interactions intraspécifiques et interspécifiques ont été comparées. Puis pour chaque type d'interaction, les fréquences des interactions pour les souilles et les places d'agraineage ont été comparées en utilisant le test de Mann-Whitney, au niveau de signification de 5 % à l'aide du logiciel XLSTAT.

5. ÉVALUATION QUALITATIVE DU RISQUE

Nous avons ensuite procédé à une analyse qualitative du risque en utilisant l'échelle de la méthode d'analyse de risque en santé animale de l'ANSES [AFSSA, 2008]. Cette méthode utilise dix niveaux graduels (de nul : 0 à très élevé : 9) pour qualifier la probabilité de survenue d'un événement sanitaire indésirable [Dufour *et al.*, 2011]. Dans ce travail les conséquences n'ont pas été prises en compte, et donc seules les probabilités ont été estimées qualitativement.

Chaque niveau de probabilité a été discuté, conformément à la méthode, par trois évaluateurs.

Dans un premier temps, la probabilité d'émission de *M. bovis* par les différentes espèces a été estimée pour une visite, puis la probabilité de transmission de *M. bovis* au cours d'une interaction a été estimée. En effet, par souci de simplification, il a été considéré dans ce travail que

la probabilité d'émission par une espèce donnée lors d'une interaction était identique à la probabilité d'infection de cette même espèce.

Les souilles et les zones d'agraineage ont été distinguées.

5.1. ÉVALUATION QUALITATIVE DE LA PROBABILITÉ D'ÉMISSION DE *M. BOVIS* AU COURS D'UNE VISITE

Les paramètres intervenant dans la probabilité d'émission de *M. bovis* au cours d'une visite pris en compte étaient le nombre moyen d'individus présents, la durée moyenne ainsi que la fréquence moyenne de ces visites, le niveau d'infection et le niveau d'excrétion de chaque espèce. Le niveau d'infection et le niveau d'excrétion pour chaque espèce ont été déterminés dans l'étude d'Ariane Payne et ont été directement utilisés [Payne, 2014].

In fine, le comportement n'a pas été pris en compte puisqu'il ne permettait pas de mettre en évidence une différence entre les espèces.

Nous avons effectué plusieurs essais d'agrégation de ces scores (multiplicatifs, additifs) pour chacune des espèces. Finalement, les scores attribués pour chacun des paramètres ont été agrégés par multiplication. En effet, à cet égard, le mode multiplicatif s'est avéré le plus discriminant et c'est pourquoi nous l'avons retenu afin de mieux visualiser les éventuelles différences entre espèces. Une note globale pour chaque espèce a ainsi été obtenue.

5.2. ÉVALUATION QUALITATIVE DE LA PROBABILITÉ DE TRANSMISSION DE *M. BOVIS* AU COURS D'UNE INTERACTION

Six types d'interactions ont été étudiés : les interactions intraspécifiques pour les espèces blaireau, cerf et sanglier ainsi que les interactions interspécifique entre ces mêmes espèces.

Les paramètres intervenant dans le risque de transmission de *M. bovis* au cours d'une interaction étaient la fréquence moyenne de l'interaction étudiée, la probabilité d'émission de *M. bovis* pour l'espèce concernée (*cf.* paragraphe 5.1) et l'intervalle moyen entre les deux visites constituant l'interaction. Pour ce dernier paramètre, nous avons fait l'hypothèse que plus l'intervalle était court, plus la probabilité de transmission de *M. bovis* était élevée.

Pour les mêmes raisons que précédemment, les scores attribués pour chacun des paramètres ont été ensuite multipliés entre eux, constituant une note pour chaque type d'interaction.

Par ailleurs, en cas d'excrétion de la bactérie par un animal infecté, la dose de bactéries serait

normalement diluée dans la souille contrairement à un substrat sec et localisé comme le maïs présent sur une place d'agraine. Pour tenir compte de ce phénomène, la note obtenue pour chaque type d'interaction dans les souilles a été multipliée par un facteur arbitraire 0,8.

III - RÉSULTATS

L'effort de capture a été de 1 181 jours-pièges (piège-photo), se distribuant en 493 jours pour les sites d'agraine (répartis en 29 sessions) et 688 jours (répartis en 25 sessions) pour les sites de souille, et 15 597 vidéos et photos ont été prises.

1. DISTRIBUTIONS ET DESCRIPTIONS DES VISITES

Les sites ont été très fréquentés avec une moyenne de $1,41 \pm 2,07$ visites par jour pour les trois espèces confondues. Il n'y avait pas de différence significative de fréquentation entre les souilles et les zones d'agraine ($p=0,36$).

Le blaireau a été le plus présent en nombre de visites avec 48 % des visites, suivi du sanglier avec 35 % des visites et du cerf avec 17 % des visites. La durée des visites suit la même répartition.

1.1. BLAIREAUX

La fréquence moyenne des visites de blaireau était de $0,72 (\pm 1,02)$ visite par jour et variait entre 0 et 3,5. Les sites d'agraine ont été plus fréquentés par cette espèce que les souilles ($p < 0,0001$). La durée des visites des zones d'agraine ($13,7 \pm 28,4$ minutes) a été significativement supérieure à celle des souilles ($3,00 \pm 7,2$ minutes) ($p = 0,02441$). Le nombre de blaireaux identifiés a varié de 1 à 6 selon les visites ; cependant, pour 80 % des visites, un seul blaireau était présent. Le comportement de nourrissage/abreuvement/fouissage est le comportement qui a été le plus observé (occurrence globale de 80 %) quel que soit le type de site rencontré. Le second comportement le plus observé a été le passage avec une occurrence de 20 % (figure 2).

1.2. CERFS

La fréquence moyenne des visites de cerf était de $0,23 (\pm 1,14)$ visite par jour. Aucune visite de cerf

n'a été observée dans une zone d'agraine, alors que la fréquentation des souilles par des cerfs était proche d'une visite tous les deux jours ($0,49 \pm 1,65$). Les visites de cerfs ont duré $5,90 (\pm 9,45)$ minutes en moyenne (de 0,5 à 63 minutes) et près de 30 % des visites ont duré moins d'une minute. De 1 à 15 cerfs ont été dénombrés par visite ; la moyenne était proche de deux cerfs ($2,06 \pm 1,80$). Plus de la moitié des visites (109/205) ont été réalisées par un individu solitaire.

Le nourrissage/abreuvement/fouissage a été le comportement le plus fréquent avec 78,5 % des occurrences (161/205). Le second comportement le plus fréquemment observé a été la baignade avec une occurrence de 36 % (74/205). De véritables jeux de baignades ont parfois été observés. Le comportement de baignade était dans 90 % des cas (67/74) associé à celui de nourrissage/abreuvement/fouissage (figure 2).

1.3. SANGLIERS

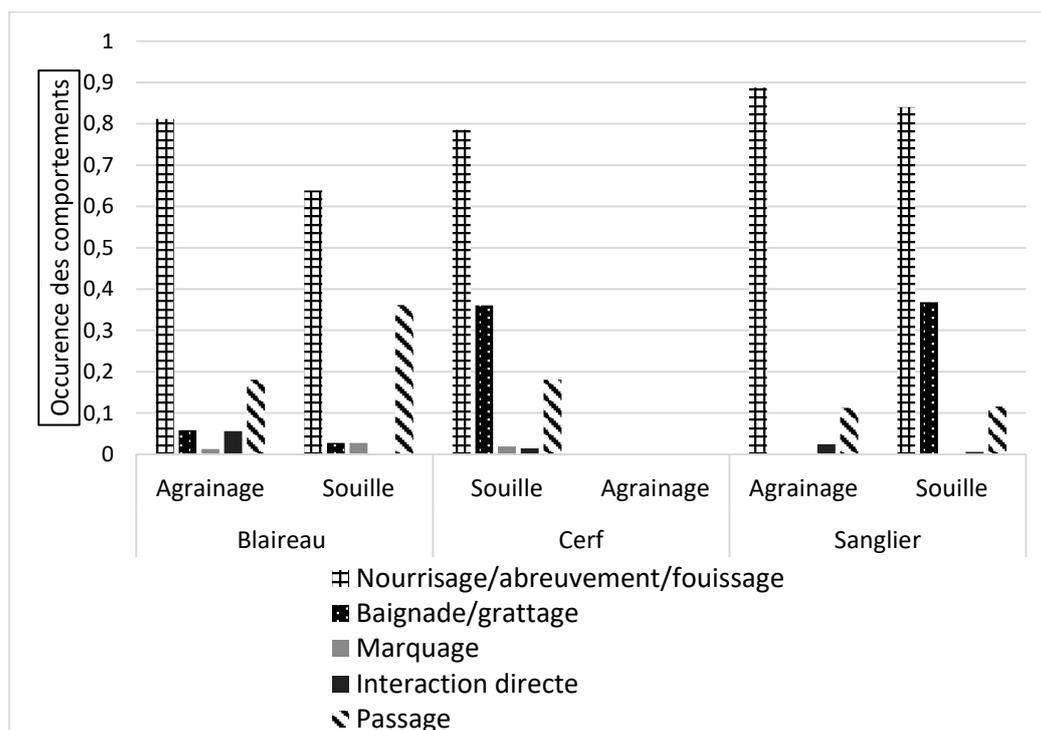
La fréquence moyenne des visites des sangliers était $0,47 (\pm 0,84)$ visite par jour et variait de 0 à 5,75 selon les sessions. Aucune différence significative de fréquentation entre les zones d'agraine et les souilles n'a été observée pour cette espèce. Les visites de sangliers ont duré en moyenne $9,50 (\pm 16,29)$ minutes (de 0,5 à 138 minutes). La durée des visites de sanglier en zone d'agraine ($20,36 \pm 25,25$) a été significativement supérieure à celle en zone de souille ($6,98 \pm 12,12$) ($p < 0,00001$). Le nombre moyen de sangliers par visite a été de $4,68 (\pm 4,33)$ individus et jusqu'à 21 sangliers ont pu être dénombrés. Trente-sept pourcent (158/425) des visites ont été réalisées par un individu solitaire. Le comportement le plus observé a été le nourrissage/abreuvement/fouissage avec une occurrence globale de 85 %. Le comportement de baignade/grattage a été le deuxième

comportement le plus observé mais il ne l'a jamais été dans les zones d'agraineage. Il s'agit d'un comportement de baignade exclusivement. Il a été observé dans près d'un tiers des visites des souilles

(127/345). Parmi ces visites, un comportement de nourrissage/abreuvement/fouissage a également été observé dans 90,6 % des cas (115/127) (figure 2).

Figure 2

Occurrence des différents comportements dans les zones d'agraineage et de souille pour les espèces blaireau, cerf et sanglier



2. DISTRIBUTIONS ET DESCRIPTION DES INTERACTIONS

Parmi les 18 233 interactions, seules six étaient directes, ce qui représente moins de quatre interactions directes pour 10 000.

La fréquence des interactions était élevée avec une moyenne de 15,37 ($\pm 32,22$) interactions par jour, tous types d'interactions confondus et présentait d'importantes différences selon les sessions (de 0 à 184,78 interactions par jour en moyenne selon les sessions). La fréquence des interactions intra spécifiques n'était pas significativement différente de la fréquence des interactions interspécifiques ($p=0,40$).

La fréquence d'interactions intraspécifiques entre blaireaux sur les zones d'agraineage était de presque 10 interactions par jour ($9,68 \pm 19,8$) et

très supérieure à celle dans les souilles ($0,25 \pm 1,23$) ($p < 0,0001$).

La fréquence d'interactions intraspécifiques entre sangliers dans les souilles était de presque sept interactions par jour ($6,90 \pm 12,46$) et très supérieure à celle dans les zones d'agraineage ($0,25 \pm 0,45$) ($p < 0,0001$).

Les cerfs n'ont fréquenté que les souilles. La fréquence des interactions intraspécifiques entre cerfs était de presque quatre interactions par jour en moyenne ($3,67 \pm 12,28$) dans les souilles.

En ce qui concerne les interactions interspécifiques, les interactions entre cerfs et sangliers et entre cerfs et blaireaux ont eu lieu exclusivement dans les souilles. La fréquence d'interactions inter spécifiques entre cerfs et sangliers dans les souilles était d'environ huit interactions par jour ($8,36 \pm 19,89$). La fréquence

d'interactions interspécifiques entre cerfs et blaireaux était de $0,28 \pm 1,09$. Enfin, les fréquences d'interaction entre blaireaux et sangliers dans les souilles ($0,68 \pm 2,65$) et les zones d'agraineage ($1,33 \pm 2,56$) ne présentaient pas de différence significative ($p=0,24$).

3. ÉVALUATION QUALITATIVE DU RISQUE

3.1. ÉVALUATION QUALITATIVE DE LA PROBABILITÉ D'ÉMISSION DE *M. BOVIS* AU COURS D'UNE VISITE

Les scores attribués pour chacun des paramètres pris en compte pour l'évaluation qualitative (ou d'infection par *M. bovis* au cours d'une visite) ainsi que la note synthétique globale de la probabilité d'émission de *M. bovis* pour les espèces blaireau, cerf et sanglier sont présentés dans le tableau 2.

En zone d'agraineage, la population de sangliers présentait la probabilité d'émission de *M. bovis* la plus élevée. La population de blaireaux présentait également une probabilité d'émission assez importante. La population de cerfs n'ayant été mise en évidence au niveau d'aucune zone d'agraineage au cours de l'étude, la probabilité d'émission a été considérée comme nulle.

En zone de souille, c'est également la population de sangliers qui présentait la probabilité d'émission de *M. bovis* la plus élevée. Cette probabilité était proche de celle représentée par la population de cerfs. La population de blaireaux présentait une probabilité d'émission beaucoup plus faible, mais néanmoins non nulle.

3.2. ÉVALUATION QUALITATIVE DE LA PROBABILITÉ DE TRANSMISSION DE *M. BOVIS* AU COURS D'UNE INTERACTION

Les scores attribués pour la fréquence de l'interaction étudiée, l'intervalle entre les visites constituant l'interaction sont présentés dans le tableau 3. La note globale fournissant l'évaluation qualitative de la probabilité de transmission de *M. bovis* au cours d'une interaction est également présentée dans le tableau 3 ainsi que sur la figure 3.

Les souilles ont présenté une probabilité de transmission globale de *M. bovis* supérieure aux zones d'agraineage. La population de cerfs n'ayant pas été mise en évidence dans les zones d'agraineage au cours de l'étude, la probabilité de transmission impliquant le cerf a été considérée comme nulle pour ces zones.

Tableau 2
Résumé des données et des scores attribués pour l'évaluation qualitative de la probabilité d'émission de *M. bovis* au cours d'une visite

	Souille		Agrainage		
	Données	Score attribué pour l'analyse qualitative du risque [Afssa, 2008]	Données	Score attribué pour l'analyse qualitative du risque [Afssa, 2008]	
Blaireau	Nombre d'individus moyen	1,03 ± 0,17	1-2	1,29 ± 0,68	1
	Durée moyenne (minutes)	3	3	13,72	7
	Fréquence moyenne (nombre de visites/jour)	0,08	1-2	1,26	7-8
	Infection*		3-4		3-4
	Excrétion*		6-7		6-7
	Note globale représentant la probabilité d'émission de <i>M. bovis</i> ou d'infection par <i>M. bovis</i> **		153,6		1 194,3
Cerf	Nombre d'individus moyen	2,06 ± 1,80	5	pas fréquenté	0
	Durée moyenne (minutes)	5,9	5	pas fréquenté	0
	Fréquence moyenne (nombre de visites/jour)	0,49 ± 1,65	4-5	0	0
	Infection*		2-3	pas fréquenté	0
	Excrétion*		7-8	pas fréquenté	0
	Note globale représentant la probabilité d'émission de <i>M. bovis</i> ou d'infection par <i>M. bovis</i> **		2 109,4		0
Sanglier	Nombre d'individus moyen	4,56 ± 4,09	7	5,24 ± 5,23	7-8
	Durée moyenne (minutes)	6,98	5	20,36	8-9
	Fréquence moyenne (nombre de visites/jour)	0,66 ± 1,16	5	0,31 ± 0,38	3-4
	Infection*		4-5		4-5
	Excrétion*		3-4		3-4
	Note globale représentant la probabilité d'émission de <i>M. bovis</i> ou d'infection par <i>M. bovis</i> **		2 756,3		3 514,2

* Les scores pour l'infection et l'excrétion sont issus directement de l'étude de Ariane Payne [Payne, 2014].

** La note globale a été obtenue par multiplication des scores attribués. Lorsque deux scores avaient été attribués, le score moyen a été retenu.

Tableau 3

Résumé des données et des scores attribués pour l'évaluation qualitative de la probabilité de transmission de *M. bovis* au cours des différentes interactions intraspécifiques et interspécifiques^a

		Données	Score attribué pour l'analyse qualitative du risque [Afssa, 2008]	Données	Score attribué pour l'analyse qualitative du risque [Afssa, 2008]
		Souille		Agrainage	
Interactions intra-spécifiques blaireaux	Fréquence moyenne des interactions *	0,25	1-2	9,68	8-9
	Intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction**	58,31	7-8	55,54	7-8
	Note globale représentant la probabilité de transmission de <i>M. bovis</i> au cours de l'interaction***		7,52.10⁵		1,21.10⁷
Interactions intra-spécifiques sangliers	Fréquence moyenne des interactions *	6,90	6-7	0,25	1-2
	Intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction**	154,57	6-7	40,45	5-6
	Note globale représentant la probabilité de transmission de <i>M. bovis</i> au cours de l'interaction***		7,70.10⁷		6,24.10⁷
Interactions intra-spécifiques cerfs	Fréquence moyenne des interactions *	3,8	4-5	0	0
	Intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction**	161,51	7-8	-	0
	Note globale représentant la probabilité de transmission de <i>M. bovis</i> au cours de l'interaction***		4,63.10⁷		0
Interactions inter-spécifiques blaireaux - cerfs	Fréquence moyenne des interactions *	0,28	1-2	0	0
	Intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction**	208,5	5-6	-	0
	Note globale représentant la probabilité de transmission de <i>M. bovis</i> au cours de l'interaction***		2,45.10⁶		0
Interactions inter-spécifiques blaireaux - sangliers	Fréquence moyenne des interactions *	8,36	8	0	0
	Intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction**	183,61	6	-	0
	Note globale représentant la probabilité de transmission de <i>M. bovis</i> au cours de l'interaction***		5,67.10⁶		2,52.10⁷
Interactions inter-spécifiques cerfs - sangliers	Fréquence moyenne des interactions *	8,36	8	0	0
	Intervalle moyen entre les visites constituant l'interaction**	183,61	6	-	0
	Note globale représentant la probabilité de transmission de <i>M. bovis</i> au cours de l'interaction***		7,44.10⁷		0

^a La probabilité d'émission de *M. bovis* ou d'infection par *M. bovis* au cours d'une visite pour chacune des espèces intervenant dans l'interaction n'apparaît pas dans le tableau.

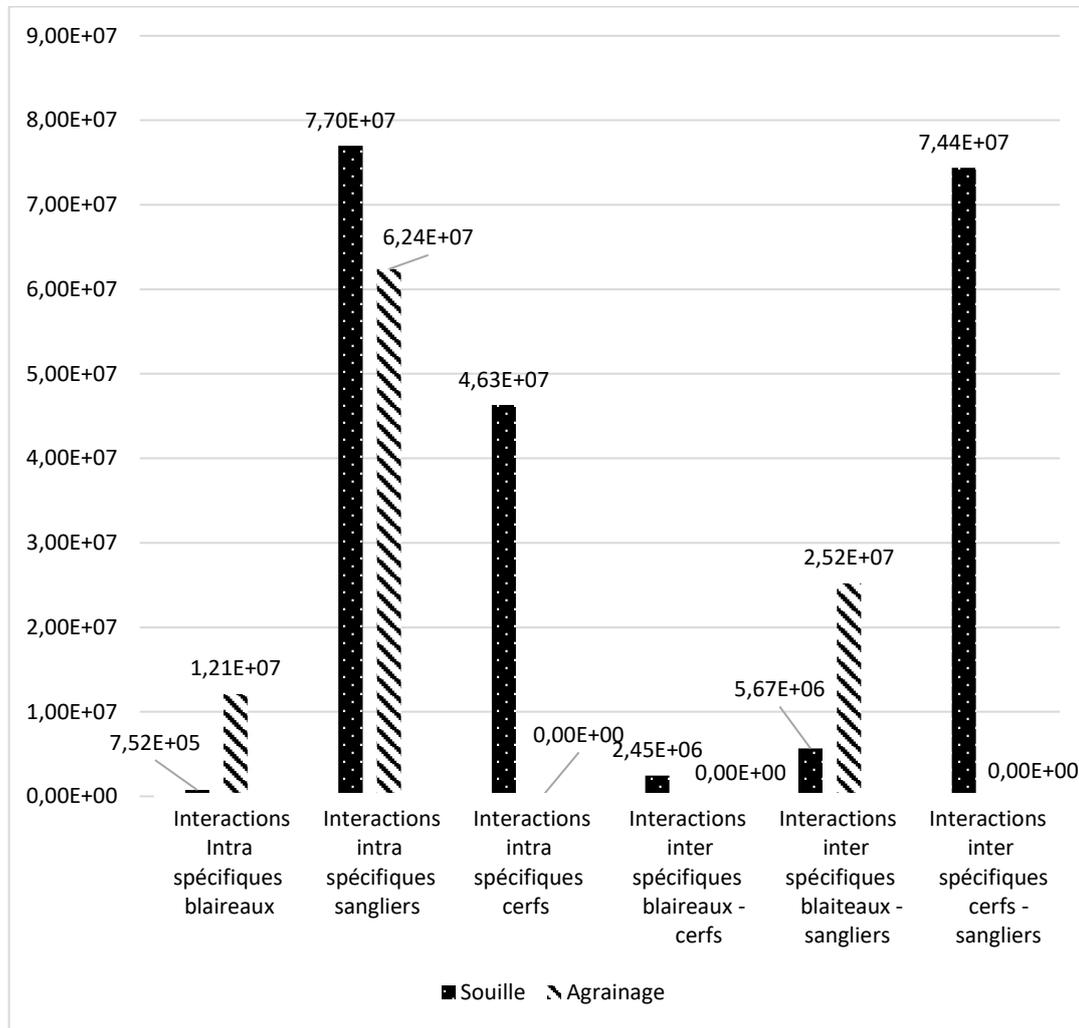
* En nombre d'interactions/jour.

** En heures.

*** La note globale a été obtenue par multiplication des scores attribués. Lorsque deux scores avaient été attribués, le score moyen a été retenu.

Figure 3

Représentation de l'évaluation qualitative de la probabilité de transmission de *M. bovis* au cours des différentes interactions intraspécifiques et interspécifiques



E+0n signifie dix exposant n.

IV - DISCUSSION

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES UTILISÉS

La vidéosurveillance a été choisie car elle présente l'avantage d'être une méthode non-invasive, permettant une surveillance continue au cours de la session, n'affectant pas le comportement des animaux, et permettant ainsi d'éviter les biais liés à une présence humaine. Cependant, le champ de vision ne permettait pas toujours de couvrir la totalité de l'espace ciblé et il est possible que des visites aient eu lieu dans ces « angles-morts » ou que des comportements n'aient pu être visualisés

[MacKenzie *et al.*, 2004]. La charge de la batterie a été de très rares fois un facteur limitant, ne permettant pas d'enregistrer toute la durée de la visite. De plus, 4 % des photos et vidéos ne montraient aucun animal ce qui pouvait être dû à la vitesse de déclenchement trop tardive de l'appareil, l'animal étant déjà sorti du cadre lors de la prise. Un peu moins de 0,2 % des vidéos et photos étaient ininterprétables principalement par des défauts techniques ou par des conditions climatiques telles qu'une forte humidité ou du

brouillard. Ces contraintes techniques ont sûrement conduit à une sous-estimation du nombre de visites et de leur durée, qui elle-même entraîne une sous-estimation des interactions et donc du risque de transmission de *M. bovis*. Cependant, en choisissant la visite comme unité d'analyse, cela a très probablement réduit ce biais. En effet, un animal qui serait passé rapidement devant la caméra et qui serait à l'origine d'une photo ou vidéo ne montrant aucun animal pouvait correspondre à un animal étant passé rapidement et rendant ainsi la probabilité de transmission de *M. bovis* très faible. Si l'animal a passé plus de temps sur le site, d'autres images et vidéos ont été capturées dans un court intervalle de temps ; cet animal est alors très probablement à l'origine d'une visite enregistrée.

La surveillance a été réalisée entre le mois de juin 2011 et le mois de mars 2013, permettant un suivi au cours de différentes saisons ; cependant, tous les sites n'ont pas été surveillés au cours de toutes les saisons et tous les sites n'ont pas été surveillés sur la même période. Ce déséquilibre peut avoir été à l'origine d'un biais de confusion entre l'effet du site et celui de la saison.

Les sites n'ont pas été choisis de façon aléatoire mais en privilégiant des lieux *a priori* très fréquentés, ce qui ne permet pas de mesurer l'attractivité moyenne des sites ou le nombre d'interactions. Les résultats issus de l'étude sont donc à interpréter avec précaution.

La présence de cages-pièges utilisées pour l'étude menée en parallèle [Payne, 2014] sur l'emplacement des points d'agraineage a pu dans certains cas influencer le comportement des animaux. Cependant, les captures dans les cages étaient peu fréquentes et ont eu lieu uniquement sur la période du printemps et de l'été.

La fenêtre temporelle de survie de *M. bovis* dans l'environnement utilisée pour déterminer les interactions a été définie uniquement à partir de données bibliographiques, en l'absence de données disponibles dans le site d'étude. Cela a probablement entraîné une imprécision dans la détermination de la fenêtre temporelle et donc dans l'estimation du nombre d'interactions.

Les scores attribués pour l'analyse du risque qualitatif peuvent être entachés de subjectivité de chaque évaluateur. Ce risque de subjectivité individuelle a toutefois été réduit par la collégialité

et la discussion entre les trois évaluateurs, dont certains rodés à cette méthode [AFSSA, 2008]. D'autre part, l'attribution des scores a été réalisée en comparant les espèces les unes par rapport aux autres ; la notation s'est donc faite de manière plus « relative » « qu'absolue ». Ces notes globales ne doivent être considérées que comme des ordres de grandeur. Pour autant, elles permettent de mettre en évidence des différences entre espèces et de hiérarchiser des éléments importants (souille/agraineage) ainsi que les contacts indirects possiblement infectants entre espèces.

La note obtenue pour chaque espèce dans les souilles a été multipliée par 0,8 afin de tenir compte du phénomène de dilution de la bactérie dans la souille. Cependant, ce facteur est arbitraire et ne permet pas d'apprécier précisément la dilution de la bactérie d'autant plus que le remplissage des souilles n'était pas le même d'une souille à l'autre et variait au cours de l'année. Ce facteur de 0,8 a tout de même permis de prendre en compte la dilution dans notre comparaison entre les souilles et l'agraineage.

Enfin, les résultats issus de l'étude des visites et des interactions entre des espèces sauvages sont très dépendants de la densité locale de ces espèces ainsi que de la disponibilité des ressources alimentaires [Carrasco-Garcia *et al.*, 2015]. Ces résultats ne peuvent donc pas être extrapolés à d'autres zones où les densités animales et le milieu sont susceptibles d'être différents, d'autant plus que les conditions d'agraineage sont spécifiques à l'étude et que l'infection et l'excrétion ont été déterminées dans la zone d'étude.

2. RÉSULTATS OBTENUS

Les interactions directes observées dans l'étude étaient très rares, ce qui est cohérent avec les données bibliographiques [Kukielka *et al.*, 2013 ; Payne *et al.*, 2015].

Habituellement, les cervidés sont nourris avec du fourrage, il n'est donc pas étonnant de ne pas les observer en zone d'agraineage.

Les probabilités de transmission de *M. bovis* dans les zones d'agraineage étaient élevées pour les interactions impliquant les blaireaux et les sangliers. Les probabilités de transmission de *M. bovis* des souilles étaient très élevées pour les interactions impliquant les sangliers et les cerfs.

Les souilles et les zones d'agraineage semblent donc jouer des rôles différents dans les interfaces de contact entre les espèces hôtes potentiels de tuberculose bovine : les zones d'agraineage relient plutôt les sangliers entre eux, les blaireaux entre eux et les blaireaux avec les sangliers, alors que les souilles sont une interface importante entre les sangliers, les cerfs ainsi que ces deux espèces entre elles. Les interactions entre les cerfs et les blaireaux ont été limitées et la probabilité de transmission de *M. bovis* entre ces deux espèces est très faible comparativement aux autres, laissant supposer que la transmission interspécies entre blaireaux et cerfs doit être probablement rare sur ces sites. Ces données suggèrent que le sanglier pourrait être le pivot d'un réservoir multi-espèces. D'une part, il est très réceptif à l'infection par *M. bovis* [AFSSA, 2009 ; Martín-Hernando *et al.*, 2007] et, d'autre part, l'étude des interactions montre qu'il entretient des contacts importants avec le cerf dans les souilles et avec le blaireau dans les zones d'agraineage. *M. bovis* pourrait circuler au sein de l'espèce blaireau et passer au sanglier dans les zones d'agraineage. Les sangliers pourraient retransmettre l'infection aux cerfs dans les souilles et inversement.

Le rôle épidémiologique du sanglier en Côte-d'Or n'a pu être déterminé avec précision ; cependant, l'hypothèse que le sanglier joue un rôle d'hôte de liaison avec une capacité modérée d'excrétion a pu être faite [Payne, 2014]. Malgré sa capacité d'excrétion modérée, le sanglier semble être au centre de la transmission pluri-espèces.

3. MISE EN PERSPECTIVE

Plusieurs études ont démontré que l'agraineage et la présence de points d'eau sont associés à une augmentation de prévalence de la tuberculose dans la faune sauvage, car favorisant les regroupements intraspécifiques et interspécifiques [Castillo *et al.*, 2011 ; Miller *et al.*, 2003 ; Sorensen *et al.*, 2014 ; Vicente *et al.*, 2007]. L'agraineage semble influencer la prévalence de tuberculose bovine dans la population de cerfs (*Odocoileus*

virginianus) sauvages du Michigan et est aussi associée à une augmentation du risque de transmission de maladies aux troupeaux bovins [Miller *et al.*, 2003]. Le nombre de visites et d'interactions observées dans les souilles et les points d'agraineage dans notre zone d'étude suggère que ces sites encouragent également le regroupement dans notre zone d'étude, ce qui pourrait être à l'origine d'une augmentation de la prévalence au sein des populations étudiées. Des mesures de gestion de ces sites mériteraient d'être étudiées.

Les principales stratégies mises en œuvre pour la gestion de la tuberculose au sein de la faune sauvage ont consisté à diminuer la densité des populations, à collecter et éliminer les viscères des animaux tués à la chasse et à interdire l'agraineage [Gortazar *et al.*, 2015 ; Zanella *et al.*, 2012]. Cette dernière mesure avait prouvé son efficacité dans la réduction du taux de prévalence de tuberculose bovine dans la population de cerfs de Virginie du Michigan [Miller et Sweeney, 2013 ; Sorensen *et al.*, 2014]. L'interdiction de l'agraineage a été appliquée dans certaines zones à risque en France, y compris dans la zone de l'étude. Cependant, aucune conclusion ne peut être tirée de cette mesure puisque d'autres mesures (réduction des densités de blaireaux, cerfs et sangliers, collecte des viscères) avaient également été mises en place simultanément ou précédemment à l'interdiction de l'agraineage. L'agraineage était encore pratiqué dans la zone de l'étude en 2012, et au vu des résultats, une transmission interspécies entre blaireaux et sangliers sur les sites d'agraineage est un scénario possible.

Certaines souilles incluses dans cette étude étaient d'origine anthropique et entretenues par des chasseurs afin de conserver le gibier sur leur zone de chasse. La limitation de ces points d'eau artificiels pourrait donc être proposée bien que l'on pourrait faire valoir que cela puisse être à l'origine de plus d'agrégation sur les points d'eau restants, y compris ceux destinés à l'élevage, qui sont également utilisés par la faune dans cette région [Payne *et al.*, 2015].

V - CONCLUSION

L'étude des interactions de la faune sauvage dans les souilles et les zones d'agraine dans la zone infectée de tuberculose en Côte-d'Or a montré l'existence de nombreuses interactions indirectes intraspécifiques mais également interspécifiques, soulignant ainsi l'importance de ces points de rencontre.

L'évaluation qualitative du risque conduite suggère que le sanglier pourrait être au centre de la transmission pluri-espèces malgré une capacité d'excrétion modérée.

Des mesures de gestion de ces points de rencontre pourraient être mises en œuvre dans le but de limiter les interactions en vue de réduire la circulation *M. bovis* entre les animaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Afssa - Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animale. *Rapp. Maisons-Alfort.*, 2008, 69 p.
- Afssa - Avis du 3 mars 2009 sur l'évaluation du risque relatif à la tuberculose de la faune sauvage de la Forêt De Brotonne. 2009.
- Carrasco-Garcia R., Angel Barasona J., Gortazar C., Montoro V., Sanchez-Vizcaino J.M., Vicente J. - Wildlife and livestock use of extensive farm resources in south central Spain: implications for disease transmission. *Eur. J. Wildl. Res.*, 2015, **62**, 65-78.
- Castillo L., Fernandez-Lliaro P., Matteos C., Carranza J., Benítez-Medina M.J., García-Jiménez W. *et al.* - Management practices and their association with *Mycobacterium tuberculosis* complex prevalence in red deer populations in Southwestern Spain. *Prev. Vet. Med.*, 2011, **98**, 58-63.
- Dufour B., Peel L., Moutou F., Boisseleau D., Chartier C., Lancelot R., Saegerman C., Thébault A., Hattenberger A.M., Toma B. - A Qualitative Risk Assessment Methodology. *Revue Scientifique et technique de l'Office international des épizooties*, 2011, **30**(3), 1-10.
- Fine A.E., Bolin C.A., Gardiner J.C., Kaneene J.B. - A Study of the Persistence of *Mycobacterium bovis* in the Environment under Natural Weather Conditions in Michigan, USA. *Veterinary Medicine International*, 2011 (765430), 1-12.
- Fichant R. - *Le Cerf : Biologie, Comportement, Gestion*, Edition Du Gerfaut. Ed, *Grand Gibier*, 2003, 248 p.
- Gortazar C., Che Amat A., O'Brien D.J. - Open questions and recent advances in the control of a multi-host infectious disease: animal tuberculosis. *Mammal Rev.*, 2015, **45**, 193-206.
- Kukielka E., Barasona J., Cowie C., Drewe J., Gortazar C., Cotarelo I. *et al.* - Spatial and temporal interactions between livestock and wildlife in South Central Spain assessed by camera traps. *Prev. Vet. Med.*, 2013, **112**, 213-221.
- Mackenzie D.I., Bailey L.I., Nichols J. *et al.* - Investigating Species Co-Occurrence Patterns When Species Are Detected Imperfectly. *J. Anim. Ecol.*, 2004, **73**, 546-555.
- Martín-Hernando M.P., Höfle U., Vicente J., Ruiz-Fons F., Vidal D., Barral M. *et al.* - Lesions associated with *Mycobacterium tuberculosis* complex infection in the european wild boar. *Tuberculosis*, 2007, **87**, 360-367.
- Miller R., Kaneene J.B., Fitzgerald S.D., Schmitt S.M. - Evaluation of the influence of supplemental feeding of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the prevalence of bovine tuberculosis in the Michigan wild deer population. *J. Wildl. Dis.*, 2003, **39**, 84-95.
- Miller R., Sweeney S. - *Mycobacterium bovis* (bovine tuberculosis) infection in north american wildlife: current status and opportunities for mitigation of risks of further infection in wildlife populations. *Epidemiol. Infect.*, 2013, **7**, 1357-1370.
- Payne A. - Rôle de la faune sauvage dans le système multi-hôtes de *Mycobacterium bovis* et risque de transmission entre faune sauvage

- et bovins. Etude expérimentale en Côte-d'Or. Thèse d'université, Université Lyon 1, Villeurbanne, 2014, 366 p.
- Payne A., Chappa S., Hars J., Dufour B., Gilot-Fromont E. - Wildlife Visits To Farm Facilities Assessed By Camera Traps In A Bovine Tuberculosis-Infected Area In France. *Eur. J. Wildl. Res.*, 2015, **62**, 33-42.
- Sorensen A., Van Beest F.M., Brook R.K. - Impacts of wildlife baiting and supplemental feeding on infectious disease transmission risk: a synthesis of knowledge. *Prev. Vet. Med.*, 2014, **113**, 356-363.
- Vicente J., Höfle U., Garrido J.M., Fernández-De-Mera I.G., Acevedo P., Juste R. *et al.* - 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.
- Zanella G., Bar-Hen A., Boschioli M.L., Hars J., Moutou F., Garin-Bastuji B. *et al.* - Modelling transmission of bovine tuberculosis in red deer and wild boar in Normandy, France: modelling transmission of bovine tuberculosis in red deer and wild boar. *Zoonoses Public Health.*, 2012, **59**, 170-178.



Remerciements

L'étude a été financée par le ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 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'Office national de la chasse et de la faune sauvage. Les auteurs tiennent à remercier particulièrement Julien Philippe et Jonathan Fligny pour leur aide technique, ainsi que Sophie Chappa de l'ONCFS.