

Facteurs de risque de tuberculose bovine – une étude cas-témoins dans trois départements français (Ardennes, Côte d'Or et Dordogne)

Maud Marsot (1), Benoit Durand (1), Axelle Scoizec (2), Marina Béral (3), Yoann Mathevon (4), Aurélie Courcou (1) (aurelie.courcou@anses.fr)

(1) Université Paris-Est, Anses, Laboratoire de santé animale, Unité Epidémiologie, Maisons-Alfort, France

(2) DRAAF Aquitaine, Cellule inter-régionale d'épidémiologie vétérinaire, Bordeaux, France

(3) DRAAF Bourgogne-Franche-Comté, Service régional de l'alimentation, Dijon, France

(4) GDS Dordogne, Périgueux, France

Résumé

La France fait face à une augmentation du nombre de foyers incidents de tuberculose bovine (TB) dans certaines zones. L'éradication de la TB dans ces zones nécessite la connaissance des facteurs de risque d'infection de la maladie. Bien que plusieurs études aient été menées pour identifier ces facteurs de risque, aucune n'a été réalisée en France. L'objectif de ce travail était d'étudier les facteurs de risque d'infection par la TB des élevages bovins des Ardennes, de Côte-d'Or et de Dordogne. Une étude cas-témoins a été menée à partir d'un questionnaire principalement axé sur les pratiques d'élevage, et les contacts directs et indirects entre troupeaux. D'autres variables d'intérêt ont été collectées en lien avec les mouvements d'animaux entre élevages et le contact entre bovins et faune sauvage. Une régression logistique a été réalisée sur 216 élevages (72 cas et 144 témoins). Les principaux facteurs de risque étaient le voisinage de pâtures avec des troupeaux ayant été récemment infectés et la présence de bâtiments d'élevage ou de stockage éloignés de zones habitées. Ces résultats soulignent l'importance majeure de la contamination des bovins par la TB au pâturage et des contacts directs et indirects entre bovins et faune sauvage dans la circulation de la TB des trois départements étudiés. Cette étude permet de cibler et d'adapter les mesures de surveillance, de biosécurité et de contrôle de la TB.

Mots-clés

Tuberculose bovine, facteur de risque, étude cas-témoins, bovins, France

Abstract

Risk factors for bovine tuberculosis – A case-control study in three French départements (Ardennes, Côte d'Or and Dordogne)

France is experiencing an increase in the incidence and geographical spread of bovine tuberculosis (bTB). To eradicate bTB from infected regions, it is essential to accurately know the infection risk factors. Although several studies identifying bTB risk factors were conducted, no information was available in France up to date. The objective of this work was to study the factors associated with the risk of bTB in cattle herds in the three French départements. A case-control study was conducted based on a questionnaire on farming practices and direct and indirect between-herd contacts. Other variables of interest related to animal movements between farms and to contacts between herds and wildlife were collected. A multivariate logistic regression was then implemented on 216 herds (72 cases and 144 controls). The two main risk factors identified were having a neighboring herd at pasture that had been recently infected and having a remote farm building. These results highlighted the major influence of cattle contamination at pastures and of direct or indirect contacts between wildlife and cattle on the bTB spread in the French departments studied. This study could help the decision-makers to implement adapted and targeted surveillance, biosecurity and control measures in France.

Keywords

Bovine tuberculosis, Risk factors, Case-control study, Cattle, France

La tuberculose bovine (TB) est une infection zoonotique causée principalement par *Mycobacterium bovis*. Même si la France est officiellement indemne de tuberculose bovine depuis 2001, l'infection n'est pas absente du territoire. Depuis quelques années, les autorités vétérinaires font face à une augmentation du nombre de foyers incidents qui sont passés d'une cinquantaine à une centaine par an, avec une concentration dans certaines zones de Côte d'Or, de Dordogne, des Ardennes, des Pyrénées-Atlantiques et des Landes. L'infection a été également mise en évidence chez certaines espèces d'animaux sauvages (sangliers, cerfs et blaireaux, Fediaevsky *et al.*, 2014), ce qui rend son contrôle plus complexe. Début 2014, la situation était globalement stationnaire; il n'y avait pas de diffusion importante de l'infection mais des difficultés subsistaient pour la contrôler dans les zones infectées. L'éradication de la TB de ces territoires semble donc nécessiter une meilleure connaissance des facteurs de risque d'infection dans ces zones.

Plusieurs études ayant pour objectif de déterminer les facteurs de risque d'infection par *Mycobacterium bovis* en élevage bovin ont été menées, notamment au Royaume-Uni et en Espagne (Humblot *et al.*, 2009; Skuce *et al.*, 2012). Les facteurs de risque mis en évidence concernent le plus souvent les mouvements de bovins (Bessell *et al.*, 2012), le voisinage au pâturage (Humblot *et al.*, 2010; White *et al.*, 2013; Wright *et al.*, 2015), les pratiques d'élevage (Johnston *et al.*, 2011; Martínez-López *et al.*, 2014), les antécédents de tuberculose bovine (Bessell *et al.*, 2012) et la faune sauvage (Bessell *et al.*, 2012; Martínez-López *et al.*, 2014). Étant donné que les situations britannique, espagnole et française

sont différentes (configurations et pratiques d'élevage, modalités de surveillance de la TB, densités des populations et prévalence d'infection chez les animaux domestiques et dans la faune sauvage), il est apparu nécessaire de déterminer si les facteurs de risque mis en évidence à l'étranger étaient retrouvés en France et si certaines caractéristiques ou pratiques des élevages français représentaient de nouveaux facteurs de risque d'infection non identifiés jusqu'à présent. De plus, les risques liés à la présence de blaireaux sont souvent perçus sur le « terrain » comme étant les plus importants, surtout dans les zones à forte incidence, où la faune sauvage et les bovins partagent les mêmes souches de TB et où l'abattage des blaireaux est perçu comme la mesure de contrôle la plus efficace. Face à une infection aux déterminants multiples, il apparaît donc nécessaire d'étudier les facteurs de risque associés à l'infection des élevages par la TB, afin de cibler les stratégies les plus susceptibles de réduire l'incidence de la maladie.

L'objectif de cette étude était donc d'identifier et de hiérarchiser les facteurs de risque d'infection des troupeaux bovins par la TB dans les zones infectées des Ardennes, de Côte d'Or, et de Dordogne, trois départements à forte incidence de TB. Nous nous sommes focalisés sur les potentiels facteurs d'introduction de la TB dans les élevages bovins, en lien avec les bovins (mouvements, voisinage sur pâture, contacts indirects entre troupeaux) ou la faune sauvage (proximité avec des blaireaux ou des sangliers). Les facteurs de risque de persistance de l'infection dans un troupeau ou son environnement après un premier épisode de tuberculose bovine et les facteurs de détection de l'infection n'ont pas été étudiés.

Protocole de l'étude cas-témoins mise en œuvre

Une étude cas-témoins a été réalisée au sein des élevages bovins des zones infectées par la TB des trois départements sélectionnés. Ces départements présentent des caractéristiques d'élevage similaires (il s'agit principalement d'élevages allaitants utilisant le pâturage une grande partie de l'année). L'effectif ciblé par l'enquête était de 240 élevages (80 cas et 160 témoins). Tous les élevages bovins répertoriés dans les zones infectées des trois départements sélectionnés et déclarés comme foyer de TB entre février 2012 et juillet 2014 ont été invités à participer à l'étude. Pour chaque cas ayant accepté de faire partie de l'étude, deux témoins ont été tirés au sort parmi les élevages ayant le même type de production (laitier, allaitant ou mixte), situés dans le même département, n'ayant jamais été foyer de TB entre 2004 et 2014 ou n'ayant jamais fait l'objet d'une suspicion forte de TB entre 2012 et 2014. La taille des élevages, souvent identifiée comme un facteur de risque de TB, a été prise en compte dans l'analyse statistique (comme facteur de confusion) et non dans l'appariement. Nous n'avons pas apparié les élevages en fonction de la taille de façon à pouvoir inclure dans l'étude des élevages de taille hétérogène, pour disposer de la plus grande variété possible de pratiques et caractéristiques d'élevage. Une suspicion forte de TB est définie comme le fait d'avoir un animal positif en intradermotuberculination comparative ou non-négatif en intradermotuberculination simple et/ou positif à l'interféron-gamma, qui soit non confirmé comme infecté par les tests au laboratoire. Les trois élevages (un cas et deux témoins appariés) forment un triplet. Pour chaque triplet, la date de référence a été définie comme la date de détection de l'infection dans l'élevage cas. La période d'étude correspondait aux deux ans précédant la date de référence.

Les 41 variables (les variables étant les expositions, caractéristiques ou pratiques dont on cherche à savoir si elles sont ou non facteur de risque de TB) prises en compte dans cette étude sont présentées de manière détaillée dans la publication de Marsot *et al.* (2016). Les variables considérées peuvent être classées en cinq grandes catégories, des variables en lien avec: (i) l'introduction d'un bovin dans le troupeau (e.g. achat de bovins – n = 4), (ii) le contact direct ou indirect de voisinage au pâturage (n = 6), (iii) les contacts indirects (e.g. matériel échangé ou en copropriété – n = 3), (iv) les contacts directs temporaires entre troupeaux (e.g. pension, prêt de bovins – n = 4), et (v) les contacts indirects avec un animal non-bovin (y compris la faune sauvage, e.g. abondance de blaireaux – n = 24). Les variables relatives au nombre et à l'origine des animaux achetés par les élevages enquêtés ont été obtenues à partir de la BDNI (Base de données nationale d'identification). Un statut de risque a été défini pour chaque éleveur vendeur. Un vendeur était considéré « à risque » s'il était devenu foyer entre la date de vente et la date de référence, et « pas à risque » dans le cas contraire. Les variables relatives au voisinage de pâture ont été obtenues à partir du registre parcellaire graphique (RPG, données disponibles dans les DRAAF). Comme pour les vendeurs, un statut de risque a été défini pour les voisins de pâture et les troupeaux partageant un point d'abreuvement avec les élevages enquêtés: ils ont été considérés « à risque » s'ils avaient été foyer pendant la période d'étude, et « pas à risque » dans le cas contraire. À partir de données bibliographiques, un questionnaire sur les caractéristiques et les pratiques d'élevage incluant les facteurs de risque potentiels d'introduction de la TB dans les élevages bovins a été créé. Nous avons inclus des questions concernant les achats de bovins (e.g. mode de transport des animaux achetés), les contacts directs temporaires (e.g. location d'animaux ou animaux en copropriété) ou indirects (e.g. partage d'équipement) entre troupeaux, les contacts directs ou indirects au pâturage (e.g. points d'eau en commun, type de clôtures), et les possibilités de contacts entre bovins et d'autres animaux (e.g. présence d'animaux domestiques dans l'exploitation, attractivité des pâtures pour la faune sauvage) pendant la période d'étude. Nous avons fait l'hypothèse que les cerfs ne jouaient pas un rôle majeur dans la circulation de la TB dans les trois départements sélectionnés, car

très peu de cerfs infectés ont été identifiés dans ces zones. Les cerfs n'ont donc pas été pris en compte dans cette étude. Les questionnaires ont été administrés en entretien en face-à-face par quatre étudiantes vétérinaires de 3^e ou 4^e année entre les mois de juillet et août 2014. Par ailleurs, les variables relatives à l'abondance de sangliers ont été obtenues à partir des tableaux de chasse des zones enquêtées. Ces données ont été fournies par les fédérations des chasseurs (FDC) ou par les directions départementales des territoires (DDT). La densité de blaireaux par petite région agricole (PRA) a été évaluée à partir de la publication de Calenge *et al.* (2015). Les variables relatives au paysage ont été déterminées à partir d'une base de données IGN appelée BD TOPO® VEGETATION. La variable relative à la prévalence d'infection des sangliers a été calculée à partir de la base de données nationale de surveillance de la TB au sein de la faune sauvage (Sylvatub).

Un modèle logistique multivarié a été développé pour analyser les données en considérant le statut par rapport à la TB comme variable à expliquer et l'élevage comme unité épidémiologique. L'analyse a été réalisée en plusieurs étapes: un test de linéarité pour identifier la forme adéquate des variables quantitatives, une analyse univariée entre la variable à expliquer et chaque variable explicative en retenant les variables en dessous du seuil de significativité de 20 %, un test de colinéarité pour les variables retenues à l'étape précédente et l'analyse multivariée en prenant en compte dans le modèle la taille d'élevage comme facteur de confusion, et les deux variables d'appariement entre cas et témoins, à savoir le département et le type de production. La sélection de modèle a été effectuée à partir du critère d'information d'Akaike (AIC) corrigé pour les petits échantillons en ayant recours à de l'inférence multi-modèles, aboutissant à un modèle moyen (Nicolas *et al.*, 2014). Les résultats sont exprimés à l'aide des odds-ratios (OR) auxquels sont associés les intervalles de confiance à 95 %. Une courbe ROC a été utilisée pour tester la qualité du modèle. Finalement, la fraction attribuable de chaque facteur de risque a été calculée. Cela correspond à la proportion de cas de TB dans la population qui sont dus à l'exposition considérée.

Facteurs de risque d'infection par la TB dans les zones étudiées

Sur les 289 élevages sélectionnés pour l'étude, certains n'ont pas pu être enquêtés ou analysés pour différentes raisons: 64 éleveurs ont refusé de participer à l'enquête (Tableau 1) et neuf avaient plus de 30 % de pâtures en dehors du département, pâtures pour lesquelles on ne disposait d'aucune donnée). Nous avons comparé la taille d'élevage et le type d'élevage des éleveurs enquêtés et des éleveurs ayant refusé de participer à l'étude. Nous avons constaté qu'il n'y avait pas de différence entre les deux catégories d'éleveurs (enquêtés vs refus), garantissant ainsi l'absence de biais au moment de la sélection. Au total, 216 élevages (72 cas et 144 témoins) ont été analysés. Le Tableau 1 fait une synthèse des caractéristiques (type de production et département) des élevages analysés. Quarante et

Tableau 1. Caractéristiques des élevages enquêtés par département et type de production

	Ardennes		Côte-d'Or		Dordogne	
	Cas	Témoins	Cas	Témoins	Cas	Témoins
Refus (n)	0	0	3	27	5	29
Inclus dans l'étude (n)	9	18	27	54	36	72
Type: nombre d'élevages par catégorie (% du nombre total d'élevages)						
Allaitant	8 (4)	16 (7)	24 (11)	48 (22)	28 (13)	56 (26)
Laitier	1 (0,5)	2 (1)	2 (1)	4 (2)	6 (3)	12 (5)
Mixte	0 (0)	0 (0)	1 (0,5)	2 (1)	2 (1)	4 (2)
Taille d'élevage: nombre de vaches à la date de référence						
Moyenne	38,4	40,6	94,5	47,3	52,2	42,8
SE	6,9	7	8,8	4,4	5,9	4,1

SE: erreur standard de la moyenne

Tableau 2. Odds ratios, fractions attribuables (%) et intervalles de confiance à 95 %, obtenus à partir du modèle moyen de l'infection par la TB des troupeaux bovins enquêtés des zones infectées de TB des Ardennes, de Côte d'Or et de Dordogne.

Variable	Estimation (SE)	Odds ratio	Intervalle de confiance à 95 %		Fraction attribuable	Intervalle de confiance à 95 %	
			minimum	maximum		minimum	maximum
Intercept	-2,2 (0,7)	-	-	-	-	-	-
Achat de bovins dans des élevages « à risque » au cours des six dernières années	0,6 (0,4)	1,9	0,9	4,2	-	-	-
Au moins un voisin de pâture « à risque »	1,3 (0,4)	3,6	1,5	8,5	30,7	11,8	49,7
Au moins un abreuvement commun avec un élevage « à risque »	1,4 (0,7)	4,1	1,1	15,1	16,2	0	33,9
Achat d'herbe sur pied							
pas d'achat	-	-	-	-	-	-	-
achat pour faucher	0,1 (0,5)	1,1	0,5	2,9	-	-	-
achat pour pâturer	0,9 (0,6)	2,5	0,8	7,5	-	-	-
Au moins un salarié embauché par un groupement d'employeurs et/ou utilisation du service de remplacement	0,2 (0,5)	1,2	0,5	3	-	-	-
Score d'abondance de blaireaux (longueur de lisières dans une zone de 500 m autour des pâtures de l'élevage)	0,3 (0,4)	1,3	0,6	2,8	-	-	-
Score de prévalence de TB des sangliers	0,6 (0,4)	1,8	0,8	3,9	-	-	-
Superficie des zones boisées dans les pâtures de l'élevage	0,2 (0,4)	1,2	0,5	2,9	-	-	-
Alimentation au pâturage parfois distribuée le soir	0,3 (0,4)	1,4	0,7	3	-	-	-
Présence de points d'alimentation au pâturage de type auges, nourrisseurs à veaux ou alimentation à même le sol	0,7 (0,8)	1,9	0,4	8,8	-	-	-
Au moins un bâtiment d'élevage ou de stockage des aliments à plus de 300 m des zones habitées (hameau, village, etc.)	0,9 (0,4)	2,3	1,1	4,8	27,6	6,5	48,7
Taille d'élevage	0,01 (0,005)	-	-	-	-	-	-
Type d'élevage							
allaitant	-	-	-	-	-	-	-
laitier	0,02 (0,5)	-	-	-	-	-	-
mixte	-1,0 (1,0)	-	-	-	-	-	-
Département							
Ardennes	-	-	-	-	-	-	-
Côte d'Or	-0,9 (0,6)	-	-	-	-	-	-
Dordogne	-0,2 (0,6)	-	-	-	-	-	-

SE: erreur standard de la moyenne

une variables ont été testées dans l'analyse univariée. À partir des variables associées au statut des élevages pour la TB (n = 15), quatre (présence d'auges, de râteliers, de nourrisseurs à veaux au pâturage) ont été supprimées à cause de leur colinéarité avec une autre variable (présence de points d'alimentation au pâturage). Le modèle moyen final a permis de retenir trois variables associées au statut TB de l'élevage (Tableau 2): (i) avoir des voisins de pâture « à risque » (OR = 3,6 [1,5 ; 8,5]_{95%}), (ii) avoir un abreuvement en commun avec un élevage « à risque » (OR = 4,1 [1,1-15,1]_{95%}), et (iii) avoir des bâtiments d'élevage ou de stockage des aliments éloignés de plus de 300 m de zones d'habitation (OR = 2,3 [1,1 ; 4,8]_{95%}). Par ailleurs, si nous avons considéré les intervalles de confiance à 90 %, deux variables seraient à la limite de la significativité: l'achat de bovins dans des élevages « à risque » (OR = 1,9 [1,0-3,7]_{90%}) et l'achat d'herbe sur pied pour pâturer (OR = 2,5 [1,0-6,2]_{90%}). L'aire sous la courbe ROC du modèle final était de 0,80 [0,73 ; 0,86]_{95%}, ce qui signifie que le modèle est de bonne qualité. La fraction attribuable pour le voisinage de pâture « à risque », l'abreuvement en commun « à risque » et les bâtiments isolés étaient respectivement de 31 % [12 ; 51]_{95%}, 16 % [1 ; 34]_{95%} et 28 % [7 ; 49]_{95%}.

Privilégier les mesures de biosécurité pour réduire la circulation de la TB

Ainsi, d'après les résultats de notre étude, la voie de transmission majeure de la TB semble être au pâturage *via* des contacts entre troupeaux bovins par-dessus la clôture ou *via* une source de

contamination externe (faune sauvage, environnement), et dans une moindre mesure *via* des contacts autour des points d'abreuvement en commun. Comme, dans cette étude, nous avons pris en compte un grand nombre de variables indicatrices des contacts bovins-faune sauvage au pâturage, cela privilégie l'importance prépondérante des contacts entre bovins au pâturage par-dessus la clôture dans la contamination par la TB. Les contacts entre troupeaux bovins par-dessus les clôtures ont déjà été identifiés au Royaume-Uni comme des facteurs de risque associés à l'apparition de foyers de TB (White *et al.*, 2013). Par contre, c'est la première fois que l'on identifie le partage de points d'abreuvement comme facteur de risque. En ce qui concerne le voisinage au pâturage, nous observons que les pâtures des élevages enquêtés, notamment des élevages cas, sont regroupées dans une zone précise. Il serait alors intéressant d'étudier plus amplement les facteurs de risque liés au voisinage, en testant par exemple si la structure spatiale des pâtures des élevages enquêtés influence les relations de voisinage mises en évidence dans notre étude.

Le modèle montre également le fort impact de la présence de bâtiments éloignés des zones habitées dans une exploitation sur le risque d'introduction de TB dans l'élevage. Ce résultat pourrait s'expliquer par une plus grande attractivité de ces bâtiments pour la faune sauvage, comparée à celle des bâtiments proches de zones habitées. Des blaireaux notamment, qu'ils soient infectés ou non, peuvent utiliser les bâtiments de l'exploitation comme refuge ou pour chercher de la nourriture, entrant donc en contact direct ou indirect avec les bovins. Ce facteur de risque est identifié comme étant aussi important que le voisinage de pâture d'un élevage récemment infecté, avec une fraction

attribuable de 28 % (contre 31 % pour les contacts sur pâture). Cette valeur élevée peut être expliquée par la forte fréquence d'exposition à ce facteur (32 % des élevages enquêtés possédait au moins un bâtiment à distance des zones habitées), malgré l'OR plus faible que celui lié au voisinage de pâtures (3,6 pour les contacts au pâturage contre 2,3 pour les bâtiments isolés). Ces résultats pourraient, sous l'hypothèse que les bâtiments isolés attirent plus la faune sauvage, être mis en rapport avec d'autres études qui soulignent l'importance de la faune sauvage dans la circulation de la TB (Garnett *et al.*, 2002; Martínez-López *et al.*, 2014).

Le manque de puissance de l'étude étant relatif, nous avons regardé les variables en limite de significativité. Ainsi, en considérant les intervalles de confiance à 90 %, il semblerait que les achats de bovins soient une autre voie d'introduction de la TB à considérer. Ce facteur de risque est largement identifié dans la littérature comme étant un facteur de risque d'infection par la TB (Bessell *et al.*, 2012). Notre résultat va dans ce sens, même si l'étude n'a pas pu le confirmer à proprement parler. Il en est de même avec l'achat d'herbe sur pied, facteur potentiel d'introduction de la TB dans les élevages bovins de la population d'étude. Cette exposition regrouperait plusieurs risques, comme la survie de la bactérie dans l'environnement ou un contact additionnel avec des voisins de pâture et/ou la faune sauvage. La limite majeure de cette étude est de n'avoir pas pu prendre en compte la prévalence d'infection des blaireaux dans les variables explicatives. En effet, nous n'avions pas de données suffisantes pour calculer une prévalence d'infection chez les blaireaux dans les zones étudiées. Ceci est lié au fait que les blaireaux analysés pour la TB sont localisés autour des foyers bovins, et que très peu d'analyses sont réalisées autour des élevages non-foyers (ici les élevages témoins). Cependant, la bonne qualité du modèle permet d'être confiant dans le fait que nous ayons identifié et, par le biais des fractions attribuables, hiérarchisé les principaux facteurs de risque d'introduction de la TB dans les zones infectées des trois départements étudiés.

L'ensemble de ces résultats suggèrent donc l'importance majeure de la contamination des bovins par la TB au pâturage et du contact direct ou indirect entre bovins et faune sauvage, notamment *via* des bâtiments isolés, dans la circulation de la TB dans les Ardennes, en Côte d'Or et en Dordogne. L'ensemble de ces résultats conforte l'importance capitale des mesures de biosécurité pour réduire la transmission de la maladie. Il est essentiel d'empêcher, dans les zones infectées, les contacts entre troupeaux voisins de pâture (par exemple, par la mise en place de doubles clôtures), ainsi que les contacts entre troupeaux aux points d'abreuvement. Enfin, il est important de limiter le plus possible l'accès aux bâtiments d'élevage et de stockage d'aliments, notamment isolés, à la faune sauvage. Nous conseillons d'éviter l'achat d'herbe sur pied pour pâturer pour limiter le risque potentiel associé pour la TB. Par contre, il semble difficile d'identifier des vendeurs de bovins « à risque », et donc d'agir sur ce potentiel facteur de risque. Ces différentes précautions sont à appliquer en les adaptant au cas par cas et selon le contexte épidémiologique de la zone. Finalement, cette étude va permettre de mieux cibler les mesures de surveillance, de biosécurité et de contrôle de la TB. En effet, limiter le nombre de recommandations et cibler les plus efficaces semble être un prérequis pour garder les éleveurs et les acteurs locaux motivés et impliqués dans le programme d'éradication de la TB en France.

Remerciements

Les auteurs remercient la DGAL pour le financement de cette étude, ainsi que le groupe de suivi de l'étude et tous les organismes impliqués dans la conception de l'étude et le soutien logistique (les DRAAF Aquitaine, Bourgogne et Champagne-Ardenne, les GDS, GTV, DDecPP des Ardennes, de Côte d'Or et de Dordogne). Nous remercions également l'ensemble des éleveurs enquêtés, Lydia Bellecave, Fanny Carez, Hélène Dupire, Yolaine Lebordais (enquêtrices terrain), ainsi qu'Ariane Payne, Sandrine Ruettes et Clément Calenge (ONCFS) pour leur aide dans la création des variables liées à la faune sauvage. Nous remercions les FDC et les DDT des Ardennes, de Côte d'Or et de Dordogne pour la transmission de données ayant servi à l'élaboration de variables utilisées dans cette étude.

Références bibliographiques

- Bessell, P.R., Orton, R., White, P.C.L., Hutchings, M.R., Kao, R.R., 2012. Risk factors for bovine tuberculosis at the national level in Great Britain. *BMC Vet. Res.* 8, 51.
- Calenge, C., Chadoeuf, J., Giraud, C., Huet, S., Julliard, R., Monestiez, P., Piffady, J., Pinaud, D., Ruettes, S., 2015. The spatial distribution of Mustelidae in France. *PLoS one* 10, e0121689.
- Fediaevsky, A., Courcoul, A., Boschiroli, M.L., Reveillaud, E., 2014. Bovine tuberculosis in France in 2013: results of a more proactive strategy. *Bul. Epid. Santé Anim.* 4-11.
- Garnett, B.T., Delahay, R.J., Roper, T.J., 2002. Use of cattle farm resources by badgers (*Meles meles*) and risk of bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) transmission to cattle. *Proceedings of the Royal Soc. Biol. Sci.* 269, 1487-1491.
- Humblet, M.-F., Boschiroli, M.L., Saegerman, C., 2009. Classification of worldwide bovine tuberculosis risk factors in cattle: a stratified approach. *Vet. Res.* 40, 50.
- Humblet, M.-F., Gilbert, M., Govaerts, M., Fauville-Dufaux, M., Walravens, K., Saegerman, C., 2010. New assessment of bovine tuberculosis risk factors in Belgium based on nationwide molecular epidemiology. *J. Clin. Microbiol.* 48, 2802-2808.
- Johnston, W.T., Vial, F., Gettinby, G., Bourne, F.J., Clifton-Hadley, R.S., Cox, D.R., Crea, P., Donnelly, C.A., McInerney, J.P., Mitchell, A.P., Morrison, W.I., Woodroffe, R., 2011. Herd-level risk factors of bovine tuberculosis in England and Wales after the 2001 foot-and-mouth disease epidemic. *Int. J. Inf. Dis.* 15, e833-e840.
- Marsot, M., Béal, M., Scoizec, A., Mathevon, Y., Durand, B., Courcoul, A., 2016. Herd-level risk factors for bovine tuberculosis in French cattle herds. *Prev. Vet. Med.* submitted
- Martínez-López, B., Barasona, J.A., Gortázar, C., Rodríguez-Prieto, V., Sánchez-Vizcaíno, J.M., Vicente, J., 2014. Farm-level risk factors for the occurrence, new infection or persistence of tuberculosis in cattle herds from South-Central Spain. *Prev. Vet. Med.* 116, 268-278.
- Nicolas, G., Chevalier, V., Tantely, L.M., Fontenille, D., Durand, B., 2014. A spatially explicit metapopulation model and cattle trade analysis suggests key determinants for the recurrent circulation of Rift Valley Fever virus in a pilot area of Madagascar highlands. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8, e3346.
- Skuce, R.A., Allen, A.R., McDowell, S.W.J., 2012. Herd-level risk factors for bovine tuberculosis: a literature review. *Vet. Med. Int.* 2012, e621210.
- White, P.W., Martin, S.W., De Jong, M.C.M., O'Keefe, J.J., More, S.J., Frankena, K., 2013. The importance of 'neighbourhood' in the persistence of bovine tuberculosis in Irish cattle herds. *Prev. Vet. Med.* 110, 346-355.
- Wright, D.M., Reid, N., Ian Montgomery, W., Allen, A.R., Skuce, R.A., Kao, R.R., 2015. Herd-level bovine tuberculosis risk factors: assessing the role of low-level badger population disturbance. *Sci. Rep.* 5, 13062.