



Ecole nationale Vétérinaire
d'Alfort

MASTER 2EME ANNEE
Santé publique Paris XI et Sciences et santé Paris XII
SPECIALITE
**SURVEILLANCE EPIDEMIOLOGIQUE DES
MALADIES HUMAINES ET ANIMALES**

RAPPORT DE STAGE

**Identification et caractérisation de pâtures « à risque » de tuberculose
bovine dans la zone infectée de Côte d'Or**

Présenté par

Malika BOUCHEZ-ZACRIA

Réalisé sous la direction de : Maud Marsot et Gina Zanella

Organisme et pays : Unité Epidémiologie, Laboratoire de Santé Animale, Anses – Maisons-Alfort, France

Période du stage : 5 janvier au 26 juin 2015

Date de soutenance : 22 juin 2015

Année universitaire 2014-2015

Remerciements

A Maud Marsot et Gina Zanella

*Pour leur aide tout au long de ce stage, leur investissement, leur disponibilité
Pour le temps passé sur cette étude et que j'ai eu plaisir à partager avec elles*

A Marina Béral

*Pour tous ses conseils dans la manipulation de QGIS et toutes les données
qu'elle nous a communiquées pour cette étude*

A Anélise Taconet et Fabrice Chevalier

Pour leur appui dans cette étude

A Elodie Barbier et Alain Hartmann

Pour leurs conseils et leur aide dans l'interprétation des données pédologiques

A Benoit Durand

*Pour tous ses conseils QGIS mais aussi pour sa disponibilité et toutes ses
réponses à mes questions*

A Aurélie Courcoul

Pour ses conseils tout au long du projet

A Aurore Palisson

*Pour ses conseils précieux de tous ordres, mais surtout dans l'utilisation de R et
les données BDNI qu'elle m'a efficacement fournies*

A Patrick Gasqui et Séverine Bord

Pour leurs conseils dans l'analyse statistique

A Ariane Payne

*Pour ses conseils, les cartes qu'elle ma communiquées et pour sa thèse
passionnante*

A Edouard Reveillaud

Pour les données Sylvatub qu'il nous a communiquées

A tous les éleveurs de l'étude Patrisk

*Pour leur investissement et leur intérêt,
Et pour leur aide dans les routes enneigées...*

A Dimitri Carene

Pour tous ses conseils en statistiques et R...

Aux équipes Epi-MAI et UCAS

Pour leurs conseils avisés et leurs commentaires lors des réunions

A Viviane Domarin et Christelle Gautheron

Pour la gestion de la partie administrative du stage et de l'enquête

Et à Adrien, Victor, Auguste et Franck

Pour leur soutien et leur compréhension tout au long de cette année de master

Résumé court

La tuberculose bovine, maladie causée par la mycobactérie *Mycobacterium bovis*, peut atteindre les bovins et différentes espèces sauvages (sanglier, blaireau, cerf), qui jouent un rôle épidémiologique variable suivant les zones géographiques. Cette maladie a un impact économique non négligeable. La France aujourd'hui indemne, doit veiller au maintien de ce statut. Les efforts de surveillance et de lutte sont donc renforcés dans certains départements particulièrement atteints, comme la Côte d'Or. Cependant, la maladie est toujours présente. Des remontées de terrain indiquent l'existence de pâtures plus « à risque » que d'autres vis-à-vis de la transmission de la tuberculose bovine. Les études menées jusqu'à maintenant ont été faites au niveau élevage, mettant en évidence différents facteurs de risque (relatifs aux pratiques d'élevage, au voisinage, à la faune sauvage et aux caractéristiques environnementales).

L'objectif de notre étude était d'identifier des pâtures « à risque » de tuberculose bovine et de les caractériser par des variables concernant les pratiques d'élevage, le voisinage, la faune sauvage et l'environnement.

Pour cela, nous avons mis en œuvre une enquête dans neuf élevages bovins allaitants déclarés infectés entre 2010 et 2014. Pour identifier les pâtures « à risque », nous avons relevé le passage de certains bovins sur les pâtures de ces élevages pour la période de deux ans précédant l'Arrêté Préfectoral portant Déclaration d'Infection (APDI). Les bovins inclus dans l'étude étaient (i) tous les bovins « positifs » de l'éleveur (avec une analyse PCR positive et/ou une culture positive précédée ou non d'une intradermoréaction positive) et (ii) le double de bovins « négatifs » (n'ayant jamais réagi à une tuberculination et ayant au moins deux ans au moment de l'APDI). Ainsi, 61 pâtures ont été analysées dans l'étude. Pour caractériser les pâtures « à risque », nous avons considéré des variables environnementales (pente, type de sol, relief, exposition, humidité), des variables en rapport avec la faune sauvage (densité de blaireaux et attractivité de la pâture vis-à-vis de la faune sauvage), le contact avec le voisinage et les pratiques d'élevage (fauchage, épandage, système de pâturage). Un modèle de régression logistique a ensuite été utilisé afin d'identifier les expositions associées au risque de tuberculose bovine à l'échelle de la pâture.

A l'issue de l'analyse multivariée, deux expositions indicatrices de risque ont été mises en évidence : les zones d'humidité localisées (OR = 10,9 [1,91-125,14]_{95%}) et la pratique du fauchage avant la mise à l'herbe (OR = 11,2 [1,55-133,79%]_{95%}). Ces résultats sont en accord avec le fait que la survie de *M. bovis* est favorisée par la présence d'humidité et qu'une faible hauteur d'herbe augmente la possibilité de contact avec la mycobactérie.

Ces résultats pourront servir aux éleveurs de la zone infectée de Côte d'Or : en associant les recommandations, déjà en cours dans le département, à des mesures pour améliorer le drainage des pâtures et pour éviter le fauchage avant pâturage, le contrôle de l'infection pourrait être optimisé.

Mots clés :

Mycobacterium bovis, tuberculose bovine, Côte d'Or, pâture, bovins, indicateurs de risque

Résumé long

La tuberculose bovine est due à une infection par *Mycobacterium bovis*. Elle touche plusieurs espèces animales, à la fois domestiques et sauvages, mais également l'Homme. Historiquement, la tuberculose humaine d'origine animale était principalement due à la consommation de lait cru ou de produits laitiers à base de lait cru. Depuis la mise en place de mesures sanitaires adaptées et la pasteurisation du lait, cette contamination est devenue rare dans les pays développés. Depuis 2001, la France est indemne de cette maladie suivant le seuil fixé par l'Union Européenne (moins de 0,1 % des cheptels déclarés infectés par an). Cependant, l'infection est encore retrouvée sur le territoire chez les bovins et au sein de la faune sauvage. Certains départements sont plus particulièrement touchés. C'est le cas de la Dordogne, des Pyrénées Atlantiques, de la Côte d'Or et des départements de la Camargue. Ils font donc l'objet de mesures renforcées afin de dépister les cas et de contrôler l'infection au sein des cheptels. L'étude que nous avons menée s'est déroulée en Côte d'Or, suite à des remontées de terrain issues d'études en cours dans cette zone, faisant référence à l'existence de pâtures qui seraient plus à risque de contaminer les bovins les ayant fréquentées.

Notre objectif a donc été d'identifier et de caractériser ces pâtures, dans la zone infectée de Côte d'Or (ouest du département), suivant différentes expositions.

Dans un premier temps, nous avons effectué une recherche bibliographique. Elle nous a permis de préciser la pathogénie de l'infection par *M.bovis* : il s'agit d'une maladie chronique, dont la manifestation clinique est rare avec des symptômes très peu spécifiques (fièvre, toux, faiblesse...). Les lésions sont quant à elles observées au niveau de certains nœuds lymphatiques et organes, en lien avec la voie de contamination, orale ou aérienne. En outre, la réglementation mise en place en Côte d'Or a été précisée ainsi que les tests pratiqués pour détecter les bovins infectés : un rythme de tests annuel est pratiqué en routine, basé sur une intradermoréaction, mettant en évidence une réaction allergique à un antigène tuberculique. Lorsque cette réaction est positive, l'animal est abattu et des analyses PCR et de culture bactérienne sont réalisées afin de confirmer ou non la suspicion. Par ailleurs, tous les bovins abattus pour la consommation humaine sont inspectés afin de vérifier l'absence de lésions. Lorsqu'un élevage possède un animal infecté, il est mis sous Arrêté Préfectoral portant Déclaration d'Infection (APDI), qui se poursuit par une désinfection et un abattage de tous ses animaux (total) ou uniquement de ceux se positivant aux tests (partiel). Les tests de dépistage sont réalisés tous les deux à quatre mois (sur le nouveau troupeau en cas d'abattage total et sur les animaux non abattus en cas d'abattage partiel), jusqu'à la requalification, obtenue après trois tests de dépistage négatifs pour l'ensemble du cheptel. Enfin, le fonctionnement du système de surveillance de la faune sauvage en France pour la tuberculose bovine (Sylvatub) a permis la détection des animaux infectés chez trois espèces en Côte d'Or : plus particulièrement le blaireau (*Meles meles*), mais aussi le sanglier (*Sus scrofa*) et dans une moindre mesure le cerf (*Cervus elaphus*). La recherche bibliographique nous a enfin permis de chercher des facteurs qui auraient déjà été identifiés ou suspectés à l'échelle de la pâture, comme pouvant être associés à une augmentation du risque de contamination à *M.bovis*. Différentes expositions avaient bien été étudiées, mais dans l'ensemble des articles auxquels nous avons eu accès, elles étaient considérées au niveau de l'élevage. Quatre grandes catégories de risque ont été dégagées. Tout d'abord des expositions relatives aux pratiques d'élevage, comme la pratique de fauchage avant pâturage ou encore l'épandage. La deuxième catégorie de risque correspondait à la faune sauvage et plus particulièrement au blaireau, au sanglier et au cerf. La proximité avec les zones boisées ou haies, ainsi que l'aliment distribué sur la pâture pour les bovins attireraient la faune sauvage sur la pâture ou en bordure. Pour les blaireaux en particulier, excrétaient la mycobactérie dans leurs urines et leurs selles, la contamination pourrait avoir lieu par

contact indirect, bien que les contacts directs ne soient pas exclus. Une troisième catégorie était le voisinage et le risque de contamination dû à des contacts en pâture avec un autre troupeau infecté, *via* des clôtures perméables par exemple. Enfin, la quatrième catégorie correspondait à la capacité pour la bactérie à survivre dans l'environnement : l'humidité, l'absence de lumière et des températures peu élevées avaient été mises en évidence comme étant favorables à cette survie.

A l'issue de cette recherche bibliographique, un protocole a été mis en place. Il s'agissait dans un premier temps de définir le statut infecté ou non de notre unité épidémiologique, c'est-à-dire notre entité d'intérêt : la pâture. En effet, il n'existe aucun test à cette échelle pour affirmer que la mycobactérie est présente ou non. Nous avons donc utilisé les bovins ayant fréquenté ces pâtures. Un bovin a été considéré comme infecté quand il avait été positif au test d'intradermoréaction, avec confirmation par PCR et/ou culture, ou quand il avait été détecté à l'abattoir, pour l'APDI considéré. Un bovin non infecté correspondait quant à lui à un bovin n'ayant jamais réagi à aucun test, ayant plus de deux ans au moment de l'APDI et présent au moment de ce dernier. Les bovins correspondants à ces définitions nous ont été fournis par la Direction Départementale de la Protection des Populations de Côte d'Or (DDPP21). Afin de collecter suffisamment de pâtures à analyser dans notre étude, nous avons tiré au sort deux fois plus de bovins non infectés que de bovins infectés pour chaque élevage considéré. Ainsi, une **pâture « à risque » de tuberculose bovine** a été définie comme étant une pâture sur laquelle au moins un bovin infecté par *M. bovis* avait été pendant l'année précédant l'APDI (date dont nous disposons pour dater l'infection au niveau des élevages). Une **pâture « pas à risque » de tuberculose bovine** a quant à elle été définie comme une pâture sur laquelle aucun bovin infecté n'avait été durant cette même période. Les élevages que nous avons pris en compte ont été dans un premier temps sélectionnés sur le fait que les éleveurs possédaient des registres notifiant les passages de leurs bovins sur les pâtures, condition nécessaire à notre étude. Cette donnée nous venait d'une autre étude en cours en Côte d'Or. Les éleveurs ont été contactés par téléphone pour leur présenter les objectifs de l'étude et leur proposer d'y participer. Ceux ayant accepté ont été rencontrés et un questionnaire leur a été soumis, permettant de collecter les passages de leurs bovins infectés et non infectés sur leurs pâtures pour l'année précédant l'APDI. Le questionnaire visait également à recueillir des informations concernant les pratiques d'élevage, la faune sauvage et le voisinage. A l'issue de cette enquête, réalisée sur un document papier, les données collectées ont été saisies dans un fichier Excel. Elles ont été complétées par des données issues de bases de données relatives aux bovins (BDNI, Base de Données Nationale d'Identification), aux pâtures (Relevé Parcellaire Graphique RPG), à leurs caractéristiques de terrain (BD ALTI@25m d'©IGN), de végétation et d'hydrographie (base de données GDAL/OGR®). Vingt-trois expositions ont finalement été mises en place grâce à des variables associées (« explicatives »). Des variables concernant les pratiques d'élevage renseignaient sur le fauchage, l'épandage, la taille de la pâture, le nombre et le type de bovins présents et la pratique de pâturage tournant. Des variables caractérisant le voisinage concernaient les clôtures et la surface de pâture en contact avec une autre pâture potentiellement « à risque ». Des variables relatives à la faune sauvage incluaient l'abreuvement, l'alimentation distribuée en pâture, les pierres à sel, les traces de passage de sanglier, la surface de zone boisée à l'intérieur de la pâture et enfin l'estimation de la densité de blaireaux. Enfin, des variables en rapport avec l'environnement de la pâture portaient sur la pente, l'exposition, la pédologie, l'hydrographie, le relief, le drainage des pâtures et la présence sur celles-ci de zones d'humidité localisée (les « mouilles »).

Ces variables « explicatives » et la variable d' « intérêt » (statut de la pâture « à risque » ou « pas à risque » de tuberculose bovine) ont été reliées entre elles au sein d'un modèle statistique. Ce dernier permettait de mesurer l'association entre les expositions (variables explicatives) et le statut de la pâture (variable d'intérêt). Différentes vérifications ont été effectuées afin de savoir quelles expositions pouvaient

être prises en compte et sous quelle forme. Le fait d'appartenir à un élevage en particulier a été pris en compte dans ce modèle afin de ne pas créer de liens dus à des effets liés à l'élevage et qu'il nous était impossible de mesurer. A l'issue de cette analyse statistique, la force de l'association et l'effet à risque (ou protecteur) de l'exposition a été estimé pour les expositions finalement prises en compte dans le modèle et pour lesquelles le hasard ne suffisait pas à expliquer l'association mise en évidence.

Les résultats que nous avons obtenus sont les suivants. Neuf élevages ont finalement été analysés (17 éleveurs sélectionnés, 11 éleveurs enquêtés et deux exclus suite à un nombre insuffisant de pâtures). Trente-deux bovins positifs et 64 négatifs ont permis l'inclusion de 61 pâtures dans l'étude et leur analyse. Vingt-huit pâtures ont pu être qualifiées comme étant « à risque » de tuberculose bovine et 33 comme n'étant « pas à risque » de tuberculose bovine. La mise en place du modèle statistique a permis de mettre en évidence deux expositions indicatrices du risque de contamination au niveau de la pâture. La première était la présence des zones de « mouille », plus fréquente sur les pâtures « à risque » que sur les pâtures « pas à risque » de tuberculose bovine. La seconde était la pratique de fauchage avant la mise à l'herbe, plus fréquente sur les pâtures « à risque » que sur les pâtures « pas à risque » de tuberculose bovine.

Différents points peuvent être discutés. En effet, il n'est pas exclu que le refus de certains éleveurs pour participer à l'enquête entraîne un biais et ait un effet sur l'estimation de l'association entre les pâtures et les expositions prises en compte. Cependant, il ne nous est pas possible de savoir dans quel sens les associations pourraient en être impactées. En outre, l'hypothèse selon laquelle le statut de la pâture correspond au passage sur cette dernière d'au moins un bovin positif peut être discutée si l'on tient compte i) de la qualité imparfaite des tests de dépistage et ii) du fait que le temps de passage des bovins n'ait pas pu être pris en compte (par manque de pâtures analysées). En outre, la période d'étude a été fixée à un an, mais il n'est pas totalement exclu que la contamination ne se soit pas produite plus en amont, certains bovins pouvant ne pas être détectés par les tests allergiques. Toutefois, la considération d'une période de deux ans avant APDI a également été mise en évidence. Enfin, les résultats que nous avons obtenus sont en accord avec d'autres études, soulignant le rôle de l'humidité (« mouille ») dans l'environnement comme condition favorable à la survie de la bactérie ainsi que les contacts favorisés avec cette dernière lorsque l'herbe est plus rase (fauchage).

Notre étude nous a donc permis de répondre à notre objectif de départ en identifiant les pâtures « à risque » de tuberculose bovine pour les élevages de notre étude et de caractériser les pâtures « à risque » de tuberculose bovine dans la zone infectée de la Côte d'Or, avec deux indicateurs de risque : les « mouilles » et la pratique du fauchage avant pâturage.

Le protocole que nous avons utilisé pourrait être amélioré en utilisant le passage des bovins positifs et celui de tous les bovins négatifs de de l'élevage, afin de tirer au sort les pâtures « pas à risque » et d'en associer deux fois plus aux pâtures « à risque ». Par ailleurs, la compréhension de l'effet du temps et des mécanismes de la contamination au sein de la pâture pourrait être envisagée au sein d'un modèle mathématique rendant compte de la dynamique de l'infection et prenant en compte cette notion de temps.

Nos résultats seront restitués aux éleveurs de la zone infectée de Côte d'Or. En plus des recommandations déjà en cours dans le département, le conseil d'une amélioration du drainage des pâtures ainsi que l'évitement du fauchage avant pâturage pourront être conseillés. Le contrôle de l'infection pourra peut-être en être optimisé.

SOMMAIRE

Remerciements -----	1
Résumé court -----	2
Résumé long -----	3
SOMMAIRE -----	6
Index des tableaux -----	7
Index des figures -----	8
Introduction -----	9
Synthèse bibliographique -----	10
1. Pathogénie de <i>Mycobacterium bovis</i>, agent de la tuberculose bovine -----	11
2. Surveillance épidémiologique de la tuberculose bovine en France et en Côte d'Or ---	12
2.1 Dépistage et surveillance de la tuberculose bovine chez les bovins d'élevage-----	12
2.2 Surveillance de <i>M.bovis</i> au sein de la faune sauvage-----	14
3. Facteurs de risque de la tuberculose bovine -----	15
3.1 Facteurs liés au voisinage-----	15
3.2 Facteurs liés aux autres espèces et à la faune sauvage-----	15
3.3 Facteurs liés à l'environnement-----	18
3.4 Facteurs liés aux pratiques d'élevage-----	20
Identification et caractérisation de pâtures « à risque » de tuberculose bovine dans la zone infectée de Côte d'Or -----	21
1. Contexte et problématique -----	22
2. Matériels et méthodes -----	22
2.1 Population d'étude-----	22
2.2 Période d'étude-----	23
2.3 Constitution du fichier de données-----	24
2.4 Analyse des données-----	30
3. Résultats -----	32
3.1 Analyse descriptive – Variable d'intérêt-----	32
3.2 Analyse descriptive - Variables explicatives-----	37
3.3 Analyse statistique-----	42
4. Discussion -----	44
4.1 Qualité des données-----	44
4.2 Méthodologie-----	49
4.3 Résultats-----	50
5. Conclusion et perspectives -----	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	52
GLOSSAIRE -----	58
ANNEXES -----	59

Index des tableaux

Tableau 1 : Sensibilité et spécificité des tests de dépistage utilisés sur les bovins d'élevage (d'après Fediaevsky <i>et al.</i> 2013 et Courcoul <i>et al.</i> 2014).....	12
Tableau 2: Variables caractérisant les pratiques d'élevage au niveau pâture.....	25
Tableau 3 : UGB suivant le type de bovin considéré (source Agreste)	26
Tableau 4: Variables caractérisant le voisinage au niveau pâture	26
Tableau 5: Variables caractérisant la faune sauvage au niveau pâture	28
Tableau 6: Variables caractérisant l'environnement au niveau pâture	29
Tableau 7: Répartition du sexe des bovins de l'étude suivant leur statut vis-à-vis de la tuberculose	33
Tableau 8: Nombre de bovins positifs par pâture « à risque ».....	35
Tableau 9: Répartition des variables qualitatives et binaires suivant le statut de la pâture	41
Tableau 10: Résultats de l'analyse univariée	42
Tableau 11: Valeurs de l'AIC suivant les variables prises en compte	43
Tableau 12: Résultats de l'analyse multivariée.....	43

Index des figures

Figure 1: Evolution des taux de prévalence et d'incidence annuelles des élevages infectés de tuberculose bovine entre 1995 et 2012 (source DGAL, d'après Fediaevsky <i>et al.</i> 2013).....	14
Figure 2: Evolution du nombre de foyers annuels de tuberculose bovine en Côte d'Or de 2002 à 2013 (source DGAL)	22
Figure 3: Succession dans le temps du pâturage et de la détection possible	24
Figure 4: Distribution des âges des bovins de l'étude.....	33
Figure 5: Répartition des races chez les bovins positifs et négatifs de l'étude.....	34
Figure 6: Répartition des tests de confirmation parmi les bovins positifs	35
Figure 7 : Cartes des pâtures "à risque" et "pas à risque" de tuberculose bovine.....	36
Figure 8: Distribution des variables quantitatives relatives aux pratiques d'élevage suivant le statut de la pâture	37
Figure 9: Distribution de la surface de voisinage à risque suivant le statut de la pâture	38
Figure 10: Distribution des variables relatives à la faune sauvage suivant le statut des pâtures.....	39
Figure 11: Distribution des variables caractérisant l'environnement suivant le statut des pâtures.....	40

Introduction

La tuberculose bovine, causée par *Mycobacterium bovis* est une maladie contagieuse et chronique touchant à la fois les bovins, la faune sauvage et l'Homme. Elle est largement répandue dans le monde et, dans les pays en voie de développement, représente encore une menace pour la santé publique, du fait de l'absence de mesures préventives et/ou de mesures de contrôle. Dans les pays développés, la maladie a déjà été bien contrôlée suite à la mise en place de mesures de prévention et de contrôle telles que le dépistage, l'abattage et la pasteurisation du lait. Sa déclaration est obligatoire auprès de l'OIE (Organisation Mondiale de la Santé Animale).

Au sein de la faune sauvage, de multiples espèces peuvent être concernées et au total, plus de 60 espèces de mammifères ont pu être détectées dans le monde comme infectées à *M. bovis* (De Garine-Wichatitsky *et al.* 2013). Toutefois, leur rôle épidémiologique n'est pas toujours bien connu. Les réservoirs sauvages avérés sont le phalanger renard (*Trichosurus vulpecula*) (Nugent 2011) en Nouvelle-Zélande, le buffle (*Syncerus caffer*) (De Garine-Wichatitsky *et al.* 2013) en Afrique (est et sud), le bison (*Bison bison*) aux Etats-Unis et au Canada (Biet *et al.* 2005) et enfin le blaireau (*Meles meles*) au Royaume-Uni (Atkins et Robinson 2013).

En outre, la survie de la mycobactérie dans l'environnement est connue et certaines conditions peuvent même la favoriser (Humblet *et al.* 2009).

Depuis 2001, la France est officiellement indemne de tuberculose bovine, mais l'infection est toujours présente dans certaines régions du pays dans les cheptels bovins mais également dans la faune sauvage, chez le sanglier (*Sus scrofa*), le cerf élaphe (*Cervus elaphus*) et chez le blaireau, sans qu'un rôle de réservoir pour ces espèces sauvages n'ait encore été démontré. Ces dernières années sont par ailleurs marquées par une recrudescence des cas dans les cheptels bovins et plus particulièrement dans certains départements : la Dordogne, la Côte d'Or, les Pyrénées-Atlantiques et ceux de la Camargue. Dernièrement, un sanglier a été détecté comme infecté dans le Loir-et-Cher, alors qu'aucun foyer de tuberculose bovine n'avait été recensé depuis 1986 (ESA, 2015).

En Côte d'Or, la situation vis-à-vis de la tuberculose bovine s'est dégradée depuis 2002, avec une aggravation entre 2007 et 2010. Ces données sont préoccupantes tant au niveau sanitaire qu'économique : les mesures de prévention et de lutte ont donc été renforcées dans ce département.

Différentes études ont été menées dans ce département, visant à mieux comprendre la persistance de l'infection, et ont permis des rencontres avec les éleveurs. Ces derniers évoquent leur conviction de l'existence de pâtures plus à risque de contamination que d'autres vis-à-vis de la tuberculose bovine. L'étude rapportée dans ce document est née de la prise en compte de cette remontée de terrain.

La première partie de ce rapport sera consacrée à la recherche bibliographique réalisée en amont, puis une deuxième partie portera sur le travail personnel accompli pendant le stage, allant de la mise en place du questionnaire jusqu'aux résultats de l'étude et à leur discussion.

Synthèse bibliographique

1. Pathogénie de *Mycobacterium bovis*, agent de la tuberculose bovine

La tuberculose bovine est due à une infection par *Mycobacterium bovis*, bactérie Gram positif (Biet *et al.* 2005) dont la membrane acide mycolique cireuse la protège de la dégradation par les phagocytes (Corner *et al.* 2011). Ce bacille appartient au complexe *M. tuberculosis*, qui inclut sept espèces et sous espèces : *M. tuberculosis*, *M. canetti*, *M. africanum*, *M. pinnipedii*, *M. microti*, *M. caprae* et *M. bovis* (Smith *et al.* 2006a). Une étude phylogénétique de ce complexe montre que les souches adaptées à l'animal correspondent à une seule lignée, caractérisée par une même délétion chromosomique. L'agent étiologique de la tuberculose bovine dériverait ainsi d'un ancêtre partagé avec *Mycobacterium tuberculosis*, agent de la tuberculose chez l'Homme (Brosch *et al.* 2002; Nugent 2011). Ce complexe peut être appréhendé comme une série d'écotypes adaptés à l'hôte, chaque écotype ayant des préférences d'hôte marquées par des différences moléculaires particulières (Smith *et al.* 2006b).

Le temps d'incubation de la maladie est relativement long et les premières manifestations sont davantage lésionnelles que cliniques. Ces lésions apparaissent plusieurs semaines à plusieurs mois après la contamination (Gorecki *et al.* 2012). Les bovins se contamineraient quand ils sont jeunes mais n'exprimeraient la maladie de manière clinique qu'à l'âge adulte (Griffin *et al.* 1996). Les signes cliniques associés sont peu spécifiques (faiblesse, anorexie, émaciation, fièvres oscillantes, toux sèche intermittente, diarrhée, adénopathies importantes) ou peuvent être totalement inexistantes (OIE 2015).

Les lésions de bovins infectés par *M. bovis* se retrouvent, par ordre d'importance, au niveau des nœuds lymphatiques broncho-médiastinaux, puis des nœuds lymphatiques de la tête et des poumons, suivis des nœuds lymphatiques mésentériques et du foie. On peut également retrouver des lésions, mais de manière moins fréquente, au niveau de la rate et des reins, et diverses autres localisations plus rares comme la peau, le pis, les nœuds lymphatiques supra-mammaires et les nœuds lymphatiques hépatiques (Phillips *et al.* 2003).

Dans les pays où la tuberculose bovine n'est pas contrôlée, la plupart des cas humains de tuberculose dus à *M. bovis* surviennent chez les personnes jeunes ou immunodéprimées et s'expliquent par la consommation de lait cru ou de produits au lait cru contaminé. Dans les pays développés, la mise en place de programmes d'éradication associés à la pasteurisation du lait (années 1950) a beaucoup réduit la maladie et la tuberculose humaine à *M. bovis* est aujourd'hui rare (de la Rua-Domenech 2006; Biet *et al.* 2005).

Entre bovins, la voie de transmission peut être déduite de la localisation des lésions chez les animaux abattus. Ainsi la voie respiratoire semble être la voie privilégiée chez les bovins domestiques. Les gouttelettes d'eau contaminées, l'éructation pendant la rumination et l'inhalation de particules souillées peuvent également être envisagées comme voie de transmission aérogène. L'ingestion directe de *M. bovis* via le léchage d'animaux infectés, ou encore à partir de pâtures contaminées, d'eau ou d'autres matières contaminées est considérée comme moins importante, et a été déduite de l'observation de lésions présentes au niveau des nœuds lymphatiques mésentériques décrites chez les bovins (Biet *et al.* 2005). La possibilité qu'un bovin, se contaminant par voie orale, puisse ensuite émettre des aérosols contaminés pendant le processus de rumination (Phillips *et al.* 2003) puis qu'un autre bovin se contamine alors secondairement par inhalation de ces mêmes aérosols, a également été évoquée (Gallagher et Clifton-Hadley 2000; Humblet *et al.* 2009).

2. Surveillance épidémiologique de la tuberculose bovine en France et en Côte d'Or

2.1 Dépistage et surveillance de la tuberculose bovine chez les bovins d'élevage

La tuberculose bovine est une maladie qui doit être déclarée à l'Organisation mondiale de santé animale (OIE). Cette dernière définit dans le *Code Terrestre* (chapitre 11.5) les conditions pour qu'un pays soit reconnu indemne de cette maladie (OIE 2015).

La France est officiellement indemne de tuberculose bovine depuis 2001 et l'*Arrêté du 15 septembre 2003* réglemente les mesures relatives à la prophylaxie collective et à la police sanitaire de la tuberculose des bovins dans le pays.

La surveillance mise en place en France concernant la tuberculose bovine a pour objectif d'éviter l'augmentation du nombre de foyers, de maintenir la prévalence cheptel de la maladie en dessous du seuil défini par l'Union Européenne (seuil de 0,1%) et enfin d'aboutir à son éradication.

Un bovin est un **cas suspect** de tuberculose bovine lorsque i) des lésions évocatrices de tuberculose bovine sont découvertes à l'abattoir, à l'autopsie, à l'histologie ou si la PCR (*Polymerase chain reaction* : test d'amplification génique) est positive, sans que le bacille soit identifié ou ii) la réaction à la tuberculination pendant une procédure de prophylaxie, ou tout autre mesure de contrôle, est non-négative. Un bovin est un **cas confirmé** de tuberculose bovine quand i) l'identification de *M.bovis* ou *M.tuberculosis* a pu être réalisée ou ii) que la PCR est positive et les lésions histologiques sont compatibles avec la maladie (les analyses étant menées dans un laboratoire agréé) pour le même animal ou pour un animal suspect ou iii) que les lésions histologiques sont évocatrices de tuberculose bovine chez un animal positif à l'intradermotuberculination (Fediaevsky *et al.* 2013).

Une **surveillance événementielle** est réalisée au sein des abattoirs, grâce à l'inspection de tous les animaux destinés à la consommation humaine. Certains organes sont plus particulièrement examinés, comme les poumons ou encore les nœuds lymphatiques rétropharyngiens, trachéobronchiques et médiastinaux. Si des lésions sont suspectées, les organes et nœuds lymphatiques associés sont envoyés pour analyse par PCR et culture dans un laboratoire agréé (Fediaevsky *et al.* 2013).

La mise en place d'une **surveillance programmée** est en outre nécessaire pour le maintien du statut indemne. Elle est définie pour les bovins en élevage de six semaines et plus et réalisée par intradermoréaction simple (IDS), à la tuberculine bovine normale ou forte ou par intradermoréaction comparative (IDC), avec une tuberculine normale et une tuberculine aviaire. La lecture du test d'intradermoréaction se fait 72 heures après injection. Le délai minimum entre deux tuberculinations est fixé à 6 semaines (Fediaevsky *et al.* 2013). L'annexe 1 rappelle les grilles d'interprétation de ces tests. Les sensibilités et spécificités des tests sont précisées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Sensibilité et spécificité des tests de dépistage utilisés sur les bovins d'élevage (d'après Fediaevsky *et al.* 2013 et Courcoul *et al.* 2014)

Type de test	Sensibilité	Spécificité
IDS (Fediaevsky <i>et al.</i> 2013)	[80%-91%] _{95%}	[75%-99,9%] _{95%}
IDC (Fediaevsky <i>et al.</i> 2013)	[55%-93%] _{95%}	[89%-100%] _{95%}
PCR (Courcoul <i>et al.</i> 2014) (intervalles de crédibilité)	87,7% [82,5-92,5 %] _{95%}	97,0 % [94,3-99,0%] _{95%}
Culture (Courcoul <i>et al.</i> 2014) (intervalles de crédibilité)	78,1 % [72,9-82,8%] _{95%}	99,1 % [97,1-100,0%] _{95%}

Les **tests d'intradermotuberculation** reposent sur une réaction à médiation cellulaire. L'exposition à une mycobactérie provoque en effet une réponse en anticorps transitoire. L'injection de tuberculine (antigènes mycobactériens) réactive cette réponse, qui correspond à une hypersensibilité retardée (Keck et al. 2014). Le temps en jours entre l'infection et la détection possible avec intradermoréaction a fait l'objet de plusieurs études et été estimé à un intervalle de [14-22]_{95%} (Barlow et al. 1997) voire à 41 jours [30-54]_{95%} (Fischer et al. 2005; Alvarez et al. 2014).

L'**histologie, la PCR et la culture bactérienne** correspondent à un diagnostic *post-mortem* de la tuberculose bovine sur les prélèvements réalisés à l'abattoir. L'histologie permet la recherche de lésions microscopiques granulomateuses typiques de la maladie et possède une sensibilité élevée (de l'ordre de 93 %) dans les populations d'animaux présentant des lésions (Courcoul et al. 2014 ; Keck et al. 2014). La PCR repose sur la détection d'une séquence d'ADN typique du complexe *M. tuberculosis*. Enfin, la culture bactérienne correspond à la croissance de la mycobactérie sur un milieu spécifique. Les sensibilités et spécificités de ces tests sont mentionnées dans le tableau 2. La contrainte majeure de ce dernier test est la croissance lente des mycobactéries sur les milieux utilisés (Keck et al. 2014).

Le **rythme des contrôles de dépistage** dans les élevages est défini par département, en fonction de la prévalence, allant d'un rythme biennal (prévalences comprises entre 1% et 0,2%, pour les deux dernières années civiles consécutives), jusqu'à un rythme quadriennal (prévalences inférieures à 0,1% durant les six dernières années consécutives). Certains départements peuvent même être dispensés de ces contrôles (Arrêté 15/09/2003).

En outre, des **contrôles supplémentaires** ont été mis en place dans le cadre des mouvements de bovins. Des tests de contrôle doivent ainsi être réalisés i) si les animaux ont effectué un transport de plus de six jours, ii) s'ils proviennent d'un élevage à risque, et enfin (iii) s'ils proviennent d'un élevage à fort taux de remplacement (iv) ou d'une région dont la prévalence cumulée des cinq dernières années dépasse la prévalence nationale (Fediaevsky et al. 2013).

En annexe 2, les **mesures de police sanitaire** mises en place suivant le statut du troupeau sont présentées. La découverte d'un bovin infecté au sein d'un troupeau conduit à la mise en place d'un arrêté préfectoral portant déclaration d'infection (APDI). L'assainissement correspond à l'abattage total du troupeau et à la désinfection des locaux. Pour retrouver sa qualification indemne, le nouveau troupeau doit remplir un certain nombre de conditions résumées (annexe 3).

Malgré la mise en place de cette surveillance, la tuberculose bovine est toujours présente sur le territoire français. Depuis 1995, le pourcentage d'élevages infectés a régulièrement diminué jusqu'en 2005. Puis, le nombre de foyers incidents a augmenté pour se stabiliser à un peu moins d'une centaine de nouveaux foyers par an. L'augmentation légère du taux d'incidence en 2012 a généré une certaine inquiétude concernant le maintien du statut indemne de la France vis-à-vis de cette maladie (Fediaevsky et al. 2013 ; Bénet et Praud 2014).

En 2013, deux Cellules Inter Régionales Epidémiologiques Vétérinaires (CIREV) ont été créées, en Aquitaine et en Bourgogne afin de renforcer les moyens nécessaires aux investigations épidémiologiques, essentielles pour adapter les moyens de lutte contre la tuberculose bovine dans ces deux régions (Fediaevsky et al. 2013).

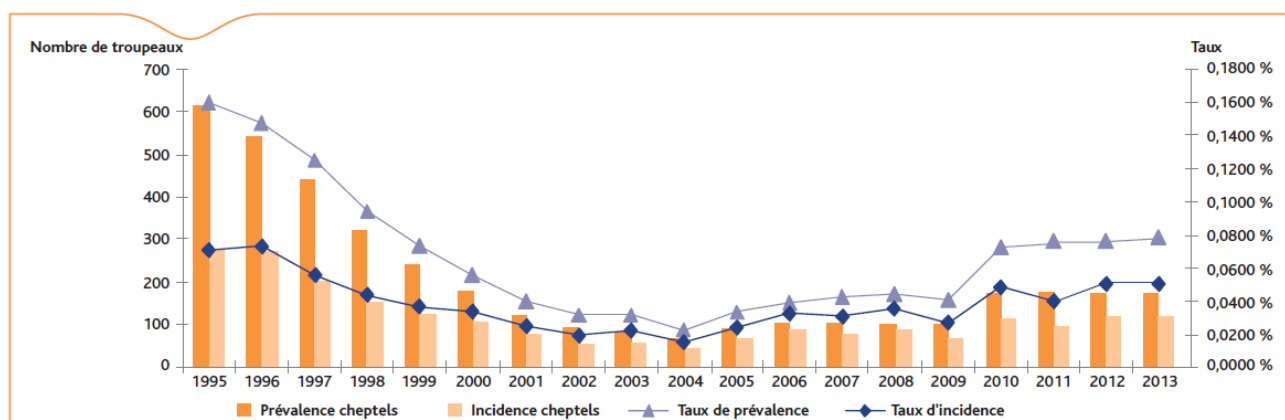
En **Côte d'Or**, en 2012, le rythme de dépistage était annuel, sans zonage. L'IDC est utilisée de manière systématique depuis 2009.

Les sensibilités individuelles des tests d'intradermoréaction ont pu être évaluées dans ce département. La sensibilité du test d'IDC était de 80,3 % (intervalle de crédibilité [61,6%-98,0%]_{95%}) et la sensibilité du test IDS était de 84,2 % (intervalle de crédibilité [59,0%-98,2%]_{95%}) (Praud et al. 2015).

Les tests sont réalisés sur les bovins à partir de 24 mois en prophylaxie de base, qui se déroule entre octobre et avril, avant la mise à l'herbe.

L'abattage partiel est pratiqué. En effet, en France, la législation autorise dans certains cas particuliers, comme pour la conservation de certaines races locales, que les mesures de contrôle puissent se limiter à un abattage partiel (Note de Service DGAL 2014-541 du 04/07/2014). Dans ce cas de figure, seuls les animaux réagissant à l'intradermoréaction sont abattus pour raison diagnostique (Fediaevsky *et al.* 2013). En Côte d'Or, la phase d'assainissement (de requalification) implique ainsi un dépistage de tous les bovins à partir de 6 semaines, à un rythme de tous les 2 mois pendant l'hiver et tous les 4 mois pendant la saison de pâturage (DDPP21).

Figure 1: Evolution des taux de prévalence et d'incidence annuelles des élevages infectés de tuberculose bovine entre 1995 et 2012 (source DGAL, d'après Fediaevsky *et al.* 2013)



2.2 Surveillance de *M.bovis* au sein de la faune sauvage

En 2001, les premiers cas de tuberculose bovine ont été trouvés sur des cerfs tués à la chasse en forêt de Brotonne (Fediaevsky *et al.* 2013). Depuis, des animaux sauvages ont été détectés à proximité de foyers bovins dans d'autres départements comme la Côte d'Or, les Pyrénées-Atlantiques, la Dordogne, l'Ariège ou encore la Corse (Hars *et al.* 2010 ; ANSES 2011). A la fin de l'année 2011, à l'initiative du Ministère de l'Agriculture, un réseau national de surveillance de la tuberculose au sein de la faune sauvage, appelé Sylvatub, a été créé. Il fait partie de la Plateforme de Surveillance Epidémiologique de la Santé Animale (ESA) (Rivière *et al.* 2013, Fediaevsky *et al.* 2013). La surveillance ainsi mise en place fait intervenir un réseau d'acteurs comprenant les chasseurs (Fédérations Départementales de Chasseurs (FDC)), les Services Départementaux de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS), et les Groupements de Défense Sanitaire (GDS) (Rivière *et al.* 2013). Les espèces sauvages concernées par ce programme de surveillance sont le cerf élaphe (*Cervus elaphus*), le sanglier (*Sus scrofa*), le chevreuil (*Capreolus capreolus*) et le blaireau (*Meles meles*) (Rivière *et al.* 2013).

La Côte d'Or est classée en niveau 3 pour Sylvatub, combinant surveillance événementielle et programmée (annexe 4a). Pendant la première année de fonctionnement de Sylvatub en Côte d'Or, 210 sangliers ont pu être testés et 17 ont été détectés positifs. Parmi 149 cerfs analysés, un seul a été détecté positif. Enfin, en 2012, parmi 306 blaireaux testés, 9 étaient positifs à *M.bovis* (Rivière *et al.* 2013). Dans la zone infectée de la Côte d'Or, pour la campagne 2011-2012, le pourcentage de sangliers positifs à *M.bovis* était de 8,1 % [4,4%-11,8%]_{95%} celui des cerfs de 0,7 % [0,2%-3,7%]_{95%}. En 2012, le taux de blaireaux détectés positifs était de 2,9% [1%-4,8%]_{95%} (Rivière *et al.* 2013) (annexe 4b).

3. Facteurs de risque de la tuberculose bovine

Différentes sources de contamination ont été étudiées pour la tuberculose bovine, essentiellement à l'échelle de l'élevage mais elles semblent moins bien connues à l'échelle de la pâture. La recherche bibliographique que nous avons effectuée a porté sur les facteurs de risque associés à cette maladie et qu'il nous semblait intéressant d'étudier au niveau pâture.

3.1 Facteurs liés au voisinage

A l'échelle de l'élevage, plusieurs études ont pu montrer que le voisinage avec un élevage foyer de tuberculose bovine était un facteur de risque ou, tout au moins, était associée statistiquement à la survenue de tuberculose bovine dans l'élevage d'intérêt. Ainsi, il a été montré que sur une courte période, les foyers de tuberculose bovine étaient plus à même d'affecter plusieurs élevages qu'un seul élevage, la proximité avec d'autres élevages sous restriction étant un facteur de risque (Griffin *et al.* 1996; Humblet *et al.* 2009).

Le proche voisinage entre un élevage et un second élevage de probabilité plus élevée de contamination augmenterait le risque d'apparition de tuberculose bovine dans le premier (Claridge *et al.* 2012). En Espagne, un odds ratio (OR) supérieur à 1 ($[1,2-5,1]_{95\%}$) a été estimé entre les élevages en contact avec d'autres élevages infectés et ceux ne l'étant pas. Ce résultat était en accord avec des études antérieures menées au Nord de l'Irlande et en Grande-Bretagne (Guta *et al.* 2014). Enfin, sur des élevages ayant subi l'abattage total suite à une infection à *M.bovis*, l'association entre la présence de troupeaux infectés dans le voisinage et la résurgence a été suggérée (Good *et al.* 2011). A l'échelle de la pâture, ce sont les contacts qui pourraient expliquer la contamination liée au voisinage. En effet, en Espagne, il a pu être montré que les contacts entre troupeaux en été, saison de pâturage, étaient associés de manière significative à la survenue de tuberculose bovine (OR 1,87 $[1,21-2,52]_{95\%}$) (Cowie *et al.* 2014).

3.2 Facteurs liés aux autres espèces et à la faune sauvage

3.2.1 Autres espèces domestiques

Une des caractéristiques principales de *M. bovis* est son large éventail d'hôtes, le plus large parmi les mycobactéries du complexe de *M. tuberculosis* (Biet *et al.* 2005).

Chez le **chat**, la transmission de bacilles tuberculeux pourrait se faire via l'ingestion de lait contaminé ou encore via la consommation d'aliments contaminés par les blaireaux (Gallagher and Clifton-Hadley 2000). Des infections à *M.bovis* ont été décrites chez le **chien et le chat** mais aucune transmission à partir de ces espèces n'a été rapportée jusqu'à maintenant (Humblet *et al.* 2009).

Des foyers de *M. bovis* chez des **espèces caprines** ont été décrites mais occasionnellement. Cependant, le rôle d'introduction des chèvres infectées dans les cheptels bovins indemnes ne doit pas être sous-estimé. Les **chevaux** sont également susceptibles vis-à-vis de *M. bovis* et peuvent représenter une source potentielle d'infection dans les zones où des contacts rapprochés avec des bovins existent comme en Camargue. Enfin, bien que le **porc domestique** soit susceptible à *M. bovis*, il ne représente probablement pas un risque pour les troupeaux bovins dans les pays où l'élevage porcin est industrialisé (Humblet *et al.* 2009).

3.2.2 Faune sauvage

La faune sauvage peut contaminer les bovins par voie directe ou indirecte. Les contacts directs sont rares, mais les individus de certaines espèces sauvages atteints de tuberculose bovine auraient un comportement modifié à un état avancé de l'infection et seraient beaucoup moins craintifs (Norton *et al.* 2005). La transmission par contact indirect se produirait quant à elle, via des excréments provenant des animaux sauvages infectés : fèces, urines (qui présentent les plus fortes concentrations en bacilles par

rapport aux autres excréments), ou encore pus. Les bovins peuvent en outre partager les pâtures et les points d'eau avec des espèces sauvages infectées et s'y contaminer (Humblet *et al.* 2009). En France, une étude réalisée en Côte d'Or a permis de suggérer les possibles rôles épidémiologiques des cerfs, sangliers et blaireaux (annexe 5) (Payne 2014).

L'origine de l'infection à *M. bovis* chez les **cervidés** est incertaine : d'origine domestique via les bovins infectés ou d'origine sauvage via d'autres espèces d'animaux sauvages (blaireau, possum) (Gallagher and Clifton-Hadley 2000). Le rôle des cervidés dans l'entretien de l'infection est à relier à leur durée de vie. Ils peuvent en effet vivre jusqu'à deux décennies, particulièrement les femelles, plus longtemps qu'aucun autre hôte potentiel. De plus, un cerf infecté durant son jeune âge peut ensuite vivre en étant infecté pendant plusieurs années (Nugent 2011). Enfin, leur rôle dans l'épidémiologie de l'infection est très variable suivant les pays et zones géographiques (Humblet *et al.* 2009) et la transmission aux bovins reste encore incertaine.

En Espagne, dans les régions méditerranéennes, les ongulés semblent être responsables du maintien de tuberculose (Gortazar *et al.* 2011). Dans le Michigan, aux Etats-Unis, le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) est considéré comme responsable du maintien de la tuberculose bovine. L'aliment distribué pendant l'hiver y serait responsable de la dissémination de *M. bovis* parmi la population de cerfs de Virginie (Miller *et al.* 2003; Corner 2005) et de la contamination occasionnelle de cerfs élaphe sauvages (O'Brien *et al.* 2005) ainsi que des bovins. La transmission indirecte a été mise en évidence expérimentalement en fournissant à des cerfs (Palmer *et al.*, 2004a) ou à des bovins sains (Palmer *et al.*, 2004b) un aliment qui avait été en contact avec des cerfs infectés. L'aliment stocké par les fermiers est d'accès facile pour les cerfs qui pourraient le contaminer. Les pâturages partagés entre les bovins et les cerfs, pourraient également être une source de contamination pour les bovins (O'Brien *et al.*, 2005). Une autre étude menée dans cet état, au cours de laquelle des cerfs de Virginie ont été suivis à l'aide de colliers GPS, a permis de montrer que les visites des cours de ferme et des aires dédiées aux bovins étaient davantage fréquentées au cours du printemps et de l'été. Ces mêmes lieux étaient davantage fréquentés durant la nuit (entre minuit et le lever du soleil) (Berentsen *et al.* 2014).

En France, dans une étude traitant les données de chasse pour la période 2005-2006 en forêt de Brotonne et en forêt de Mauny, les cerfs infectés présentaient des lésions de type caséux au niveau des nœuds lymphatiques et des organes tandis que chez sangliers, elles n'étaient localisées qu'au niveau des ganglions et étaient de type caseo-calcaire (Zanella *et al.* 2008). Ainsi, si la transmission de *M. bovis* entre un cerf vivant et un bovin semble très improbable, du fait de la rareté de leurs contacts interspécifiques, les pratiques de chasse consistant à laisser les viscères des animaux chassés sur place pourraient quant à elles être à l'origine de la présence de mycobactéries dans l'environnement.

Le premier isolement, en 1971, de *M. bovis* chez le **blaireau** (*Meles meles*) provenait d'une carcasse trouvée dans une ferme du Sud-Ouest de l'Angleterre où les troupeaux bovins étaient aussi infectés (Delahay *et al.* 2001). Depuis, l'infection au sein des populations de blaireaux est endémique en Grande Bretagne, et tue peu d'individus. Elle ne perturbe pas de manière significative la densité ni la taille ou la structure des groupes sociaux (Corner *et al.* 2011). La progression lente de la maladie dans les populations concorde avec l'observation selon laquelle les individus infectés peuvent vivre plusieurs années et se reproduire tout en excréant des bacilles. Par conséquent, les blaireaux sont des hôtes de maintenance idéaux, la durée d'excrétion de la bactérie pouvant potentiellement être potentiellement longue (Delahay *et al.* 2001).

L'infection à *M. bovis* peut en effet atteindre un stade avancé chez les blaireaux qui ensuite excrètent le bacille dans les aérosols, les fèces et les urines (Phillips *et al.* 2003). Au sein des populations de blaireaux, la principale voie d'infection est la voie

respiratoire inférieure, qui suit l'inhalation de petites particules d'aérosols. Les autres voies d'infection, qui nécessitent respectivement des doses plus importantes, sont les blessures par morsure avec de la salive infectée, la voie respiratoire haute suivant l'inhalation de particules aérosols de taille importante et enfin la voie du tractus gastro-intestinale suivant l'ingestion (Gavier-Widen *et al.* 2001; Corner *et al.* 2011). La transmission par aérosol pourrait se faire à cause de la nature grégaire des blaireaux, au moment des contacts ayant lieu pendant les phases de sommeil et de « toilette » (Gallagher and Clifton-Hadley 2000). L'organisation en groupes sociaux, avec des mouvements réduits, semblerait limiter la propagation de la maladie (Delahay *et al.* 2001). Pendant les nuits humides, les blaireaux peuvent chercher dans la terre de pâtures des vers de terre (Garnett *et al.* 2002; Payne 2014). Ainsi, un des déterminants les plus importants pour la présence de blaireaux sur la pâture est l'abondance de vers de terres, biomasse considérablement plus importante sur les pâtures que sur les terres cultivées. Un autre déterminant majeur est un sol adéquat pour creuser les terriers (Gallagher et Clifton-Hadley 2000), les sols meubles étant préférés (Do Linh San 2006). Enfin, les blaireaux cherchant les zones à fort couvert végétal, les zones boisées, les haies et les lisières de prairies seraient particulièrement attractives pour l'habitat des blaireaux (Do Linh San 2006, Payne 2014).

Dans le département de la Côte d'Or, la fréquentation des pâtures par les blaireaux serait plus faible en automne et en hiver, par rapport au printemps, début de la période de pâturage des bovins. Les baisses de température accentueraient cette tendance, mais ne modifieraient pas l'utilisation des pâtures en été et au printemps. En outre, plus la distance au terrier serait grande et moins les pâtures seraient fréquentées (Payne 2014).

Le contact direct des bovins avec des blaireaux morts ou moribonds est une source possible de contamination (Delahay *et al.* 2002). Une transmission par contact indirect peut aussi avoir lieu. En effet, les pâtures peuvent être contaminées avec les crachats, les fèces (Benham et Broom 1991), les urines et les écoulements d'abcès issus de plaies de morsure (Gallagher et Clifton-Hadley 2000). Il a été estimé que les bacilles de *M. bovis* présents dans les urines de blaireaux infectés pouvaient survivre trois jours sur les pâtures en été et jusqu'à 14 jours en hiver (Garnett *et al.* 2002). Une association a par ailleurs été montrée entre la détection dans l'environnement de *M. bovis* et la fréquence d'excrétion dans les urines et les fèces de blaireaux infectés. De l'ADN viable de *M. bovis* a en effet été détecté par PCR dans des terriers de blaireaux et des latrines longtemps après qu'ils aient été abandonnés (Courtenay *et al.* 2006; Humblet *et al.* 2009). En outre, les bovins éviteraient de consommer l'herbe contaminée par de l'urine de blaireau jusqu'à 14 jours, si l'herbe est présente en quantité suffisante (Benham et Broom 1991). Cependant, si les densités de bovins sont trop élevées, ce comportement d'évitement peut diminuer, les bovins dominés étant alors les premiers à brouter l'herbe souillée (Hutchings et Harris 1997). De même l'évitement diminue quand l'herbe est rase (Benham et Broom 1991; Gallagher et Clifton-Hadley 2000).

En Europe, *M. bovis* a été identifié chez le **sanglier** (*Sus scrofa*) dans plusieurs pays dont la France. Souvent considéré comme un hôte de type « spill over », le tableau lésionnel observé en Espagne suggère un rôle possible d'hôte réservoir (Vicente *et al.* 2006 ; Humblet *et al.* 2009). *M. bovis* n'est pas la seule mycobactérie retrouvée chez les sangliers et il existe également des réactions croisées avec *M. microti*, notamment en Suisse (Beerli *et al.* 2015).

Dans une étude portant sur 53 sangliers sauvages abattus pendant la saison de chasse au sud de l'Espagne, l'étude anatomopathologique a permis de trouver une majorité de lésions de type chronique et importante au niveau des nœuds lymphatiques de la région de la tête, tels que les nœuds lymphatiques mandibulaires, suggérant une évolution depuis le début de l'infection. Ce tableau serait compatible avec une excrétion de la bactérie dans la salive, d'importantes lésions ayant été trouvés dans les glandes

salivaires mandibulaires. Des granules tuberculeux ont également été retrouvés dans la lumière des conduits excréteurs des glandes salivaires (Gortazar *et al.* 2003).

La transmission de la bactérie entre populations domestiques et sauvages peut se faire au pâturage via un abreuvement partagé, suite à la survie de la bactérie dans les carcasses de sangliers (deux semaines), soit encore suite à sa simple survie dans la terre (qui pourrait durer quatre semaines dans un sol ombragé à 80 %) (Aranaz *et al.* 2004). L'écotone avec marais et buissons ainsi que les sources d'eau permanentes peuvent être des points importants de transmission entre sangliers et bovins comme le montre une étude réalisée en Espagne (Barasona *et al.* 2014). Les sources sont des lieux où les sangliers peuvent se rouler dans la boue, boire, déféquer, uriner, et permettent alors une contamination par *M. bovis* via l'environnement. Le phénomène est amplifié par l'existence d'une saison sèche en Espagne (été et automne), au cours de laquelle la transmission est plus importante entre les bovins et le sanglier (Barasona *et al.* 2014).

En Côte d'Or, la venue des sangliers sur les pâtures augmenterait avec la proportion de pâtures disponibles. En hiver, la fréquentation des pâtures serait significativement moins importante qu'en été mais s'accroîtrait en cas de nuit à lombrics (Payne 2014).

3.3 Facteurs liés à l'environnement

Comme les bovins ne pâturent habituellement l'herbe souillée par les fèces, certains auteurs considèrent que la contamination directe via l'ingestion d'herbe contaminée est négligeable (Phillips *et al.* 2003; Humblet *et al.* 2009). Cependant, une fois les fèces désagrégées, les mycobactéries peuvent survivre dans l'environnement sous des conditions climatiques adéquates. Dans les conditions des pâtures, il est cependant difficile de connaître le volume précis de mycobactérie conduisant à l'infection (Humblet *et al.* 2009).

La possibilité pour le bacille de survivre dans l'environnement peut s'expliquer par la paroi cellulaire imperméable de la bactérie et sa croissance lente (Biet *et al.* 2005).

Les facteurs connus jouant un rôle dans la survie de la bactérie dans l'environnement incluent les dommages causés à la bactérie pendant la formation des gouttelettes d'aérosol, la rapidité de dessiccation et de réhydratation, la température, l'humidité, les radiations ionisantes, les ions et les polluants (Corner *et al.* 2011), ainsi que l'ensoleillement, la dilution par la pluie et les effets d'autres microorganismes, tels que certaines espèces fongiques produisant des antibiotiques (Gallagher et Clifton-Hadley 2000). Certains facteurs ont été davantage étudiés.

❖ Composition du sol

Dans l'état du Michigan (Etats-Unis), Walter *et al.* (2014) ont montré que le **pourcentage de sable** contenu dans le sol était associé de manière significative avec l'infection à *M. bovis* : pour chaque augmentation de 1 % de proportion de sable dans le sol, les chances pour un élevage bovin d'être infecté par le bacille augmentaient de 3,6 % dans la zone d'étude (Walter *et al.* 2014). Les particules de sable ayant une taille supérieure à 2 µm seraient en effet propice à l'humidité et favorable à la survie de *M. bovis*.

❖ Pluviométrie

En Espagne, une **faible pluviométrie** a été associée à un risque plus élevé de progression et de survenue de tuberculose bovine, résultant d'une plus grande proportion de cas graves de tuberculose bovine chez les sangliers en période sèche (Vicente *et al.* 2013).

Jin *et al.* (2013) ont quant à eux montré l'association entre la pluviométrie et la tuberculose bovine en Irlande grâce aux relevés de pluviométrie proches des élevages de l'étude. Cette association a pu être expliquée par un temps de présence des bovins dans les bâtiments plus important, augmentant ainsi les contacts entre animaux et le risque de transmission par contact. Par ailleurs, une **haute pluviométrie**, souvent

accompagnée de conditions météorologiques difficiles, augmenterait la susceptibilité des bovins vis-à-vis de tuberculose bovine au sein des bovins mais également celle des blaireaux.

❖ Humidité et température

En Irlande, l'analyse PCR d'échantillons de sols a permis la détection de gènes correspondants. Young *et al.* (2005) ont ainsi montré la survie potentielle de *M. bovis* dans le sol, entre 4 et 21 mois après contamination possible. Les zones autour des terriers de blaireaux montraient les niveaux les plus élevés de gènes détectables ainsi que les niveaux les plus élevés de persistance de gènes. La survie dans le sol de *M. bovis* était optimale pour des sols humides (avec un maximum pour des pressions d'eau de -20 kPa) et chauds (maximum à 37°C et minimum à 4°C).

En Angleterre et au Pays de Galles, la **température** et l'**humidité** ont été démontrées, et plus particulièrement leur évolution dans le temps et leur variation, comme étant des indicateurs de tuberculose bovine, meilleurs que la végétation ou la caractérisation du paysage. Ainsi la sécheresse atmosphérique (donnée par le déficit de pression de vapeur, VPD) et les variables thermales (dont la température de l'air), et particulièrement leur séquence dans le temps et leur variabilité, étaient associées avec les aires à haut risque de tuberculose bovine : les valeurs moyennes de VPD y étaient plus basses et atteignaient un pic plus tard dans l'année. De plus, les VPD et température de l'air étaient moins variables dans les zones de tuberculose bovine que dans les zones indemnes de tuberculose bovine (Wint *et al.* 2002).

Des températures légèrement au-dessus de 0°C et une forte hygrométrie seraient favorables à la survie de *M. bovis* (Artois *et al.* 2004; Humblet *et al.* 2009).

Dans le Michigan, une étude conduite par Fine *et al.* (2011) a mis en évidence des conditions particulières de la survie de *M. bovis* dans l'environnement. Des échantillons de foin, de terre, de céréales et d'eau ont été soumis pendant 12 mois à des conditions climatiques différentes mimant les saisons et des relevés réguliers ont été effectués. La persistance de *M. bovis* était significativement plus courte pendant la saison de printemps/été, caractérisée par les températures quotidiennes les plus élevées sur la période de 12 mois d'étude. Par ailleurs, la bactérie a persisté jusqu'à 88 jours dans la terre, 58 jours dans l'eau et le fourrage et 43 jours dans les céréales. Les résultats obtenus ont permis de montrer que, en accord avec les études antérieures, une augmentation de la température et un manque d'humidité sont associés à une diminution de la survie de la bactérie dans l'environnement. Les autres facteurs tels que le type de substrat n'avaient pas significativement la persistance de *M. bovis* dans l'environnement. Par ailleurs, malgré la présence de hautes températures et de radiations solaires intenses, des souches viables de *M. bovis* semblaient pouvoir persister dans des conditions humides. Mais étant donné que la radiation solaire et l'évapotranspiration sont directement reliées à la température, la conclusion finale retenue a été que la température était déterminante sur la persistance de *M. bovis* dans l'environnement (Fine *et al.* 2011).

❖ Composition du paysage/Taille de la pâture

L'hétérogénéité du paysage a été montrée comme ayant un impact sur la tuberculose bovine au sud-ouest de l'Angleterre, région où le blaireau est considéré comme source d'infection pour les bovins. Un paysage hétérogène réduirait ainsi le nombre de mouvements des blaireaux à certains points clés et augmenterait le risque de contamination au niveau des pâtures (White *et al.* 1993; Humblet *et al.* 2009).

En Espagne, il a été montré une association entre la persistance de tuberculose bovine et la taille de la surface de la pâture : les pâtures ayant les surfaces les plus importantes dans l'étude présentaient des OR associés compris entre 1,2 et 12,7 (IC à 95 %) par rapport aux pâtures de petite surface (suivant la classification de l'étude). L'explication formulée était que la probabilité d'interaction avec un voisinage infecté ainsi qu'avec la faune sauvage serait plus grande (Guta *et al.* 2014).

L'environnement serait essentiel pour maintenir l'infection localement et pourrait être impliqué dans 80% de contaminations des cheptels. Cependant le modèle

dynamique stochastique spatial mis en place par Brooks-Pollock *et al.* (2014) prédisait une faible part des nouveaux cas en rapport avec l'environnement et cet effet diminuerait rapidement en l'absence de cheptel infecté. Ainsi, le contrôle des populations locales de blaireaux et la transmission environnementale (ici assimilée à celle depuis la faune sauvage dans le modèle) aurait un effet limité parmi toutes celles disponibles pour le contrôle de tuberculose bovine. Il serait donc intéressant de considérer les variables environnementales et liées à la faune sauvage de manière distincte afin de juger de leurs effets respectifs.

3.4 Facteurs liés aux pratiques d'élevage

❖ Technique de pâturage

Dans les élevages utilisant une seule pâture toute la saison, le risque d'infection à partir d'un environnement contaminé serait plus important : en effet, l'herbe est broutée à une hauteur moindre du sol et le contact avec les matières potentiellement contaminées plus important et plus long (Hutchings et Harris 1997; Ward *et al.* 2010). Les systèmes de pâturage tournants seraient moins à risque, diminuant la durée de contact avec les matières potentiellement contaminées et permettant un pâturage sur une herbe plus haute. De plus, ce dernier système requiert l'utilisation de clôtures électriques, limitant l'accès des bovins à l'herbe en bordure de pâture, site de contact avec la faune sauvage (Ward *et al.* 2010). Cependant, lors du premier passage dans la pâture, si les latrines souillées par des selles de blaireaux sont évitées elles deviennent des zones où l'herbe est la plus haute au retour sur cette pâture et sont alors broutées en premier malgré les selles (Hutchings and Harris 1997).

La sévérité de la tuberculose bovine a été montrée comme étant significativement plus importante pour les élevages gardés à l'intérieur par rapport à ceux étant élevés en pâture. Les contacts rapprochés facilitent en effet la transmission des aérosols entre les animaux (Ameni *et al.* 2006; Humblet *et al.* 2009). De même, le partage des pâtures a été identifié comme étant un facteur de risque pour la transmission de tuberculose bovine entre élevages (Kaneene *et al.* 2002; Humblet *et al.* 2009). Les élevages pour lesquels la pression de pâturage est réduite diminueraient quant à eux le risque de transmission entre bovins et blaireaux (Hutchings et Harris 1997).

❖ Alimentation en pâture

Dans le Michigan, il a été montré que la distribution du fourrage sur les pâtures sur le sol, plutôt que dans des nourrisseurs ou assimilés, ou encore du foin en vrac plutôt qu'en ballot, était associé à un risque accru de tuberculose bovine (Kaneene *et al.* 2002 ; Humblet *et al.* 2009). L'usage des pierres à sel, la distribution de concentrés ou encore l'utilisation de points d'abreuvement tels que les mares ou les cours d'eau attirent la faune sauvage au sein de la pâture et favorisent le risque de contamination au sein de cette dernière (Payne 2014).

❖ Taille de troupeau

Des études dans différentes régions du monde, tant dans les pays développés qu'en voie de développement, ont identifié la taille du troupeau comme étant un risque majeur de transmission de tuberculose bovine (Humblet *et al.* 2009; Claridge *et al.* 2012). Les troupeaux avec une proportion de vaches plus élevée auraient aussi un risque plus élevé de contamination, (Good *et al.* 2011), mais ces dernières étant gardées plus longtemps sur les exploitations, il est difficile de conclure (Humblet *et al.* 2009).

❖ Epandage

Il a été prouvé que l'épandage de fumier non stocké au préalable correspondait à un risque plus élevé de survenue de tuberculose bovine dans le troupeau par rapport aux élevages utilisant d'autres engrais ou stockant le fumier avant épandage (pendant au moins 2 mois). Les bovins peuvent s'infecter par voie orale ou après inhalation d'aérosols contaminés pendant la période d'épandage (Griffin *et al.* 1996; Humblet *et al.* 2009).

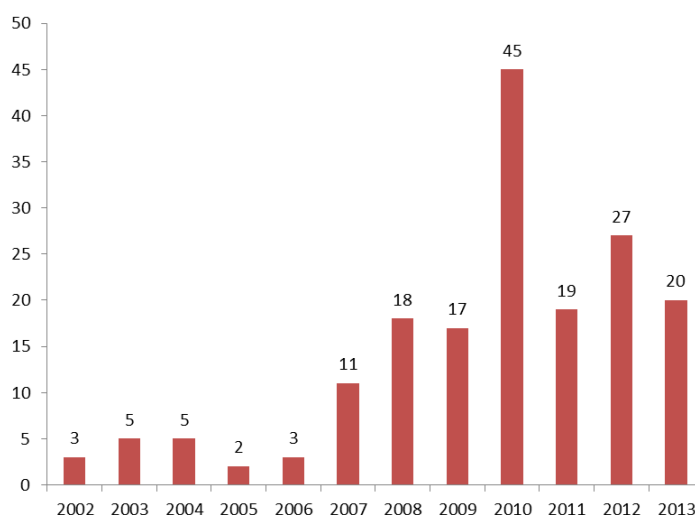
**Identification et caractérisation de pâtures « à risque » de tuberculose
bovine dans la zone infectée de Côte d'Or**

1. Contexte et problématique

L'étude a été réalisée dans la zone infectée de Côte d'Or, dont la carte est présentée en annexe 6. Ce département est placé sous surveillance annuelle pour la tuberculose bovine. Chaque année entre octobre et avril, le dépistage par IDC est pratiqué dans tous les élevages du département. Un élevage est déclaré foyer lorsqu'au moins un de ses bovins est un cas confirmé de tuberculose bovine.

La Côte d'Or connaît par ailleurs une augmentation des foyers de tuberculose bovine depuis 2007 (figure 2).

Figure 2: Evolution du nombre de foyers annuels de tuberculose bovine en Côte d'Or de 2002 à 2013 (source DGAL 2015)



Plusieurs études ont donc été menées auprès des éleveurs de cette zone. Certains d'entre eux ont pu à ces occasions faire part de leur impression d'existence de pâtures plus « à risque » de tuberculose bovine que d'autres.

En 2010, 87,7 % des élevages de ce département étaient de type allaitant (source Agreste). Pour ces élevages, les bovins sont mis à l'herbe du début du printemps jusqu'à l'automne avant d'être rentrés au sein des bâtiments pendant l'hiver.

Une recherche bibliographique sur les facteurs de risque connus ou suspectés à l'échelle de l'élevage a été réalisée (voir synthèse bibliographique) et un certain nombre de ces expositions nous ont paru intéressantes à transposer à l'échelle de la pâture.

Le protocole a ensuite été défini de manière à atteindre l'objectif de notre étude : **caractériser et identifier les pâtures à risque de tuberculose bovine des élevages allaitants dans la zone infectée de Côte d'Or.**

Nous présenterons dans un premier temps les matériels et méthodes de l'étude, puis les résultats obtenus et enfin nous discuterons ces résultats avant de conclure et de proposer des perspectives.

2. Matériels et méthodes

2.1 Population d'étude

L'unité épidémiologique de notre étude était la pâture. A cette échelle, il n'existe aucun test pour définir un statut positif ou négatif.

Une **pâture** « à risque » vis-à-vis de la contamination à *M.bovis* a donc été définie comme une pâture fréquentée par au moins un bovin positif pendant une saison de pâturage. L'hypothèse sous-jacente était que le bovin positif était un indicateur du potentiel de contamination de la pâture. D'après la recherche bibliographique menée en amont, il existe des expositions à risque dans l'environnement, qu'il s'agisse de la faune sauvage, du voisinage, des pratiques d'élevage ou encore des conditions environnementales de la pâture. Tout bovin positif peut donc potentiellement s'être contaminé au sein de la pâture.

Une pâture « pas à risque » a été définie comme une pâture fréquentée uniquement par des bovins négatifs.

Les **élevages** sélectionnés pour l'étude étaient des élevages de la zone infectée de Côte d'Or ayant eu au moins un arrêté préfectoral portant déclaration d'infection (APDI) et dont les éleveurs possédaient des registres de passage de leurs bovins sur les pâtures. La liste de ces élevages nous a été communiquée par la DDPP21 et l'information concernant la possession de registres a été recueillie grâce à une autre étude en cours dans cette zone.

Un **bovin positif** a été défini comme un bovin ayant eu une intradermoréaction (IDR) positive associée à un test PCR et/ou une culture positive ou un bovin positif à la PCR et/ou la culture bactérienne.

Cette définition a été mise en place à la lumière des valeurs de spécificité et de sensibilité de l'IDC (voir partie bibliographique). La confirmation par la PCR et/ou la culture nous permettait d'avoir davantage confiance quant au statut du bovin considéré comme positif.

Un **bovin négatif** a été défini comme un bovin âgé de plus de deux ans au moment de l'ADPI, n'ayant réagi à aucun test de dépistage et présent au moment de l'APDI sur l'exploitation. Pour chaque bovin positif dans un élevage, deux bovins négatifs ont été tirés au sort dans une liste contenant tous les bovins de l'élevage répondant à la définition de bovin négatif.

A partir de ces définitions, les listes de bovins pour l'étude nous ont été transmises par la DDPP 21. Le tirage au sort des bovins négatifs a été effectué en utilisant la fonction *sample* dans le logiciel R® (version 3.1.2 (2014-10-31)).

2.2 Période d'étude

L'étude mise en place était de type **rétrospectif**.

Le choix de la période d'étude a été fait en tenant compte tout d'abord de la prophylaxie et des mesures de lutte. Une prophylaxie annuelle permet une détection des cas et est mise en place sur les animaux à partir de 24 mois en Côte d'Or. Si un animal est détecté positif à l'IDC, son abattage permet une analyse plus poussée et le cas échéant une confirmation par PCR et/ou culture. Si l'animal est identifié comme positif, l'élevage est mis sous APDI. En Côte d'Or, cette mesure s'accompagne d'un abattage partiel dans la plupart des cas suivi d'un dépistage tous les deux mois en hiver et tous les quatre mois à partir de la mise à l'herbe. Tous les bovins de l'élevage ayant plus de 6 semaines sont alors testés. Ces contrôles ont lieu jusqu'à la requalification, obtenue après trois contrôles consécutifs favorables et une fois les opérations de nettoyage et de désinfection réalisées ([Note de service DGAI/SDSPA/2014-541](#)).

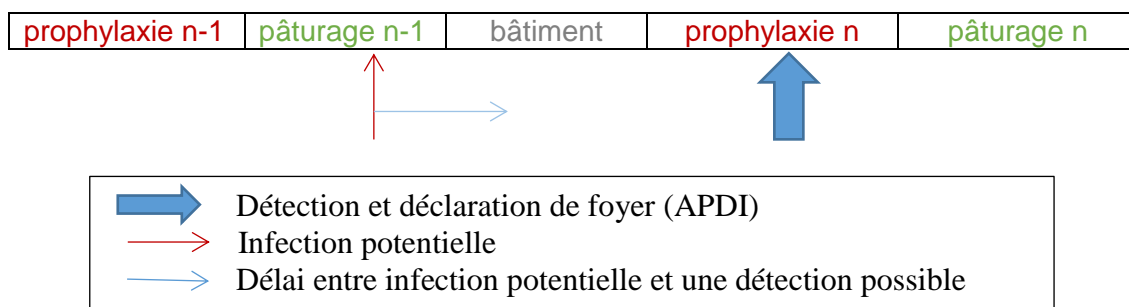
Pour qualifier un cheptel d'infecté, nous avons considéré la date d'APDI, qui correspond à la déclaration officielle de foyer.

Par ailleurs, le temps en jours entre l'infection à *M. bovis* et la détection par intradermoréaction a été estimé à 41 jours ([30 – 54 %]_{95%}) ([Fischer et al. 2005](#) ; [Alvarez](#)

et al. 2014). En tenant compte de cette donnée, le pâturage potentiellement contaminant pouvait être celui précédant la prophylaxie annuelle (figure3).

Une **période de un an précédant la déclaration de foyer** a donc été définie comme période d'étude. Elle nous permettait d'inclure la saison de pâturage précédant la déclaration de foyer. Pour les élevages ayant eu plusieurs APDI, la date du dernier APDI était considérée.

Figure 3: Succession dans le temps du pâturage et de la détection possible



2.3 Constitution du fichier de données

2.3.1 Questionnaire

Les éleveurs possédant des registres de passage de leurs bovins sur les pâtures avaient été contactés dans un premier temps par courrier en décembre 2014, afin de leur présenter le protocole et les objectifs de l'étude. En janvier 2015, ils ont été de nouveau joints, par téléphone, en utilisant une grille afin de standardiser l'information délivrée. Au cours de cet appel téléphonique, les objectifs de l'étude ont été présentés et l'accord des éleveurs pour participer à l'étude a été demandé. En cas d'acceptation, leur accord pour avoir accès à leur Registre Parcellaire Graphique (RPG) était recueilli et une date pour la réalisation du questionnaire en vis-à-vis était convenue. Les périodes d'étude de pâturage et les numéros des bovins inclus étaient précisés afin de préparer les registres nécessaires à la réalisation du questionnaire. En cas de refus, le motif était renseigné.

Le questionnaire (annexes 7 à 9) de 20 questions a été testé au sein de l'unité avant la réalisation de l'enquête. Il comportait trois volets :

- un volet *élevage* comportant trois questions permettant la collecte des caractéristiques générales d'élevage (annexe 7)
- un volet *bovins positifs et négatifs*, permettant un relevé des pâtures fréquentées et les dates de passage correspondantes pour la période d'étude (annexe 8)
- un volet *pâtures* comportait des questions relatives à leurs caractéristiques. Un questionnaire par pâture était rempli, les pâtures considérées étant celles citées lors du questionnaire bovin. Des cartes préparées en amont (voir annexe 10) permettaient de lier le numéro d'îlot (connu grâce au RPG) au nom d'usage de la pâture, pour une meilleure visualisation de la pâture par l'éleveur. La consultation du RPG de chaque éleveur avant le rendez-vous a rendu possible la création de ces cartes, ainsi que la prévision du maximum de questionnaires possibles par élevage (*i.e.* le nombre de pâtures par élevage) (annexe 9a et 9b)

Le questionnaire a été réalisé sous format papier et les données recueillies ont été ensuite saisies grâce à un masque de saisie sous EpiData, permettant des sorties aux formats .xlsx et .csv.

2.3.2 Création de la variable d'intérêt

La majorité des variables recueillies pour décrire les élevages et les bovins l'ont été grâce au questionnaire. Elles ont été complétées par des informations provenant de la Base de Données Nationale d'Identification (BDNI), notamment pour les origines, dates de naissance, race et sexe des bovins ou encore la taille des exploitations.

La variable d'intérêt de l'étude était le statut de la pâture (pour chaque pâture *i*). Elle a été créée via le logiciel R® en utilisant les sorties .csv du questionnaire. De même, une variable passage en commun des positifs a été créée pour renseigner sur chaque cas où au moins deux bovins positifs se trouvaient sur la pâture *i*.

La base de données relative à la cartographie des pâtures était celle fournie dans le RPG, dont ont été extraites les pâtures incluses dans l'étude.

2.3.3 Variables explicatives

❖ **Variables caractérisant les pratiques d'élevage**

Six variables nous ont permis de caractériser les pratiques d'élevage au sein de chaque pâture (tableau 2).

Tableau 2: Variables caractérisant les pratiques d'élevage au niveau pâture

Nom de la variable	Définition de la variable	Hypothèse biologique
<i>Fumier</i>	Epandage ou non de fumier sur la pâture avant la mise à l'herbe (binaire)	<i>Le fumier étant potentiellement contaminé, le dépôt sur la pâture s'accompagne d'un risque de transmission possible (aérosols, ingestion) (Humblot et al. 2009)</i>
<i>Fauchage</i>	Coupe de foin ou non réalisée avant la mise à l'herbe (binaire)	<i>Une herbe plus courte favorise le contact avec la terre et l'ingestion de mycobactéries si présentes (Hutchings et Harris 1997, Ward et al. 2010)</i>
<i>Pâturage tournant</i>	Pâture utilisée toute la période ou en alternance avec une autre (binaire)	<i>Protecteur (Ward et al. 2010) ou plus à risque (Hutchings et Harris 1997)</i>
<i>Pression de pâturage</i>	Nombre d'animaux présents en moyenne sur la pâture pendant une saison, pondérée par les UGB (quantitative)	<i>Grande taille de troupeau plus à risque (Humblot et al. 2009) et piétinement plus important si plus d'animaux (terre plus accessible et donc mycobactéries également)</i>
<i>Type de pâture</i>	Pâture à jeunes, mixte adultes-veaux ou seulement adultes (qualitative nominale)	<i>Les bovins se contamineraient jeunes (Griffin et al. 1996)</i>
<i>Surface de pâture</i>	Surface de pâture en hectares (quantitative)	<i>Taille plus importante associée à une contamination plus importante (Guta et al. 2014)</i>

Les modalités des variables **fumier**, **fauchage** et **pâturage tournant** ont été collectées grâce au questionnaire. La **surface de pâture** a été obtenue via le logiciel QGIS®, pour chaque pâture.

Le **type de pâturage** a été obtenu *via* le questionnaire, les pâtures étant dévolues à un type d'animal ou de groupes d'animaux. Se distinguent ainsi les pâtures à génisses, les pâtures fréquentées à la fois par les vaches avec leurs veaux (et un taureau) et enfin celles uniquement utilisées par des adultes, sans veau.

La **pression de pâturage** a été calculée comme suit, pour chaque pâture i :

$$press_pat_i = \frac{\sum_{j=1}^k (Nb\ Aal\ ij \times UGBj \times tps(se)ij)}{52 \times surf_pat_i}$$

Le terme $Nb\ Aal\ ij$, correspondait au nombre d'animaux de type j (génisse, vache, taureau ou veau) présent sur la pâture i .

Le terme $tps(se)ij$ correspondait au temps passé par le type j sur la pâture i en semaines.

Ces deux termes étaient obtenus grâce au questionnaire.

Le terme $surf_pat_i$ correspondait à la surface de la pâture i .

A chaque type d'animal était attribué un indice $UGBj$ d'Unité Gros Bétail « alimentation grossière » telle que définie par le Ministère de l'Agriculture ([source Agreste](#)), une UGB correspondant à « *la vache laitière de 600 kg consommant 4500 kg de matière sèche par an, présente toute l'année sur l'exploitation* ».

Le tableau 3 résume les différentes valeurs de cet indice prises pour notre étude.

Tableau 3 : UGB suivant le type de bovin considéré (source Agreste)

Type d'animal	UGBj
Veau	0,38
Génisse	0,7
Vache (type allaitant)	0,85
Taureau	0,9

❖ **Variables caractérisant le voisinage**

Les variables caractérisant le voisinage pour chaque pâture étaient au nombre de deux et sont reprises dans le tableau 4.

Tableau 4: Variables caractérisant le voisinage au niveau pâture

Nom de la variable	Définition de la variable	Hypothèse biologique
Clôture	Type de clôture la plus perméable aux contacts avec le(les) troupeau(x) de la(des) pâture(s) voisine(s) (barbelés ou électrique) (binaire)	Augmentation du risque de contamination avec une clôture perméable aux contacts (Cowie et al. 2014)
Surface de voisinage à risque	Surface de voisinage (en m ²) avec les foyers de la même année d'APDI, de l'année suivante et de l'année précédente (quantitative)	Plus la surface est grande, plus le risque de se contaminer est grand (Good et al. 2011)

Le **type de clôture** était une information obtenue via le questionnaire.

La **surface de voisinage à risque** pour chaque pâture a été obtenue en utilisant le logiciel QGIS®. Pour chaque pâture, une zone tampon de trois mètres était créée ainsi que pour les autres pâtures ayant eu un APDI la même année n , l'année $n-1$ et l'année $n+1$. Ces données de foyer nous ont été fournies par la DDPP21. Une intersection des zones tampons a ensuite été réalisée et la surface d'intersection calculée.

❖ Variables caractérisant la faune sauvage

Pour prendre en compte la faune sauvage à l'échelle de la pâture, le blaireau a tout d'abord été pris en compte. L'attractivité de la pâture pour cette espèce a été caractérisée ainsi que les zones pouvant éventuellement être utilisées comme habitat. Les données disponibles pour le cerf élaphe (issues de Sylvatub) ne nous permettaient pas de les prendre en compte à l'échelle de la pâture : disponibles au niveau des territoires de chasse, cette échelle nous donnait des densités infimes ramenées à la pâture. Enfin, pour le sanglier, seuls les signes de passage caractéristiques de cette espèce ont pu être renseignés *via* le questionnaire. Il s'agit des boutis, zones de terre retournée par l'animal avec son boutoir lors de sa recherche de nourriture dans le sol. Une photo était montrée à l'éleveur au moment du questionnaire (annexe 10).

Huit variables ont ainsi été mises en place (tableau 5).

Les variables concernant l'**abreuvement**, le **type d'aliment distribué**, le **moment de distribution des concentrés**, le **réceptacle pour les concentrés**, les **pierres à sel** et les **boutis** ont été recueillies grâce au questionnaire.

La **surface de zone boisée à l'intérieur de chaque pâture** a été calculée via le logiciel QGIS®. Elle a été obtenue en réalisant une intersection entre la couche des pâtures de l'étude et celle de la base de données végétation GDAL/OGR® de la zone d'étude.

La **densité de blaireaux** pour chaque pâture a été appréhendée grâce au calcul de la longueur de lisières, zone où les blaireaux peuvent se localiser voire construire leurs terriers. Cette variable a été calculée via le logiciel QGIS®. Dans un premier temps, une zone tampon de 500 m a été créée autour de chaque pâture, puis une intersection réalisée avec la couche zone de végétation GDAL/OGR® et les polygones ainsi obtenus ont été convertis en lignes. Afin de ne pas prendre en compte les lignes de contour de zone tampon « artificielles », une dernière intersection a été réalisée avec les zones tampon de 499 m autour des pâtures. Enfin, la longueur totale de lignes a été obtenue en utilisant la calculatrice de champs. Pour finir, la longueur totale de lisière par pâture a été divisée par la surface de zone tampon de 500 m (en m²), via le logiciel R®.

Tableau 5: Variables caractérisant la faune sauvage au niveau pâture

Nom de la variable	Définition de la variable	Hypothèse biologique
<i>Abreuvement</i>	Type d'abreuvement sur la pâture : absence, pompe à nez, bac, cours d'eau ou mare → artificiel ou absence <i>versus</i> naturel (binaire)	Les abreuvements naturels, plus accessibles, sont attractifs pour la faune sauvage et augmentent le risque de contamination (Humblet <i>et al.</i> 2009)
<i>Type d'aliment distribué</i>	Concentrés, fourrage ou pas d'aliment distribué sur la pâture (qualitative nominale trois modalités)	Appétance des concentrés pour la faune sauvage (blaireau): indicateurs d'attractivité (augmentation du risque) (Payne 2014)
<i>Moment de distribution</i>	Moment de distribution (absence, journée ou soir) (qualitative nominale trois modalités)	Indicateur d'attractivité (augmentation du risque) : une distribution en fin de journée rend l'aliment plus accessible au blaireau (nocturne) (Do Linh San 2006)
<i>Récipient utilisé pour les concentrés</i>	Récipient utilisé pour le concentré (pas de concentrés, nourrisseur à veau ou auge) (qualitative nominale à trois modalités)	Davantage de chute d'aliment dans l'auge et attractivité (augmentation du risque si auge) (Payne 2014)
<i>Pierre à sel</i>	Les pierres à sel en hauteur ou au sol (avec ou sans récipient) (binaire)	Accessibilité des pierres à sel, la position au sol favorisant l'accès (augmentation du risque) (Payne 2014)
<i>Boutis</i>	Existence ou non de passage de sanglier (binaire)	Indicateur d'une probabilité de contact direct/indirect (augmentation du risque si existence) (Humblet <i>et al.</i> 2009)
<i>Surface de zone boisée</i>	Surface de zone boisée intra pâture (en m ²) (quantitative)	Zones appréciées des blaireaux (augmentation du risque quand la surface augmente) (Do Linh San 2006)
<i>Densité de blaireaux</i>	Longueur de lisières par m ² de pâture (quantitative)	Indicateur de la densité de blaireaux par pâture (augmentation du risque quand la densité augmente) (Do Linh San 2006)

❖ Variables caractérisant l'environnement

Sept variables ont été mises en place pour les caractéristiques de type environnemental de chaque pâture (tableau 6).

Tableau 6: Variables caractérisant l'environnement au niveau pâture

Nom de la variable	Définition de la variable	Hypothèse biologique
Drainage	Pâture se drainant bien ou non (binaire)	Humidité favorable à la survie de la bactérie (Young <i>et al.</i> 2005)
« Mouille »	Existence de zones d'humidité localisée associée à du piétinement (binaire)	Humidité localisée favorable à la survie de la bactérie (Young <i>et al.</i> 2005)
Pente moyenne	Pente moyenne de la pâture en degrés (quantitative)	Plus la pente est élevée, moins l'humidité est favorisée et donc le risque que la bactérie survive dans l'environnement (Young <i>et al.</i> 2005)
Exposition	Exposition sud ou nord de la pâture (binaire)	Une exposition nord augmente la survie de la mycobactérie dans le sol (Gallagher <i>et Clifton-Hadley</i> 2000)
Rugosité moyenne	Indice TRI (quantitative)	Plus l'indice est élevé, plus l'humidité est favorisée (rétention humidité favorisée) (Young <i>et al.</i> 2005)
Pédologie	Fraction du type pédologique majoritaire de la zone d'étude (quantitative)	Indicateur du type pédologique majoritaire favorable au maintien de l'humidité (plus à risque) (Walter <i>et al.</i> 2014)
Hydrographie	Surface d'intersection de la pâture avec la zone tampon de 3 m autour des cours d'eau et points d'eau (quantitative)	Indicateur de l'hydrographie de la pâture (surface augmente avec le risque) (Young <i>et al.</i> 2005)

Les variables **drainage** et « **mouille** » ont été recueillies grâce au questionnaire. Par « mouille » on entendait une zone piétinée et humide, comme par exemple au niveau des points d'abreuvement (une photo était montrée pendant la réalisation du questionnaire, voir annexe 10). Ces zones, maintenant une humidité localisée sur la pâture ont été considérées comme favorables à la survie de la mycobactérie dans le sol. Le manque de drainage correspondait à une humidité présente de manière plus homogène sur l'ensemble de la pâture.

Les variables de pente, d'exposition, de rugosité, de pédologie et d'hydrographie ont été obtenues en utilisant le logiciel QGIS®.

La base de données utilisée pour ces variables a été la BD ALTI@25 m de la Côte d'Or fournie par ©IGN. Il s'agit d'une couche raster (modèle numérique de terrain) avec des pixels de 25 m*25 m. L'altitude (en mètres) de chacun de ces pixels est connue.

En utilisant le plugin « Analyse de terrain » de QGIS®, la **pente moyenne**, en degrés, a été obtenue pour chaque pâture en découpant le raster d'altitude suivant la forme de la pâture. Les statistiques et l'information sur la pente moyenne étaient ensuite accessibles dans les métadonnées.

Le même procédé a été utilisé pour accéder à l'**exposition moyenne** de la pâture. Cette donnée est fournie en degrés par le logiciel dans le sens horaire inverse. Les valeurs calculées dans QGIS® ont été simplifiées (logiciel R®) en exposition nord ou sud (l'exposition sud correspondant aux expositions comprises dans l'intervalle]90°-270°[).

L'**indice de rugosité** fourni par QGIS® est l'indice TRI (Terrain Ruggedness Index) tel que défini par Riley *et al.* (1999). Il correspond à un différentiel d'altitude entre tous les pixels de la pâture (annexe 11). Le procédé utilisé pour l'obtenir a été le même que celui de la pente.

Pour définir la **pédologie** de chaque pâture, une intersection a été réalisée entre la couche des pâtures de l'étude et la couche pédologie de la zone d'étude (Source INRA). Différents types de sols ont été mis en évidence mais un type était majoritaire (annexe 12) : il s'agissait des sols argilo-limoneux ou calcaires hydromorphes, favorables au maintien de l'humidité. La fraction du type majoritaire a été calculée.

Enfin, pour caractériser l'**hydrographie** de chaque pâture, une intersection a été réalisée entre la couche des pâtures de l'étude et la couche des cours d'eau et points d'eau (tels que les mares), issue de la base de données GDAL/OGR®. C'est une zone tampon de 3 m autour de la zone hydrographique qui a été prise en compte afin de capter les cours d'eau parfois en bordure de terrain.

2.4 Analyse des données

L'ensemble des analyses statistiques de l'étude ont été réalisées avec le logiciel R®, version 3.1.2.

Les cartes de l'étude ont été réalisées avec le logiciel QGIS®, version 2.6 (Brighton).

2.4.1 Variable d'intérêt

L'objectif de l'étude était à la fois d'identifier et de caractériser des pâtures vis-à-vis de l'infection à *M. bovis*. La variable d'intérêt Y_i mise en place était de type binaire : 0 la pâture n'était pas « à risque » et 1 si elle l'était.

Y_i suit une loi de Bernouilli de paramètre p_i , d'espérance $E(Y_i) = p_i$ et de variance $Var(Y_i) = p_i \times (1 - p_i)$.

2.4.2 Modèle statistique utilisé

Nous avons cherché à expliquer le statut de la pâture représenté par la variable Y_i à l'aide de k variables explicatives X_{ij} ($j \in [1 ; k]$).

La prévalence d'infection à *M. bovis* dans les pâtures de l'étude a été modélisée en se plaçant dans le cadre des modèles linéaires généralisés (GLM), la fonction de lien étant une fonction logit.

L'élevage a été pris en compte comme variable d'ajustement. Cette variable contenait en effet des informations pouvant modifier l'association mais que nous ne pouvions pas estimer. De plus, si au moins deux bovins positifs avaient été sur la même pâture pendant la période d'étude, cette donnée était prise en compte dans le modèle puisque nous voulions expliquer la contamination au sein de la pâture, mais pas celle due à un contact avec un bovin positif sur la même pâture.

Le modèle de régression logistique a donc été écrit de la manière suivante :

$$\text{logit}(p_i) = \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ij} + \gamma_i \text{elevage}_i + \delta_i \text{pos_com}_i + \varepsilon$$

α : l'intercept du modèle

X_{ij} : les k variables explicatives (pratique d'élevage, faune sauvage, environnement, voisinage)

β_j : le coefficient associé à la variable X_{ij}

elevage_i : la variable d'ajustement

γ_i : le coefficient associé à la variable d'ajustement

pos_com_i : la variable passage en commun des positifs (0 si non, 1 si oui)

δ_i : le coefficient associé à la variable pos_com_i

ε : les résidus

2.4.3 Analyse univariée

Afin de déterminer la forme des variables explicatives quantitatives, la linéarité de chacune d'entre elles avec la variable Y_i a été vérifiée. Pour cela, les variables quantitatives ont été transformées en classes (trois ou quatre selon les situations) suivant les quantiles. Le modèle de régression logistique était ensuite appliqué pour cette seule variable explicative en utilisant les milieux de quantiles et les coefficients récupérés. Si la relation n'était pas linéaire, dans la représentation graphique des milieux de quantile en fonction des coefficients, la variable était considérée en classes dans la suite de l'analyse.

L'analyse univariée a ensuite été réalisée afin de mesurer l'effet de chacune des variables explicatives isolément sur la variable d'intérêt. Les variables ont été considérées comme associées statistiquement de manière significative quand le degré de significativité associé était inférieur ou égal à 20 % ($p \leq 0,2$). Un test de Chi² a été utilisé.

Des cartes de répartition des modalités des variables explicatives significativement associées sur les pâtures ont été réalisées, pour une approche visuelle de cette association.

2.4.4 Analyse multivariée

La **colinéarité** des variables a été testée entre toutes les variables explicatives sélectionnées en univarié (R® package « car »). Les variables ayant un VIF (Variance Inflation Factor) inférieur à cinq ont été conservées dans le modèle en analyse multivariée.

La **sélection de modèles** a été réalisée en utilisant le critère d'information d'Akaike (AIC) (Akaike 1974) (R® package « MASS »), dont la formule est la suivante :

$$AIC = -2 \times \log L + 2 \times p$$

Avec L : la vraisemblance maximisée du modèle

p : le nombre de paramètres à estimer du modèle

Le modèle retenu a été celui avec le meilleur AIC (le plus petit AIC).

Enfin, les **odds-ratios (OR)** ont été calculés ainsi que leurs intervalles de confiance à 95 %.

Dans le cadre de la régression logistique, l'OR_{*j*} correspondant à chaque variable explicative est calculé *via* la fonction exponentielle. Ainsi, pour une variable explicative binaire *j* :

$$OR_j = e^{\beta_j}$$

Pour une variable en classes, l'OR de chaque classe est estimé par rapport à une classe de référence.

Les **variables interprétées** dans l'analyse multivariée étaient celles associées à la variable d'intérêt avec un degré de significativité de 5 % ($p \leq 0,05$).

3. Résultats

3.1 Analyse descriptive – Variable d'intérêt

3.1.1 Elevages

❖ **Nombre d'élevages**

Dix-sept éleveurs ont été sélectionnés dans la zone infectée de Côte d'Or suite à une enquête cas-témoins ayant pour but d'identifier les facteurs de risque de la tuberculose bovine dans ce département. Parmi eux, 15 éleveurs ont accepté de participer à l'étude. Les deux refus étaient dus à une lassitude des éleveurs par rapport à des études répétées dans le département concernant la tuberculose bovine.

Trois autres éleveurs, qui ont donné leur accord pour participer à l'étude, ne disposaient pas des registres de suivi des bovins sur leurs pâtures. Un éleveur est resté injoignable malgré son accord. Au total, **11 éleveurs ont été inclus dans l'étude et questionnés.**

Deux élevages ont ensuite été exclus de l'analyse, car à l'issue du questionnaire, moins de cinq pâtures utilisées par l'ensemble de leurs bovins positifs (et de deux fois plus de bovins négatifs) avaient été identifiées. Ce choix a été fait dans le but d'avoir un minimum de cinq observations par élevage dans l'analyse statistique.

Finalement, **neuf élevages ont été retenus dans l'étude et inclus dans l'analyse statistique.**

❖ **Taille des élevages**

Les élevages de l'étude étaient tous de type allaitant. La taille médiane des élevages était de 239 bovins (minimum : 30 ; maximum : 432).

❖ **Nombre d'APDI**

Certains des élevages sélectionnés avaient subi d'autres APDI (entre un et trois) avant celui pris en compte pour cette étude (dernier APDI). Cependant pour cinq élevages sur les neuf retenus, il s'agissait du premier APDI. Le plus ancien APDI considéré remontait à décembre 2010 et le plus récent à juin 2014.

3.1.2 Bovins

❖ Statut des bovins

Les critères d'inclusion des bovins positifs nous ont amené à inclure 32 bovins positifs et à leur associer 64 bovins négatifs tirés au sort et répondant aux critères d'inclusion.

❖ Sexe

La plupart des bovins inclus dans l'étude étaient des femelles, dont 31 (33%) étaient positives. Seul un des trois mâles inclus dans l'étude était positif (tableau 7).

Tableau 7: Répartition du sexe des bovins de l'étude suivant leur statut vis-à-vis de la tuberculose

Statut du bovin	Nombre de femelles	Nombre de mâles	Total
Positif	31	1	32
Négatif	62	2	64
Total	93	3	96

❖ Age

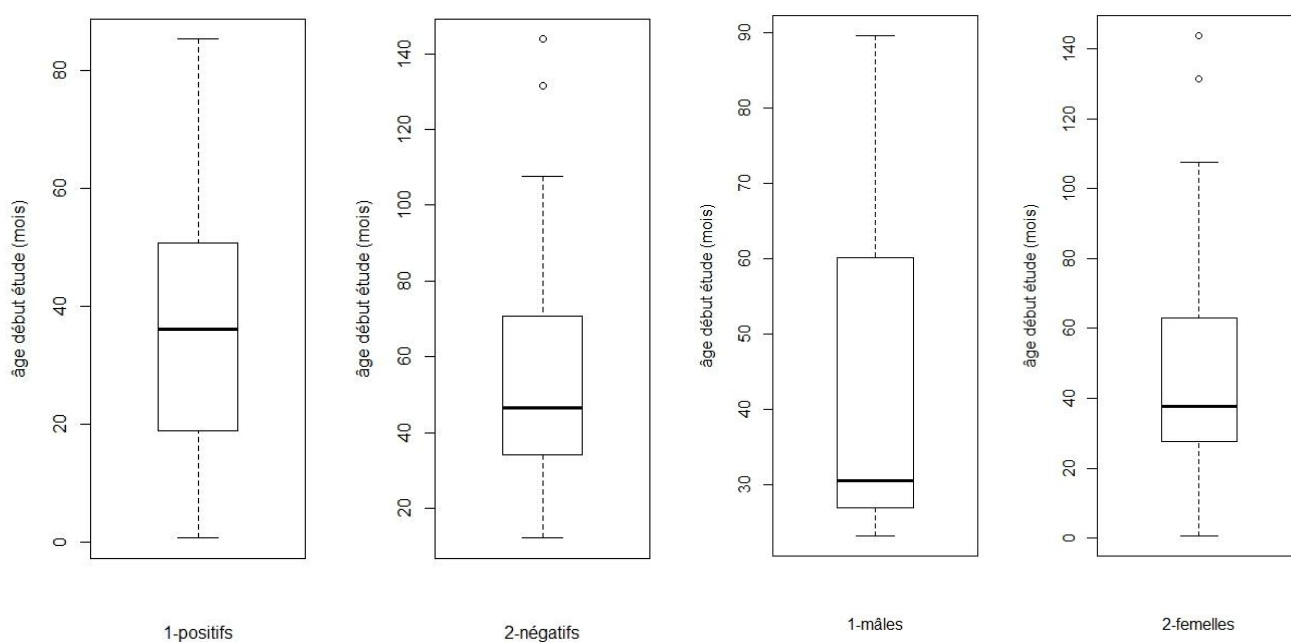
L'âge médian des bovins au début de la période d'étude était de 38 mois (trois ans), avec un âge minimum de un mois et un âge maximum de 144 mois (12 ans).

La distribution des âges chez les bovins positifs montre un minimum à un mois, une médiane à 36 mois (trois ans) et un maximum à 85 mois (7 ans) chez les positifs (figure 4a). Chez les négatifs, l'âge minimum était de 12 mois, l'âge médian de 46 mois et l'âge maximum de 144 mois.

Figure 4: Distribution des âges des bovins de l'étude

a) bovins positifs et négatifs

b) bovins mâles et femelles



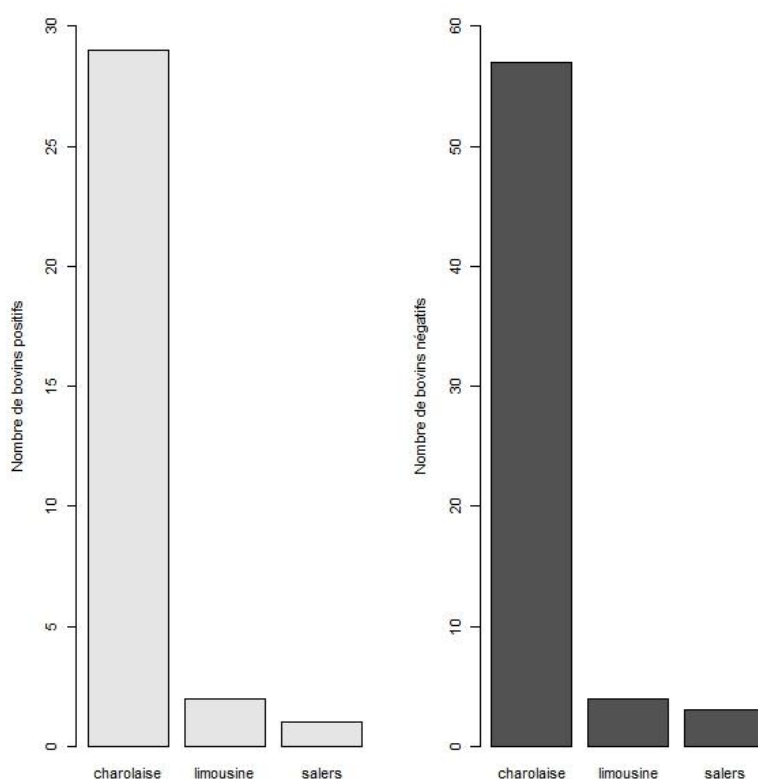
La distribution des âges chez les femelles montre un minimum à un mois, une médiane à 38 mois et un maximum à 144 mois (figure 4b). Les trois mâles étaient quant à eux âgés de 89 mois, 31 mois et de 23 mois. Ce dernier était un bovin positif.

Les jeunes bovins étaient donc majoritairement représentés dans notre étude.

❖ **Races représentées**

Trois races différentes étaient représentées dans notre étude. Quarante-vingt-six bovins étaient de race Charolaise, dont 29 positifs (34%), six bovins de race Limousine dont deux positifs et quatre bovins de race Salers, dont un positif. La race charolaise était donc prédominante (figure 5).

Figure 5: Répartition des races chez les bovins positifs et négatifs de l'étude



Tous les mâles étaient de race Charolaise, et parmi les femelles, on pouvait compter 83 Charolaises (89%), six Limousines et quatre Salers.

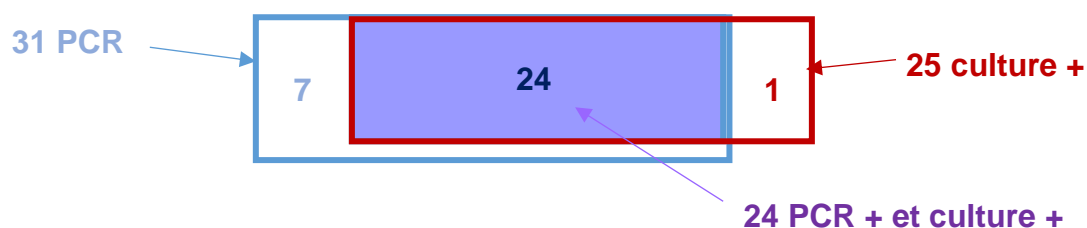
❖ **Origine des bovins**

Parmi les bovins inclus dans l'étude, 29 avaient été achetés dont 11 positifs et 67 étaient nés sur l'exploitation, dont 21 positifs. Tous les mâles avaient été achetés et 67 des 93 femelles étaient nées sur l'exploitation.

❖ **Dépistage des bovins positifs**

Parmi les 32 bovins positifs, 24 ont été détectés par IDC, cinq ont été détectés par IDS et trois étaient des découvertes d'abattoir. Parmi les bovins positifs, 24 ont été confirmés par PCR et par culture, sept par PCR seule et un par culture seule (figure 6).

Figure 6: Répartition des tests de confirmation parmi les bovins positifs



3.1.3 Pâtures

A l'issue de la réalisation des questionnaires et de l'exclusion des élevages précédemment cités, l'étude a porté sur 61 pâtures, réparties en 28 pâtures « à risque » et 33 « pas à risque ».

❖ **Réorganisation du RPG**

Certaines pâtures correspondaient à la fusion de deux îlots du RPG alors que d'autres pouvaient correspondre à un même îlot mais fragmenté. La réalisation du questionnaire avec des cartes en support a permis le relevé de ces découpages ou de ces fusions. Le fichier initial provenant des RPG a donc été repris pour certaines pâtures dont les contours ont été précisés via le logiciel QGIS®.

Au total, deux pâtures correspondaient à la réunion de deux îlots, deux îlots ont été fragmentés en deux pâtures et un îlot en trois pâtures, dont une a été incluse dans l'étude.

❖ **Nombre de bovins positifs sur les pâtures à risque**

Le statut des pâtures étant fixé en fonction du passage de bovins positifs, il était intéressant de calculer le nombre de bovins positifs passés sur les pâtures statuées « à risque ». Sur les 28 pâtures « à risque » de l'étude, 15 (54%) ont été fréquentées par un bovin positif (tableau 8).

Tableau 8: Nombre de bovins positifs par pâture « à risque »

Nombre de bovins positifs passés sur la pâture	1	2	3	4	5
Nombre de pâtures concernées	15	4	4	4	1

❖ **Altitude des pâtures**

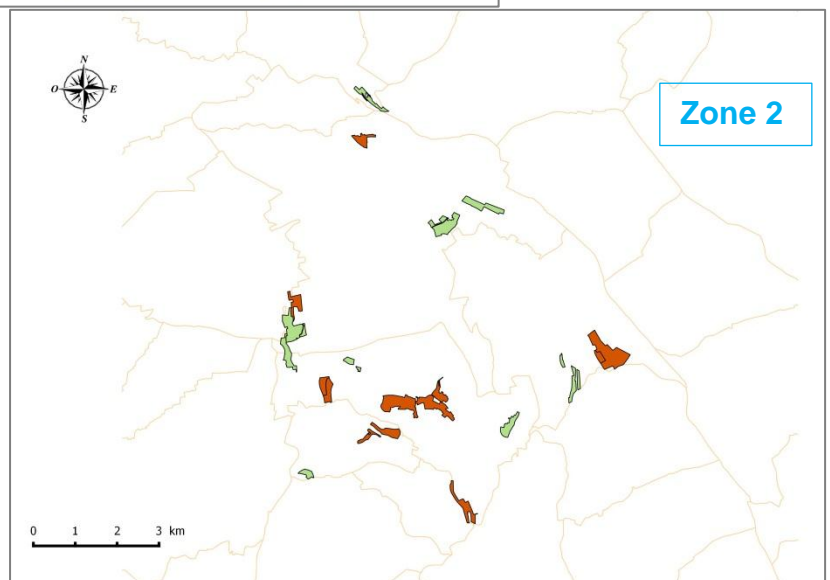
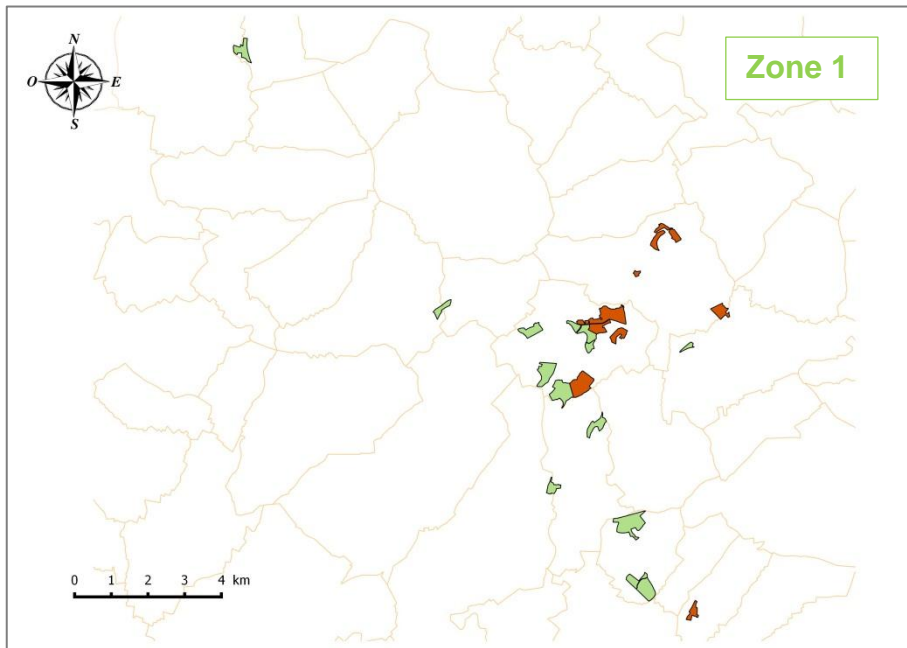
La médiane de l'altitude moyenne des pâtures de l'étude était de 340 m, avec une altitude minimum de 203 m et maximum de 567 m.

❖ **Répartition géographique des pâtures de l'étude**

Une carte des pâtures de l'étude suivant leur statut « à risque » ou « pas à risque » a été réalisée (figure 7). Pour une meilleure visualisation des pâtures, trois zones ont été définies : une zone nord-ouest (zone 1), une zone nord-est (zone 2) et une zone sud-est (zone 3) (annexe 13).

Parmi les 61 pâtures de l'étude, deux étaient utilisées également pendant l'hiver (éleveur de Salers), une ayant le statut « à risque » et l'autre non.

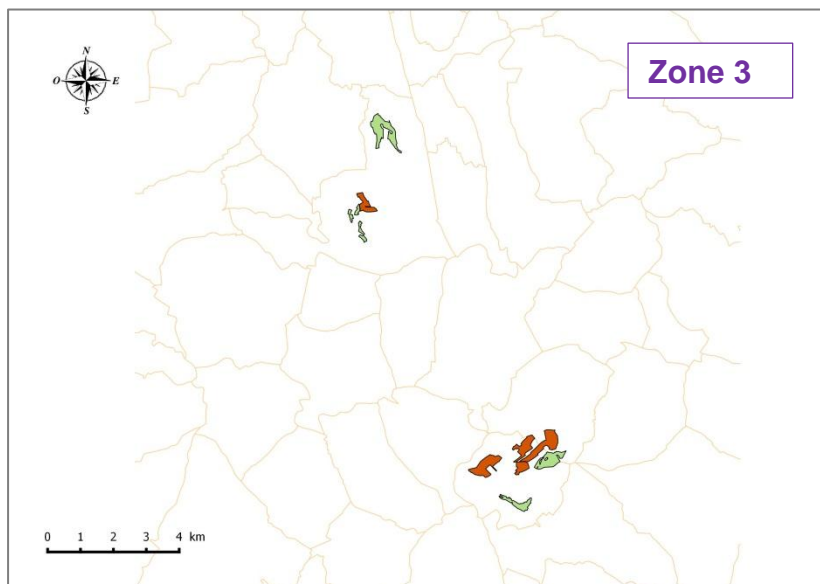
Figure 7 : Cartes des pâtures "à risque" et "pas à risque" de tuberculose bovine



Légende

Statut des pâtures

- "pas à risque" de tuberculose bovine
- "à risque" de tuberculose bovine
- limites communales



3.2 Analyse descriptive - Variables explicatives

3.2.1 Variables caractérisant les pratiques d'élevage

Sur les 61 pâtures, 27 étaient utilisées au sein d'un système de pâturage tournant, dont 11 pâtures « à risque » (48%) (tableau 9).

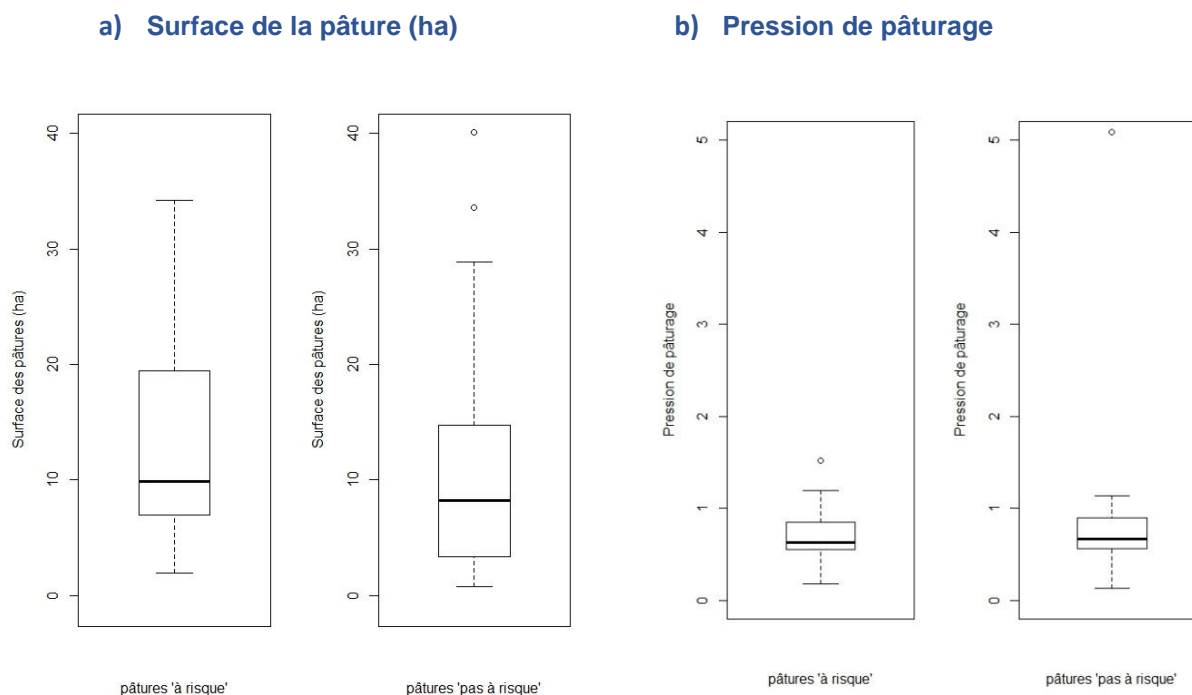
La médiane des surfaces de pâtures « à risque » était de 13,7 ha, celle des pâtures « pas à risque » de 11,7 ha et cette variable ne présentait pas une distribution très différente suivant le statut (figure 8a).

La médiane de la pression de pâturage parmi les pâtures « à risque » était de 0,6 (minimum : 0,2 ; maximum : 1,5) et celle des pâtures « pas à risque » était de 0,7 (minimum : 0,1 ; maximum : 5,1), montrant une pression plus élevée parmi les pâtures « à risque » (figure 8b).

Cinquante-quatre pourcent des pâtures « à risque » avaient été fauchées avant pâturage contre 33% parmi les pâtures « pas à risque » de tuberculose bovine (tableau 9). Il semblait donc pouvoir exister une différence suivant le statut de la pâture pour cette exposition.

De l'épandage avait été pratiqué sur 11% des pâtures « à risque » et sur 18 % des pâtures « pas à risque » de tuberculose bovine (tableau 9). Enfin, 86 % des pâtures « à risque » étaient de type mixte contre 64 % des pâtures « pas à risque » de tuberculose bovine (tableau 9).

Figure 8: Distribution des variables quantitatives relatives aux pratiques d'élevage suivant le statut de la pâture

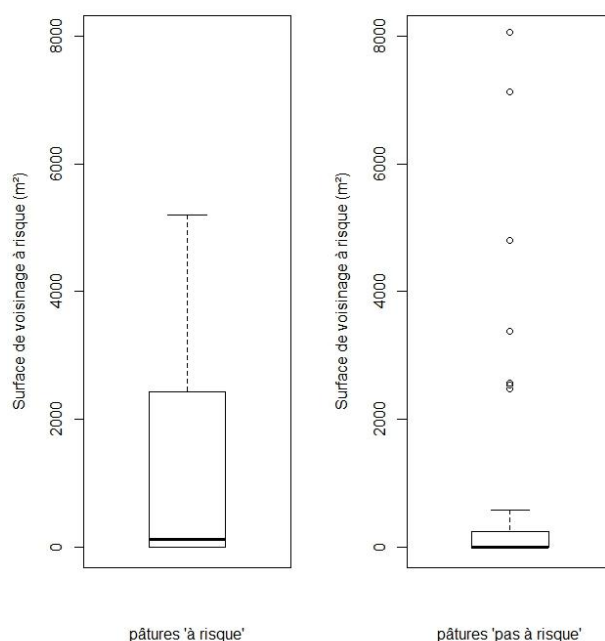


3.2.2 Variables caractérisant le voisinage

Quatre-vingt-neuf pourcent des pâtures « à risque » avaient une clôture en barbelés contre 97% des pâtures « pas à risque » de tuberculose bovine (tableau 9).

La distribution de la surface de voisinage à risque était plus large chez les pâtures « à risque » avec une médiane à 114,3 m² (minimum : 0 ; maximum : 5 204) que parmi les pâtures « pas à risque » avec une médiane à 0 (minimum : 0; maximum : 8 057) (figure 9).

Figure 9: Distribution de la surface de voisinage à risque suivant le statut de la pâture

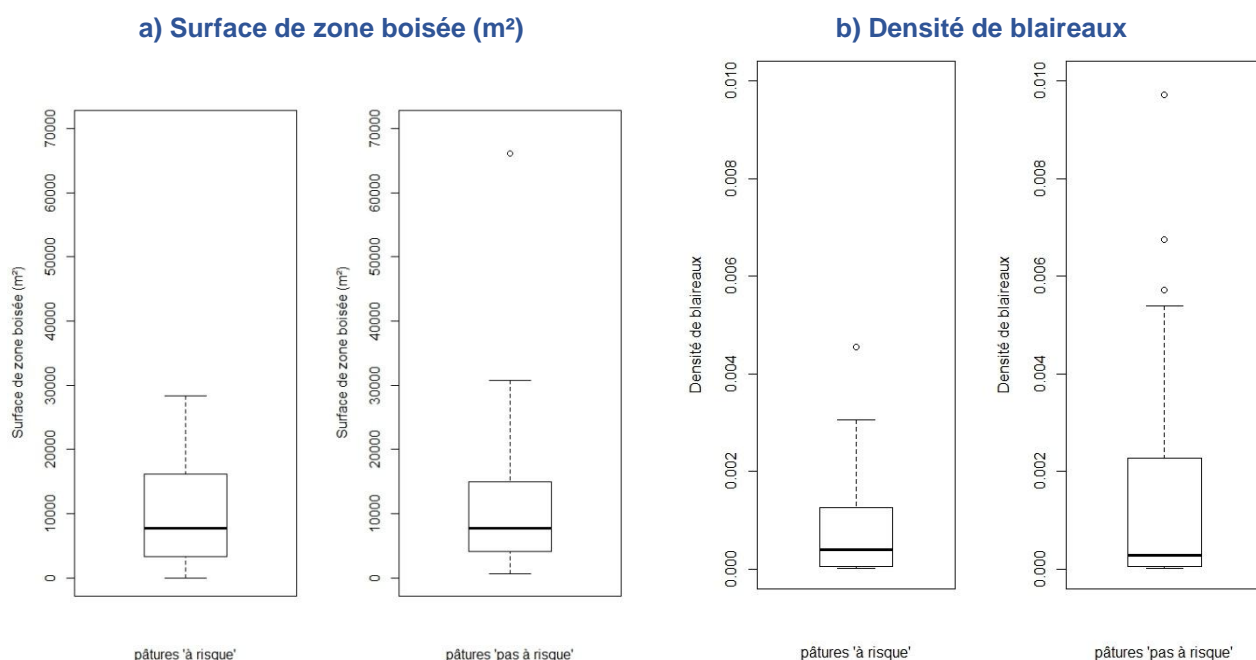


3.2.3 Variables caractérisant la faune sauvage

Parmi les pâtures « à risque », 43% avaient des abreuvements naturels (contre 48% parmi les pâtures « pas à risque »), 57% avaient reçu des distributions de concentrés (contre 51% parmi les pâtures « pas à risque »), pour 25% d'entre elles la distribution avait eu lieu le soir (contre 27% des pâtures « pas à risque »), pour 29% d'entre elles le récipient des concentrés était une auge (contre 12% des pâtures « pas à risque »), pour 78% d'entre elles les pierres au sol étaient soit au sol soit près du sol (contre 94% pour les pâtures « pas à risque ») et enfin 43% d'entre elles avaient présenté des traces de passage de sanglier (contre 64% des pâtures « pas à risque ») (tableau 9).

La surface de zone boisée intra pâture était distribuée de manière assez similaire entre les pâtures « à risque » et « pas à risque », avec une médiane à 7 679 m² (minimum : 3,12 ; maximum : 28 400) pour les premières et une médiane à 7 785 m² (minimum : 674,6 ; maximum : 66 090) pour le secondes (figure 10a). Il en allait de même pour les densités de blaireaux (figure 10b).

Figure 10: Distribution des variables relatives à la faune sauvage suivant le statut des pâtures



3.2.4 Variables caractérisant l'environnement

Les différents types pédologiques retrouvés dans les pâtures de l'étude sont décrits dans l'annexe 12. Seules trois pâtures ne contenaient pas le type de sol majoritaire retrouvé dans la zone d'étude, et deux d'entre elles étaient de statut positif. Au total, huit autres types pédologiques minoritaires ont été mis en évidence.

Parmi les pâtures « à risque », 39% étaient mal drainées (contre 30% des pâtures « pas à risque »), 71% présentaient des zones de « mouille » (contre 45% des pâtures « pas à risque ») et 36% étaient exposées au nord (contre 33% des pâtures « pas à risque ») (tableau 9). Enfin les distributions des variables de pente, de rugosité, de pédologie et d'hydrographie étaient assez similaires entre les pâtures « à risque » et « pas à risque » de tuberculose bovine (figure 11).

Finalement, seule la répartition de la variable « mouille » semblait différente entre les deux statuts de pâture.

Figure 11: Distribution des variables caractérisant l'environnement suivant le statut des pâtures

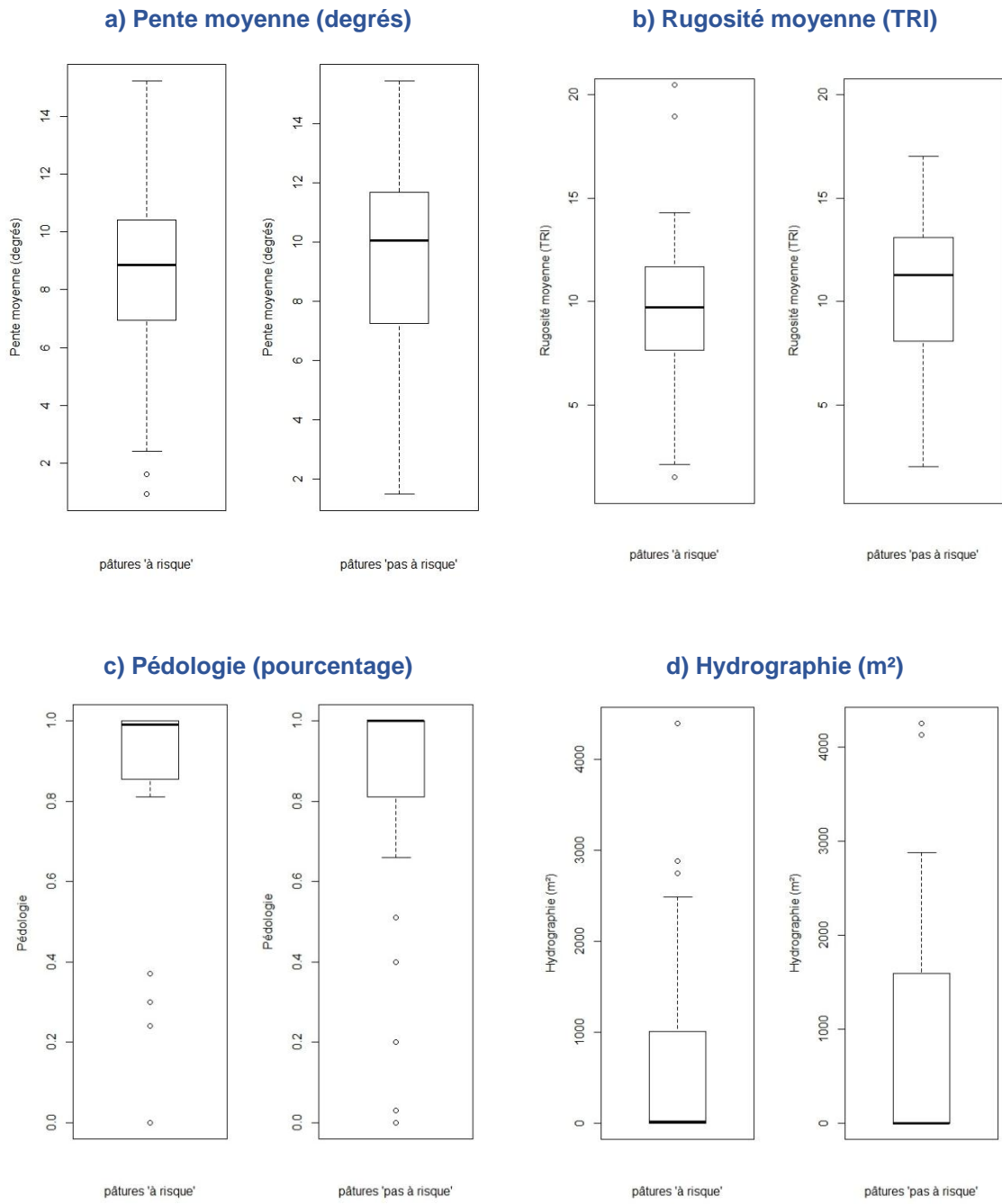


Tableau 9: Répartition des variables qualitatives et binaires suivant le statut de la pâture

Variables		Nombre de pâtures « à risque »	Nombre de pâtures « pas à risque »
<u>Pratiques</u>			
<i>Fumier</i>	<i>Absence</i>	25	27
	<i>Présence</i>	3	6
<i>Fauchage</i>	<i>Absence</i>	13	22
	<i>Présence</i>	15	11
<i>Type de pâture</i>	<i>Jeunes</i>	4	7
	<i>Adultes</i>	0	5
	<i>Mixtes</i>	24	21
<i>Pâturage tournant</i>	<i>Absence</i>	17	21
	<i>Présence</i>	11	12
<u>Voisinage</u>			
<i>Clôture</i>	<i>Electrique</i>	3	1
	<i>Barbelés</i>	25	32
<u>Faune sauvage</u>			
<i>Abreuvement</i>	<i>Artificiel</i>	16	17
	<i>Naturel</i>	12	16
<i>Type d'aliment</i>	<i>Absence</i>	6	8
	<i>Fourrages</i>	6	8
	<i>Concentrés</i>	16	17
<i>Moment de distribution</i>	<i>Absence de concentrés</i>	6	8
	<i>Journée</i>	15	16
	<i>Nuit</i>	7	9
<i>Récepteur des concentrés</i>	<i>Absence de concentrés</i>	12	16
	<i>Nourrisseur</i>	8	13
	<i>Auge</i>	8	4
<i>Pierre à sel</i>	<i>Absence/hauteur</i>	6	2
	<i>Bas/sol</i>	22	31
<i>Boutis</i>	<i>Absence</i>	16	12
	<i>Présence</i>	12	21
<u>Environnement</u>			
<i>Drainage</i>	<i>Mauvais</i>	11	10
	<i>Bon</i>	17	23
« Mouille »	<i>Absence</i>	8	18
	<i>Présence</i>	20	15
<i>Exposition</i>	<i>Sud</i>	18	22
	<i>Nord</i>	10	11

Enfin, différentes cartes ont été réalisées afin d'avoir une première approche visuelle de la répartition des différentes modalités des variables explicatives sur les pâtures « à risque » et « pas à risque » (correspondant à la variable d'intérêt du modèle). Ces différentes cartes pour les variables associées statistiquement dans l'analyse univariée (voir suite) ont été rapportées dans l'annexe 14.

3.3 Analyse statistique

3.3.1 Analyse univariée

Pour l'analyse univariée, aucune des variables quantitatives ne satisfaisait l'hypothèse de linéarité sous-jacente à l'utilisation d'un modèle linéaire. Elles ont donc toutes été transformées en facteurs. Ainsi, les variables pédologie et surface de zone boisée intra-pâturage ont été transformées en facteurs en 3 classes et les 5 autres variables quantitatives en facteur à 4 classes.

Sept variables ont été retenues à l'issue de l'analyse univariée (tableau 10).

Tableau 10: Résultats de l'analyse univariée

Variables explicatives	Type	Nombre de pâtures	p ($\leq 0,20$)
Passage en commun des positifs	Binaire : <i>absence</i>	49	< 0,001
	<i>présence</i>	12	
Fauchage	Binaire : <i>absence</i>	35	0,11
	<i>présence</i>	26	
« Mouille »	Binaire : <i>absence</i>	26	0,04
	<i>présence</i>	35	
Boutis	Binaire : <i>absence</i>	28	0,10
	<i>présence</i>	33	
Pierre à sel	Binaire : <i>absence</i> / <i>> 70 cm du sol</i>	8	0,07
	<i>au sol</i> / <i>> 70 cm (+ récipient)</i>	53	
Surface de voisinage à risque (m²)	Facteur en 4 classes		0,15
	<i>[0 – 222]</i>	39	
	<i>]222 – 1 980]</i>	4	
	<i>]1 980 – 3 197]</i>	9	
	<i>]3 197 – 8 057]</i>	9	
Type de pâture	Facteur en 3 classes		0,02
	« <i>jeunes</i> »	11	
	« <i>adultes seuls</i> »	5	
	« <i>mixte (adultes – veaux)</i> »	45	

3.3.2 Analyse multivariée

La variable passage en commun des positifs n'a pas pu être prise en compte dans le modèle, car pour une des modalités (présence de passage en commun des positifs) une seule pâture « à risque » était représentée.

La variable type de pâturage n'a pas pu être prise en compte dans le modèle final car pour la modalité « adultes seuls », aucune pâture « à risque » n'était représentée.

La sélection du meilleur modèle suivant l'AIC nous a conduits à utiliser comme variables explicatives dans le modèle final les variables fauchage, « mouille » et boutis (AIC = 76,97) (tableau 11).

Tableau 11: Valeurs de l'AIC suivant les variables prises en compte

Variables explicatives du modèle	AIC
Fauchage + mouille + boutis + <i>surface de voisinage</i> + <i> Pierre à sel</i>	80,9
Fauchage + mouille + boutis + <i> Pierre à sel</i>	79,96
Fauchage + mouille + boutis	76,97

A l'issue de l'analyse multivariée, en utilisant la variable élevage comme variable d'ajustement, deux variables étaient finalement statistiquement associées au statut de la pâture (tableau 12).

Tableau 12: Résultats de l'analyse multivariée

Variables explicatives	OR	IC à 95 %
Fauchage	<i>Référence</i>	
<i>absence</i>		
<i>présence</i>	11,2	[1,55 – 133,79]
« Mouille »	<i>Référence</i>	
<i>absence</i>		
<i>présence</i>	10,9	[1,91 – 125,14]

Une association significative entre le fauchage et le statut de la pâture a été trouvée : le fauchage était plus fréquent dans les pâtures « à risque » que dans les pâtures « pas à risque ». Sous l'hypothèse de l'absence de biais de classement et de biais de sélection, il y a des grandes chances pour que, quel que soit l'élevage, le fauchage soit plus fréquent parmi les pâtures « à risque » que parmi les pâtures « pas à risque », avec un OR de 11,2 [1,55 - 133,79]_{95%}.

Il existait également une association significative entre les « mouilles » et le statut de la pâture : les « mouilles » étaient plus fréquentes dans les pâtures « à risque » que dans les pâtures « pas à risque ». Sous l'hypothèse de l'absence de biais de classement et de biais de sélection, il y a des grandes chances pour que, quel que soit l'élevage, les « mouilles » soient plus fréquentes parmi les pâtures « à risque » que parmi les pâtures « pas à risque », avec un OR de 10,9 [1,91 - 125,14]_{95%}.

4. Discussion

4.1 Qualité des données

4.1.1 Recrutement des éleveurs

Les données relatives aux éleveurs nous ont été transmises par la CIREV et la DDPP21, et étaient issues d'une autre enquête en cours dans le département sur la tuberculose bovine. Les foyers sélectionnés correspondaient à des APDI mis en place entre décembre 2010 et juin 2014. Il n'était pas possible pour une étude rétrospective telle que la nôtre de remonter plus en amont dans le temps : même si des registres étaient possédés, le questionnaire renseignant sur la période de pâturage précédent l'APDI n'aurait pas pu être réalisé car trop susceptible de générer des biais de mémoire (biais de classement).

La population cible de l'étude correspondait aux pâtures des élevages allaitants atteints de tuberculose bovine dans la zone infectée de Côte d'Or.

La population source correspondait quant à elle aux pâtures des élevages allaitants atteints de tuberculose bovine dans la zone infectée de Côte d'Or et dont les éleveurs disposaient de registres de passage des bovins sur ces pâtures.

Aucun échantillonnage n'a été fait pour les éleveurs de la population source, tous les éleveurs ont été contactés par téléphone (pas de tirage au sort par exemple).

Deux questions se posent par rapport aux éleveurs et leur inclusion dans l'enquête :

1) La possession de registres a-t-elle conduit à un biais de sélection pour les pâtures de l'enquête ? D'après Desquilbet (2014), « *un OR quantifiant l'association entre une exposition et une maladie est biaisé par du biais de sélection lorsque le processus de sélection des individus est tel qu'il conduit à une non représentativité de l'échantillon vis-à-vis de l'exposition de façon différentielle entre les individus malades et les individus non malades* ». La sélection sur le critère de possession de registres a abouti à une sélection d'éleveurs peut-être plus « techniques » que les autres éleveurs de la population cible. Cependant, elle n'a pas eu d'impact **différentiel** pour les différentes expositions concernées entre les pâtures « à risque » et les pâtures « pas à risque ». La technicité des éleveurs touche à la fois les pâtures des deux statuts. Ce qui n'aurait pas été le cas si nous avions choisi des pâtures « pas à risque » chez des éleveurs non atteints de tuberculose bovine et ne disposant pas forcément de registres. Dans notre étude, le choix de prendre des pâtures « à risque » et « pas à risque » dans les mêmes élevages permettait de nous affranchir de ce type de biais.

2) Les élevages non-inclus (n = 6) ou exclus (n = 2) ont-ils eu un impact sur les résultats d'association à l'échelle de la pâture (non inclusion de tous les sujets éligibles) ?

Pour ces éleveurs, il a été possible de vérifier la taille des élevages.

Nous avons pu vérifier que la distribution était similaire à celle des élevages inclus dans l'étude. Cependant, il n'était pas possible d'avoir accès au RPG de six de ces huit éleveurs (leur accord n'étant pas recueilli) et donc impossible de les comparer aux élevages de l'étude sur le plan pâture.

Cependant, il est vraisemblable que les éleveurs ayant refusé de participer parce que lassés, possèdent des pâtures « à risque » et des expositions potentiellement indicatrices de risque. Des expositions pourraient être sous représentées suite à ces refus (car dépendantes de la localisation – ici inconnue - de ces pâtures). Nous ne pouvons cependant pas savoir si l'impact se faisait de manière différentielle entre les pâtures « à risque » et les pâtures « pas à risque ». L'existence d'un biais de sélection à ce niveau reste donc incertaine.

Les élevages inclus dans l'étude avaient une majorité de bovins de race Charolaise et la majorité de ces bovins étaient des femelles, mais ces données n'avaient pas d'impact sur l'unité épidémiologique de notre étude : la pâture.

4.1.2 Définition des bovins positifs et négatifs, statut des pâtures

Les données relatives au statut des bovins nous ont été fournies par la CIREV et la DDPP21, sur la base des résultats des IDC (ou IDS) et des PCR et cultures consécutives ou non.

Les bovins positifs à l'intradermoréaction étaient confirmés par PCR et/ou culture. Il existait trois découvertes d'abattoir.

La prophylaxie en Côte d'Or est réalisée de manière annuelle. Les vétérinaires praticiens peuvent faire appel à des « piqueurs » pour réaliser les IDC, pas toujours habitués à manipuler les cutimètres et à lire les variations de pli de peau. Ces derniers sont donc formés, mais on ne peut pas exclure le fait que les tests ne soient pas toujours bien réalisés. Par ailleurs, les tests n'ayant pas des valeurs de sensibilité et de spécificité optimales (voir partie bibliographie), on ne peut pas non plus exclure la possibilité de faux négatifs. L'existence de découvertes d'abattoir va dans ce sens.

Ces deux aspects (qualité du piqueur variable et sensibilité imparfaite) peuvent être à l'origine de biais de classement non différentiel à l'échelle des bovins, avec une sous-estimation des bovins négatifs, et par voie de conséquence des pâtures « pas à risque ». En effet, d'après Desquilbet (2014): « *Le biais de classement s'introduit dans l'estimation de l'OR quantifiant l'association entre une exposition d'intérêt E et une maladie M dès lors qu'il existe une erreur de classement commise sur E et/ou M.* » et « *par du biais de classement non différentiel si l'erreur de classement commise sur E est indépendante du statut malade/non malade de l'individu.* ». Dans notre étude, les expositions n'ont pas été impactées par cette erreur éventuelle de classement des pâtures. Par conséquent, il peut exister un biais de classement non différentiel à l'échelle de la pâture. Ce type de biais conduit à une diminution de la force de l'association entre l'exposition et la maladie (Bouyer *et al.* 2009 ; Desquilbet 2014). Il est donc possible que certaines associations n'aient pas pu être mises en évidence du fait de l'existence de ce biais.

Afin de statuer sur l'infectiosité de la pâture, il a fallu considérer les bovins positifs, indicateurs de l'infection à *M. bovis* à l'échelle de la pâture. L'hypothèse de notre étude était que le passage d'au moins un bovin positif permettait de qualifier la pâture comme étant « à risque » et « pas à risque » dans le cas contraire. Il était considéré que la pâture était à l'origine de l'infection du bovin, mais sans en connaître la part réelle. Il n'était pas exclu que ce soit le bovin qui ait infecté la pâture, mais l'hypothèse choisie était nécessaire à une étude des indicateurs de risque à l'échelle de la pâture. Cette hypothèse nous a conduits à qualifier de pâture « à risque » 15 pâtures où un seul bovin positif était passé. Il découle de cette approche l'existence éventuelle de biais de classement non différentiel, qui aura peut-être diminué la force de certaines associations entre variables explicatives et statut de la pâture.

Le choix de notre hypothèse de qualification des pâtures en fonction du passage des bovins positifs peut donc en partie expliquer le peu d'associations significatives mises en évidence dans notre étude.

Les bovins négatifs ont été confirmés négatifs au moment de la réalisation du questionnaire. Pour les plus âgés, plusieurs tests avaient été réalisés, tous négatifs (critère d'inclusion), nous permettant d'accorder une certaine confiance en ces résultats. Pour les plus jeunes, si un seul test était connu, l'information a été complétée auprès de

la CIREV et de la DDPP21 et les tests postérieurs à l'APDI étaient renseignés. Les élevages de l'étude étaient en assainissement et dans ce cadre, les bovins sont testés à partir de six semaines, tous les deux mois en hiver et tous les quatre mois à partir de la mise à l'herbe. Les bovins inclus comme négatifs dans l'étude l'étaient donc pour au moins deux tests (un seul bovin concerné par ce minimum). Par conséquent, il est possible d'accorder de la confiance au statut des pâtures « pas à risque ».

4.1.3 Choix de la période d'étude

Le choix de la date d'APDI reposait sur la volonté de prendre en compte la déclaration officielle de foyer. C'était également la seule date dont nous disposions pour connaître les foyers voisins. Elle a donc été utilisée comme date de référence. Cependant, l'APDI peut survenir parfois plusieurs semaines après un dépistage positif. Il aurait été plus précis de considérer la date du premier test positif pour chaque bovin positif et de relever ses passages sur pâture pour l'année précédent ce test positif. Mais les prophylaxies ayant lieu après la saison de pâturage, la prise en compte de la détection dans ce cadre permettait de se placer dans un schéma similaire.

Parmi les élevages de l'étude, quatre avaient déjà eu au moins un APDI antérieur. L'infection était donc présente avant la période d'étude. Il aurait pu être intéressant de collecter les informations concernant ces recontaminations. Nous aurions pu ainsi voir si les pâtures « à risque » dans notre étude l'auraient été aussi pour les APDI antérieurs et tester quelles variables explicatives auraient été associées au statut de la pâture. Cependant, le temps de questionnaire était déjà important et certains APDI antérieurs nous faisaient remonter bien trop longtemps en date pour avoir des registres disponibles. En outre, prendre cette donnée en compte nous aurait obligé à traiter différemment les pâtures d'élevages infectés une seule fois et celles des élevages recontaminés, ce qui n'était pas envisageable dans notre modèle. Nous n'avons donc pas considéré ces APDI antérieurs.

Le protocole choisi correspondait à une période d'étude de un an avant l'APDI. Toutefois, une période de deux ans a également été considérée (les données relatives au pâturage des bovins de l'étude deux ans avant APDI avaient également été collectées), afin de mettre en évidence davantage de pâtures. Cette période de deux ans se justifie par le caractère chronique de la maladie et sa difficile détection. Il n'est pas exclu que les bovins positifs de l'étude se soient contaminés deux ans avant en pâture ou même antérieurement et que le test d'IDC n'ait pas été positif à la suite de ce pâturage. Cette hypothèse est confortée par le fait que parmi les 33 bovins positifs de notre étude, 11 avaient été classés « petit douteux » (annexe 1) lors de la prophylaxie précédant le pâturage considéré sur le modèle en un an. Les résultats de l'étude sur deux ans figurent en annexe 15.

En passant du modèle en un an au modèle sur deux ans, cinq pâtures de statut « à risque » ont été ajoutées contre 12 de statut « pas à risque », soit au total 17 pâtures supplémentaires.

Il est intéressant de voir que la variable « mouille » était encore significativement associée, mais avec un OR plus faible (mais un intervalle de confiance plus réduit). Ceci permet de conforter l'idée que cette exposition est un indicateur de risque de tuberculose bovine à l'échelle de la pâture.

Finalement, dans l'analyse multivariée du modèle sur deux ans, c'est une variable liée à la présence de faune sauvage (la surface de zone boisée intra pâture) qui apparaît en plus de la variable « mouille ». Dans le modèle sur un an, c'est une variable caractérisant la pratique d'élevage (le fauchage) et liée à un contact facilité avec la mycobactérie potentiellement présente dans la pâture.

Les pâtures supplémentaires liées à la prise en compte d'une période de deux ans avant APDI sont davantage des pâtures fréquentées par des jeunes bovins : sur les 17

pâtures, seules deux correspondaient à des pâtures de bovins adultes seuls. Si l'on considère les comportements liés à l'âge des bovins, les variables mises en évidence dans les deux modèles peuvent être en partie expliquées. En effet, les jeunes bovins, ayant moins de besoins, broutent moins l'herbe et sont moins en contact avec le sol. En outre, les bovins jeunes et surtout les veaux ont potentiellement davantage de comportements exploratoires, favorisant les contacts avec la faune sauvage (Delahay *et al.* 2002).

4.1.4 Qualité des variables explicatives

➤ Qualité du questionnaire

Le questionnaire réalisé en face à face a permis la collecte des certaines données relatives aux variables pratiques d'élevage, voisinage, faune sauvage et environnement.

L'utilisation de photos permettait de bien préciser les définitions de termes tels que boutis ou « mouille » (annexe 10). De même, l'utilisation des cartes permettaient à l'éleveur d'avoir un support visuel pour l'aider dans ses réponses aux questions. Pour le déroulement du questionnaire pâture, le nom d'usage de la pâture, une fois connu, était utilisé, toujours dans le but de récolter les réponses les plus fiables possibles par rapport à la pâture d'intérêt.

Parmi toutes les questions relatives aux pâtures, une seule était ouverte : celle permettant à l'éleveur de caractériser la pâture suivant ses propres termes. Elle nous a été utile ensuite dans la mise en place des variables environnementales intéressantes pour les pâtures de la zone (niveau d'hygrométrie,...). Deux questions étaient semi-ouvertes : l'une pour préciser l'aliment sur la pâture s'il n'était pas présent dans la liste préétablie, l'autre pour donner les nombres, types et temps de passage des bovins sur la pâture. Cette dernière question nous a paru plus adaptée pour obtenir l'information qu'une question fermée, ne connaissant pas à l'avance les pratiques des éleveurs pour leur pâturage ; elle nous a servi à calculer la pression de pâturage. Toutes les autres questions étaient des questions fermées, en prévision du codage des variables explicatives.

Enfin, chaque question commençait bien par la formulation « pendant la période d'étude », période dont les dates étaient rappelées régulièrement.

Le déroulement du questionnaire était décomposé en trois phases : une première axée sur l'élevage, une seconde sur les passages des bovins en pâture et enfin le questionnaire relatif aux pâtures. Chaque pâture citée dans le questionnaire bovin avait son propre questionnaire. Les questions relatives aux pâtures étaient énoncées puis la réponse donnée pour chaque pâture. Cette chronologie permettait d'une part d'optimiser le temps, mais également de dissocier la pâture du statut du bovin l'ayant fréquenté et donc de limiter les biais de classement différentiel. Cependant, il n'est pas possible d'exclure l'éventualité selon laquelle les éleveurs auraient répondu avec un *a priori* sur les pâtures « à risque » en ce qui concerne la variable boutis. En effet, les éleveurs de la zone infectée sont depuis plusieurs années avertis quant à la présence de sangliers infectés par *M bovis*. En outre, il leur était demandé de se souvenir de traces passages de sangliers remontant à plusieurs années sur une pâture en particulier. Malgré la précision en début de question que cette dernière portait sur la période d'étude, il n'est pas exclu qu'un biais de mémoire (biais de classement différentiel) modifie l'association entre la variable boutis et le statut de la pâture : les éleveurs auraient peut-être eu tendance à classer les pâtures « à risque » comme exposées alors qu'elles ne l'étaient pas. Si cela s'est en effet produit, ce biais aura conduit à une augmentation de l'association entre la variable boutis et le statut de la pâture. Nous avons une association statistiquement significative en analyse univariée, mais pas en analyse multivariée. Ce biais était potentiellement présent.

On peut se poser la question des effets du temps et de la mémoire sur la variable « mouille ». Il apparaît cependant que pour cette variable, davantage pérenne et intrinsèque à la pâture, les éleveurs aient été moins subjectifs dans leurs réponses.

Nous avons pu observer des différences entre les éleveurs dans la précision des dates de passage des bovins sur les pâtures (certains éleveurs notant au jour près, d'autres à la semaine). Cette différence était minime et, dans le modèle final, n'a pas eu d'impact, puisque seul le passage (oui/non) des bovins positifs et négatifs a été retenu.

Le modèle final a été établi en considérant l'élevage comme variable d'ajustement, afin de tenir compte des caractéristiques propres à chaque élevage.

➤ **Qualité des variables issues des bases de données**

Les variables mises en place pour caractériser les pâtures étaient des variables pérennes dans le temps. Nous ne disposons en effet d'aucune donnée précise à l'échelle de la pâture et liée au temps, comme par exemple la pluviométrie. Pour cette dernière, des recherches ont été effectuées pour avoir accès aux données l'année précédant l'APDI, mais les points de relevés n'étaient pas assez discriminants pour les pâtures (relevés de pluviométrie sur certaines communes et pas à l'échelle de la pâture). Seules les variables environnementales indépendantes de la saison ont donc été prises en compte.

De plus, le choix de variable indépendantes du temps nous a permis de prendre en compte des pâtures que les bovins avaient fréquenté à des périodes différentes. Ce choix était inévitable étant donné l'incidence faible de la tuberculose bovine et la faible occurrence des cas.

Il n'est pas exclu qu'un léger biais de mesure ait eu un impact sur les résultats de l'association entre les variables quantitatives environnementales. En effet, les données dont nous disposons dans la BD ALTI@25 m de la Côte d'Or fournie par ©IGN correspondaient à des pixels de 25 m×25 m. Le découpage de raster à la forme de chaque pâture n'était donc pas précis au point de suivre parfaitement le tracé. Il n'est toutefois pas possible de savoir dans quel sens ce biais a modifié l'association statistique entre les variables environnementales et le statut de la pâture. Il est cependant envisageable de considérer que ce biais a été d'autant plus marqué que la pâture était de petite taille, avec une approximation plus importante. Or, les distributions des surfaces de pâture sont semblables entre les pâtures « à risque » et les « pas à risque ». Si un biais de mesure existait dans notre étude, toutes les pâtures ont été concernées, ce qui au final n'avait pas d'impact sur les résultats.

En outre, les tracés de RPG ne sont pas toujours fidèles à la réalité. Ainsi, pour une pâture de l'étude dont l'abreuvement correspondait au cours d'eau, les limites fixées par le RPG ne capturaient pas ce cours d'eau malgré le buffer de trois mètres. D'autres pâtures correspondaient à la réunion de deux îlots du RPG. Le cours d'eau séparant les deux îlots se trouvait alors inclus dans la pâture créée et correspondant à la réalité décrite par l'éleveur. Il est donc apparu dans certaines situations que les limites de pâture ne correspondaient pas précisément à la réalité de terrain et un biais de mesure ne peut pas être exclu. Les deux exemples mettent en évidence une sous-estimation des expositions, mais d'autres situations ne sont pas exclues, pouvant conduire au contraire à une surestimation des expositions. Il est donc difficile de prévoir dans quel sens ce biais de mesure aurait pu avoir un impact sur nos résultats.

L'approximation de la densité de populations de blaireaux a été réalisée grâce au calcul de la longueur de lisières autour de chaque pâture, zone favorable à la présence

de cette espèce. Dans la zone d'étude, certains des éleveurs connaissent les emplacements de terriers sur leurs pâtures. Cependant, il leur est impossible de savoir si ces terriers étaient actifs ou non. En outre, les questions portaient sur des périodes de pâturage remontant à plusieurs années. Le choix a été fait de ne pas inclure cette question dans le questionnaire, les réponses obtenues n'auraient en effet pas été fiables.

Enfin, une limite à l'étude au niveau pâture a été l'impossibilité de prendre en compte les densités de sangliers et de cerfs. En effet, ces données étaient disponibles à l'échelle d'unités cynégétiques, non compatibles avec l'échelle plus fine de la pâture. Les densités que nous avons essayé de calculer étaient de l'ordre de 10^{-8} et étaient trop faibles pour être interprétées.

4.2 Méthodologie

❖ **Modèle de régression binomiale négative**

Une autre approche envisagée a été de considérer les temps de passage des bovins positifs sur les pâtures. La variable d'intérêt dans ce cas était une variable de comptage correspondant au nombre de jours de pâturage des bovins positifs (calculé à partir des dates récoltées dans le questionnaire). Cette variable était caractérisée par une variance très supérieure à la moyenne, nous amenant à mettre en place un modèle de régression binomiale négative, capable de prendre en compte la dispersion. Nous avons calculé un offset, correspondant au temps de passage de tous les bovins sur une pâture donnée. Lors de l'analyse statistique, le paramètre de dispersion était très élevé (de l'ordre de plusieurs centaines de milliers) et aucune variable explicative n'était associée de manière significative à la variable d'intérêt en analyse univariée.

❖ **Modèle de régression binomiale négative enflée en zéro**

Une des causes de la surdispersion pouvait être l'excès de zéros de la variable d'intérêt. De plus, le jeu de données était de petite taille. Nous avons donc envisagé l'utilisation d'un modèle de régression binomiale négative enflée en zéro. Ce type de modèle combine deux modèles : un modèle de régression logistique et un modèle de régression binomiale négative, le premier permettant de modéliser les zéros de manière indépendante. Toutefois, avec ce modèle, aucune variable n'était associée de manière significative à notre variable d'intérêt.

❖ **Modèle de régression binomiale négative tronquée en zéro**

Un dernier modèle a consisté à ne considérer dans la variable d'intérêt que les temps strictement supérieurs à zéro. Ce modèle réduisant encore davantage le jeu de données déjà restreint ne nous a pas donné de résultat interprétable.

Les différents modèles envisagés dans notre étude sont repris dans l'annexe 16. Finalement, le modèle de régression logistique était le seul nous permettant d'interpréter nos données, c'est lui qui a été retenu. Il aurait cependant été intéressant de pouvoir considérer le point de vue permettant de donner un poids de risque à la pâture lié au temps de passage des bovins positifs.

4.3 Résultats

4.3.1 Indicateur de risque fauchage

L'analyse multivariée, avec ajustement sur la variable élevage, a permis de mettre en évidence le fauchage comme indicateur du risque de la pâture vis-à-vis de la tuberculose bovine avec un OR associé de **11,2 [1,55– 133,79]_{95%}**.

L'intervalle de confiance très large, mais ne contenant pas la valeur 1, peut s'expliquer par le manque de puissance de l'étude.

Ce résultat est en accord avec d'autres études (Humblet *et al.* 2009).

Le fauchage, en réduisant la hauteur d'herbe favoriserait le contact avec la terre, potentiellement contaminée par *M. bovis*. Les bovins, sur une pâture préalablement fauchée, pourraient en effet ingérer davantage de terre en broutant que sur une pâture non fauchée. La contamination par des aérosols peut également être envisagée: les bovins ayant ingéré de la terre contaminée pourraient ensuite se contaminer par voie aérienne suite à la rumination.

4.3.2 Indicateur de risque « mouille »

L'analyse multivariée, avec ajustement sur la variable élevage, a également permis la mise en évidence des « mouilles » comme indicatrices de risque de la pâture vis-à-vis de *M. bovis* avec un OR associé de **10,9 [1,91 – 125,14]_{95%}**.

Ici également, l'intervalle de confiance très large peut s'expliquer par le manque de puissance de l'étude.

Ce résultat est à relier à la survie de la mycobactérie dans le sol favorisée par l'humidité (Wint *et al.* 2002 ; Humblet *et al.* 2009 ; Fine *et al.* 2011). La présence de ces zones humides localisées sur les pâtures pourrait favoriser la survie de la mycobactérie dans le sol et les bovins se contamineraient par voie aérienne en broutant à proximité de ces zones. On peut également envisager une contamination par voie orale par ingestion d'eau si certains bovins s'abreuvent sur ces zones. Ce peut être par exemple le cas des bovins dominés dans le troupeau, ayant moins accès à la source d'abreuvement prévue par l'éleveur sur la pâture.

4.3.3 Remarques

Il nous a été impossible de prendre en compte la variable passage en commun des bovins positifs, par manque d'occurrence pour une des modalités (voir résultats). Cependant, le contact avec un bovin positif au sein des bâtiments d'élevage augmenterait le risque de transmission par contact (Jin *et al.* 2013). Il aurait été intéressant de pouvoir l'analyser au niveau pâture. Le manque de puissance de l'étude a limité cette possibilité d'interprétation.

5. Conclusion et perspectives

Notre étude avait pour objectif d'identifier et de caractériser des pâtures à risque de tuberculose bovine dans la zone infectée de Côte d'Or. Elle a porté sur 61 pâtures, dont 28 ont été identifiées comme « à risque » de tuberculose bovine. Deux indicateurs de risque à l'échelle de la pâture ont été mis en évidence : la présence de zones de « mouille » (OR = 10,9 [1,91 – 125,14]_{95%}) et la pratique de fauchage avant pâturage (OR = 11,2 [1,55 – 133,79]_{95%}).

Ces résultats mettent en évidence le risque au niveau pâture que représentent le maintien d'une humidité localisée ainsi que la faible hauteur d'herbe. Le premier favoriserait la survie de la mycobactérie dans le sol, rendant davantage possible la contamination des bovins au pâturage, par voie orale ou aérienne. La seconde favoriserait le contact avec la terre potentiellement contaminée et l'infection par voie orale ou aérienne.

En commençant cette étude, nous n'avions aucune idée de la possibilité ou non de dégager des résultats à l'échelle de la pâture. Nous avons pu mettre en évidence deux variables explicatives significativement associées au statut de la pâture, mais nous avons manqué de puissance et il existe peut-être d'autres indicateurs du risque au niveau pâture que notre modèle n'a pas pu révéler. Nous ne savons donc pas comment ces expositions interagissent au niveau de la pâture. En outre, le statut de la pâture « à risque » ou non de tuberculose bovine reposait sur l'hypothèse forte selon laquelle le passage d'un bovin positif était l'indicateur de ce statut « à risque ». Cette hypothèse est discutable mais c'est la seule dont nous disposions pour travailler à cette échelle. D'autres modèles statistiques (prenant en compte le temps de passage des bovins positifs) auraient pu être intéressants mais là encore, nous manquons de puissance.

Il pourrait être intéressant de travailler sur un protocole avec des pâtures cas et des pâtures témoins : les pâtures cas étant recrutées de la même manière que dans notre étude, et les pâtures témoins à partir du passage de tous les bovins négatifs de l'élevage sur les pâtures, puis par tirage au sort de ces pâtures témoins (*ie* fréquentées uniquement par des bovins négatifs). Ceci permettrait d'augmenter la puissance statistique du modèle, en prenant deux fois plus de pâtures témoins que de pâtures cas, à condition toutefois que le nombre de pâtures « à risque » recueillies soit suffisant.

A partir des expositions mises en évidence dans notre étude, le temps pourrait être pris en compte grâce à un modèle dynamique, permettant de comprendre davantage les mécanismes de la contamination au pâturage.

A l'issue de l'étude, il est prévu un retour aux éleveurs ayant participé au questionnaire et aux autres éleveurs de la zone infectée de Côte d'Or. Compte tenu de nos résultats, les mesures de biosécurité envisageables sont l'assèchement des zones humides par la mise en place de drains sur les pâtures concernées ainsi que l'arrêt du fauchage avant la mise à l'herbe. Ces propositions aideront peut-être les éleveurs à améliorer le contrôle de la tuberculose bovine, en les associant aux recommandations déjà existantes dans ce département.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akaike H. 1974. A new look at statistical model identification. *IEEE Transactions on automatic Control* AU-19 : 716-722
- Alvarez J., Bezos J., de la Cruz M. L., Casal C., Romero B., Domínguez L., de Juan L., and Pérez A.. 2014. Bovine Tuberculosis: Within-Herd Transmission Models to Support and Direct the Decision-Making Process. *Research in Veterinary Science* 97 Suppl (October): 61–68.
- Ameni G., Aseffa A., Engers H., Young D., Hewinson G., and Vordermeier M.. 2006. Cattle Husbandry in Ethiopia Is a Predominant Factor Affecting the Pathology of Bovine Tuberculosis and Gamma Interferon Responses to Mycobacterial Antigens. *Clinical and Vaccine Immunology: CVI* 13 (9): 1030–36.
- ANSES 2011. Tuberculose bovine et faune sauvage. Rapport, ANSES édition scientifique Maisons-Alfort. 119 p.
- Aranaz A., De Juan L., Montero N., Sánchez C., Galka M., Delso C., Alvarez J., et al. 2004. Bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) in wildlife in Spain. *Journal of Clinical Microbiology* 42 (6): 2602–8.
- Artois M., Loukiadis E., Garin-Bastuji B., Thorel M.F., and Hars J. 2004. Infection des mammifères sauvages par *Mycobacterium bovis*; Risque de transmission aux bovins domestiques. *Bulletin Epidémiologique, Agence française de Sécurité Sanitaire des Aliments*, 13 : 1-3.
- Ashford, R.W., 2003. When is a reservoir not a reservoir? *Emerging infectious diseases*, 9(11) : 1495–1496.
- Atkins P.J., Robinson P.A. 2013. Bovine tuberculosis and badgers in Britain : relevance of the past. *Epidemiology and Infection* 141 (7) : 1437-1444
- Barasona J. A, Latham M. C., Acevedo P., Armenteros J.A., Latham A. D. M., Gortazar C., Carro F., Soriguer R.C., and Vicente J.. 2014. Spatiotemporal interactions between wild boar and cattle: implications for cross-species disease transmission. *Veterinary Research* 45 (1) : 122
- Barlow, N. D., Kean J. M., Hickling G., Livingstone P. G., and Robson A. B. 1997. A simulation model for the spread of bovine tuberculosis within New Zealand cattle herds. *Preventive Veterinary Medicine* 32 (1-2): 57–75.
- Beerli O., Blatter S., Boadella M., Schöning J., Schmitt S., and Ryser-Degiorgis M.-P. 2015. Towards harmonised procedures in wildlife epidemiological investigations: a serosurvey of infection with *Mycobacterium bovis* and closely related agents in wild boar (*Sus scrofa*) in Switzerland.” *The Veterinary Journal* 203 (1): 131–33.
- Bénet JJ., Praud A. et al. 2014. La tuberculose animale. Polycopié des Unités de maladies contagieuses des Ecoles Nationales Vétérinaires françaises, Merial (Lyon), 100 p.

- Benham, P. F., and Broom D. M.. 1991. Responses of dairy cows to badger urine and faeces on pasture with reference to bovine tuberculosis transmission. *The British Veterinary Journal* 147 (6): 517–32.
- Berentsen A. R., Miller R. S., Misiewicz R., Malmberg J. L, and Dunbar M. R.. 2014. Characteristics of white-tailed deer visits to cattle farms: implications for disease transmission at the wildlife–livestock Interface. *European Journal of Wildlife Research* 60 (2): 161–70.
- Biet F., Boschioli M.L., Thorel M.F., and Guilloteau L.A.. 2005. Zoonotic aspects of *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium avium-intracellulare* complex (MAC). *Veterinary Research* 36 (3): 411–36.
- Bouyer J., Hémon D. Cordier S. *et al.* Biases de classement. *In: Epidémiologie. Principes et méthodes quantitatives. 2nd ed.*, Le Kremlin-Bicêtre, Lavoisier-Inserm, 2009, 117-132
- Brosch R., Gordon S. V., Marmiesse M., Brodin P., Buchrieser C., Eiglmeier K., Garnier T., *et al.* 2002. A new evolutionary scenario for the *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99 (6): 3684–89.
- Claridge J., Diggle P., McCann C. M., Mulcahy G., Flynn R., McNair J., Strain S., Welsh M., Matthew B., and Williams D. J. L. 2012. *Fasciola hepatica* is associated with failure to detect bovine tuberculosis in dairy Cattle. *Nature Communications* 3 (May): 853.
- Corner L.A.L., Murphy D., and Gormley E.. 2011. *Mycobacterium bovis* infection in the Eurasian badger (*Meles Meles*): the disease, pathogenesis, epidemiology and control. *Journal of Comparative Pathology* 144 (1): 1–24.
- Courcoul A., Moyen J.-L., Brugère L., Faye S., Hénault S., Gares H., Boschioli M.-L.. 2014. Estimation of sensitivity and specificity of bacteriology, histopathology and PCR for the confirmatory diagnosis of bovine tuberculosis using latent class analysis". *Plos one* 9(3): 1-8
- Courtenay O., Reilly L. A., Sweeney F. P., Hibberd V., Bryan S., Ul-Hassan A., Newman C., *et al.* 2006. Is *Mycobacterium bovis* in the environment important for the persistence of bovine tuberculosis? *Biology Letters* 2 (3): 460–62.
- Cowie C. E., Marreos N., Gortázar C., Jaroso R., White P. C. L., and Balseiro A. 2014. Shared risk factors for multiple livestock diseases: a case study of bovine tuberculosis and brucellosis. *Research in Veterinary Science* 97 (3): 491–97.
- De Garine-Wichatitsky M., Caron A., Kock R., Tschopp R., Munyeme M., Hofmeyr M., Michel A. 2013. A review of bovine tuberculosis at the wildlife-livestock-human interface in Sub-Saharan Africa ». *Epidemiology and Infection* 141 (7): 1342-56.
- De la Rúa-Domenech R.. 2006. Human *Mycobacterium bovis* infection in the United Kingdom: incidence, risks, control measures and review of the zoonotic aspects of bovine tuberculosis. *Tuberculosis (Edinburgh, Scotland)* 86 (2): 77–109.

- Delahay R. J., Cheeseman C. L., and Clifton-Hadley R. S.. 2001. Wildlife disease reservoirs: the epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in the European badger (*Meles Meles*) and other british mammals. *Tuberculosis (Edinburgh, Scotland)* 81 (1-2): 43–49.
- Delahay R. De Leeuw J., A. N. S., Barlow A. M., Clifton-Hadley R. S., and Cheeseman C. L.. 2002. The status of *Mycobacterium bovis* infection in UK wild mammals: a review. *The Veterinary Journal* 164 (2): 90–105.
- Desquilbet L. Comment établir une relation de cause à effet en médecine?. Application à la médecine vétérinaire. Version 2.9, 05/03/2014, ENVA, 102 p
- Do Linh San E. Le blaireau d'Eurasie. Paris, Delachaux et Niestlé, 2006, 224 p.
- Dufour B., Hendrikx P. *et al.* (2011). *Surveillance épidémiologique en santé animale*. 3^e ed. Quae-AEEMA, p.43 et 46
- ESA. *Site de la plateforme ESA-Epidémiosurveillance Santé Animale* [en ligne], [<http://www.plateforme-esa.fr>], (consulté le 29 mai 2015)
- Fediaevsky A., Courcoul A., Boschioli M.L., and Reveillaud E. 2013. Bovine tuberculosis in France in 2012: positive signs but a situation that is still complex in some areas. *Bulletin Épidémiologique*, no. 59 (décembre): 4–10.
- Fine A. E., Bolin C. A., Gardiner J. C., and Kaneene J. B.. 2011. A study of the persistence of *Mycobacterium bovis* in the environment under natural weather conditions in Michigan, USA. *Veterinary Medicine International* 2011. 12 p.
- Fischer E., van Roermund H. J. W., Hemerik L., van Asseldonk M. a. P. M., and de Jong M. C. M.. 2005. Evaluation of surveillance strategies for bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) using an individual based epidemiological model. *Preventive Veterinary Medicine* 67 (4): 283–301.
- Gallagher J, and Clifton-Hadley R. S. 2000. Tuberculosis in badgers; a review of the disease and its significance for other animals. *Research in Veterinary Science* 69 (3): 203–17.
- Garnett B T, Delahay R J, and 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 Society B: Biological Sciences* 269 (1499): 1487–91.
- Gavier-Widen, D., Chambers M. A., Palmer N., Newell D. G., and Hewinson R. G.. 2001. Pathology of natural *Mycobacterium bovis* infection in European badgers (*Meles Meles*) and its relationship with bacterial excretion. *The Veterinary Record* 148 (10): 299–304.
- Good M., Clegg T. A., Duignan A., and More S. J.. 2011. Impact of the national full herd depopulation policy on the recurrence of bovine tuberculosis in Irish herds, 2003 to 2005. *The Veterinary Record* 169 (22): 581.
- Gorecki S., Calavas D., Fediaevsky A., Chevalier F., and Hendrikx P.. 2012. Évaluation du dispositif national de surveillance épidémiologique de la tuberculose bovine

- en France à l'aide de la méthode OASIS. *Bulletin Épidémiologique Santé Animale et Alimentation*, no. 51 (juin): 9–12.
- Gortazar C., Vicente J., and Gavier-Widén D.. 2003. Pathology of bovine tuberculosis in the European wild boar (*Sus Scrofa*). *The Veterinary Record* 152 (25): 779–80.
- Gortazar C., Vicente J., Boadella M., Ballesteros C., Galindo R. C., Garrido J.a, Aranaz A., and de la Fuente J. 2011. Progress in the control of bovine tuberculosis in Spanish wildlife. *Veterinary Microbiology*, Special issue: 5th International Conference on Mycobacterium bovis, 151 (1–2): 170–78.
- Griffin J.M., Martin S. W. 1996. A case-control study on the association of selected risk factors with the occurrence of bovine tuberculosis in the Republic of Ireland. *Preventive Veterinary Medicine*, 217–29.
- Guta S., Casal J., Garcia-Saenz A., Saez J. L., Pacios A., Garcia P., Napp S., and Allepuz A.. 2014. Risk factors for bovine tuberculosis persistence in beef herds of Southern and Central Spain. *Preventive Veterinary Medicine* 115 (3–4): 173–80.
- Hars, J., Richomme, C. & Boschioli, M., 2010. La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *bulletin épidémiologique*, (38), pp.28–31.
- Humblet M.-F., Boschioli M.L., and Saegerman C. 2009. Classification of worldwide bovine tuberculosis risk factors in cattle: a stratified approach. *Veterinary Research* 40 (5): 50.
- Hutchings M. R., and Harris S.. 1997. Effects of farm management practices on cattle grazing behaviour and the potential for transmission of bovine tuberculosis from badgers to cattle. *The Veterinary Journal* 153 (2): 149–62.
- Jin R., Good M., More S. J., Sweeney C., McGrath G., and Kelly G. E.. 2013. An association between rainfall and bovine TB in Wicklow, Ireland. *Veterinary Record* 173 (18): 452–452.
- Kaneene J. B., Bruning-Fann C.S, Granger L.M., Miller R.A., and Porter-Spalding B. A.. 2002. Environmental and farm management factors associated with tuberculosis on cattle farms in Northeastern Michigan. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 221 (6): 837–42.
- Keck N., Moyen J.-L., Gueneau E., Boschioli M.-L..2014.Particularités du dépistage et du diagnostic de la tuberculose bovine. *Epidémiologie et Santé Animale*(65) :5-19
- Kelly D.W., Paterson R.A., Townsend C.R., Poulin R., Tompkins D.M.. 2009. Parasite spillback: A neglected concept in invasion ecology? *Ecology*, 90(8) : 2047-2056
- Norton S., Corner L. a. L., and Morris R. S.. 2005. Ranging behaviour and duration of survival of wild brushtail possums (*Trichosurus Vulpecula*) infected with *Mycobacterium bovis*. *New Zealand Veterinary Journal* 53 (5): 293–300.
- Nugent G.. 2011. Maintenance, spillover and spillback transmission of bovine tuberculosis in multi-host wildlife complexes: a New Zealand case study.

Veterinary Microbiology, Special issue: 5th International Conference on *Mycobacterium bovis*, 151 (1–2): 34–42.

- OIE. *Site de l'Organisation Mondiale de la Santé Animale* [en ligne]. [<http://www.oie.int/fr>], consulté le 1er avril 2015
- Payne, A. 2014. 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 de doctorat universitaire en épidémiologie-écologie. Université de Lyon.
- Phillips C. J. C, Foster C. R. W, Morris P. A, and Teverson R. 2003. The transmission of *Mycobacterium bovis* infection to cattle. *Research in Veterinary Science* 74 (1): 1–15.
- Praud A., Boschioli M. L., Meyer L., Garin-Bastuji B., and Dufour B.. 2015. Assessment of the sensitivity of the gamma-interferon test and the single intradermal comparative cervical test for the diagnosis of bovine tuberculosis under field conditions. *Epidemiology and Infection* 143 (1): 157–66.
- Riley S.J., DeGloria S.D., Elliot R. 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences* 5 (1-4): 23-27
- Rivière, J., Reveillaud E., Boschioli M-L., Hars J., Richomme C., Faure E., Hendriks P., and Fediaevsky A.. 2013. Sylvatub: bilan d'une première année de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Bulletin Épidémiologique Santé Animale et Alimentation*, no. 57: 10–15.
- Smith N. H., Gordon S. V, de la Rúa-Domenech R., Clifton-Hadley R. S., and Hewinson R. G. 2006b. Bottlenecks and broomsticks: the molecular evolution of *Mycobacterium bovis*. *Nature Reviews. Microbiology* 4 (9): 670–81.
- Smith N. H., Kremer K., Inwald J., Dale J., Driscoll J. R., Gordon S. V., van Sooling D., Hewinson R. G., and Smith J. M. 2006a. Ecotypes of the *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Journal of Theoretical Biology*, Special Issue in Memory of John Maynard Smith, 239 (2): 220–25.
- Vicente J., Barasona J. A., Acevedo P., Ruiz-Fons J. F., Boadella M., Diez-Delgado I., Beltran-Beck B. *et al.* 2013. Temporal trend of tuberculosis in wild ungulates from Mediterranean Spain. *Transboundary and Emerging Diseases* 60 Suppl 1 (November): 92–103.
- Vicente J., Höfle U., Garrido J. M., Fernández-De-Mera I. G., Juste R., Barral M., and Gortazar C. 2006. Wild boar and red deer display high prevalences of tuberculosis-like lesions in Spain. *Veterinary Research* 37 (1): 107–19.
- Walter W. Smith D., R., Vanderklok M., and VerCauteren K. C.. 2014. Linking bovine tuberculosis on cattle farms to white-tailed deer and environmental variables using Bayesian hierarchical analysis. *PLoS ONE* 9 (3)
- Ward A. I., Judge J., and Delahay R. J.. 2010. Farm husbandry and badger behaviour: opportunities to manage badger to cattle transmission of *Mycobacterium bovis*? *Preventive Veterinary Medicine* 93 (1): 2–10.

- White P. C., Brown J. A., and Harris S.. 1993. Badgers (*Meles Meles*), cattle and bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*): a hypothesis to explain the influence of habitat on the risk of disease transmission in Southwest England. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society* 253 (1338): 277–84.
- Wint G. R. W., Robinson T.P., Bourn D. M., Durr P. A., Hay S. I., Randolph S. E., and Rogers D. J. 2002. Mapping bovine tuberculosis in Great Britain using environmental data. *Trends in Microbiology* 10 (10): 441–44.
- Young J. S., Gormley E., and Wellington E. M. H.. 2005. Molecular detection of *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium bovis* BCG (Pasteur) in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 71 (4): 1946–52.
- Zanella G., Duvauchelle A., Hars J., Moutou F., Boschioli M. L., and Durand B. 2008. Patterns of lesions of bovine tuberculosis in wild red deer and wild Boar. *The Veterinary Record* 163 (2): 43–47.

Textes règlementaires :

Arrêté du 15 Septembre 2003 fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective et à la police sanitaire de la tuberculose des bovinés et des caprins (Journal Officiel de la République Française du 30/09/2003), modifié par les arrêtés du 10 novembre 2003 (JORF du 18/11/2003), du 24 janvier 2005 (JORF du 29/01/2005), du 11 Janvier 2006 (JORF du 18/02/2006)

Note de Service DGA/SDSPA/2014-541 du 04/07/2014 : « Dérogation à l'abattage total de certains troupeaux de bovins infectés de tuberculose bovine. Critères d'éligibilité et protocole applicable »

Logiciels utilisés et bases de données :

R Core Team (2014). R a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Package « car »

John Fox and Sanford Weisberg (2011). An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA : Sage.

URL : <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox.Books/companion>

Package « MASS »

Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0

QGIS Development Team, Brighton 2.6 (2014). QGIS Geographic Information System Open Source Geospatial Foundation Project.

<http://qgis.osgeo.org>

GDAL. 2014. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library: Version 1.11.1, Open Source Geospatial Foundation, <http://gdal.osgeo.org>

EpiData Lauritsen JM & Bruus M. *EpiData (version 3.1). A comprehensive tool for validated entry and documentation of data.* The EpiData Association, Odense Denmark, 2004. <http://www.epidata.dk>

Agreste

Site du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt [en-ligne], [<http://agreste.agriculture.gouv.fr>], consulté le 2 février 2015

GLOSSAIRE

Biomasse : masse totale des organismes vivants mesurée dans une population, une aire ou une autre unité (*Wikipedia*).

Ecotone : zone de transition et de contact entre deux écosystèmes voisins, telle que la lisière d'une forêt, une roselière, etc. (Les écotones ont une faune et une flore plus riches que chacun des deux écosystèmes qu'ils séparent, et ils repeuplent parfois ceux-ci.) (*Dictionnaire Larousse*).

Ecotype : variété d'une espèce (généralement végétale) génétiquement adaptée à un milieu particulier qu'elle occupe naturellement, mais conservant ses adaptations héréditaires lorsqu'elle se développe dans un milieu différent (*Dictionnaire Larousse*).

Spill over : effet d'ajout d'une infection à un parasite dans une population d'hôtes natifs par introduction d'une espèce elle-même infectée par ce parasite (*Kelly et al. 2009*).

Spill back : effet d'amplification d'une infection lorsque l'espèce introduite acquiert un parasite natif déjà présent dans la population native ; la prévalence de l'infection est alors augmentée par la présence de l'espèce introduite qui joue alors le rôle de nouveau réservoir pour le parasite natif (*Kelly et al. 2009*).

Hôte de liaison : hôtes incapables de maintenir seuls, de façon pérenne, l'infection sans source de contamination extérieure à la population mais peuvent transmettre l'agent pathogène à une autre population (*Nugent 2011 ; Payne 2014*).

Hôte réservoir : hôtes où l'infection persiste de façon autonome par transmission intraspécifique à l'intérieur de la population et qui peuvent être une source d'infection pour d'autres populations réceptives (*Ashford 2003*).

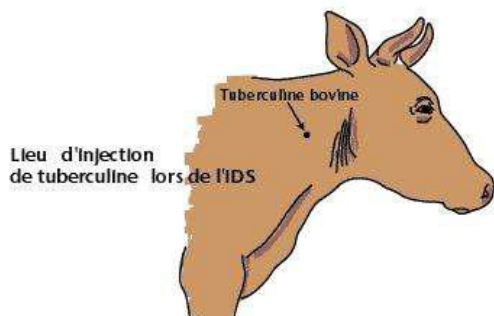
Surveillance évènementielle (passive) : toute activité de surveillance qui repose sur la déclaration spontanée des cas ou suspicions de cas de la maladie surveillée par les acteurs sources de données (*Dufour, Hendrikx et al. 2011*).

Surveillance programmée (planifiée ou active) : toute méthode de surveillance reposant sur la recherche des données par des actions programmées à l'avance et élaborées par l'animateur de réseau idem (*Dufour, Hendrikx et al. 2011*).

ANNEXES

Annexe 1 : Grilles d'interprétation des tests d'intradermoréaction
(Source Bénét JJ., Praud A. *et al.* 2014)

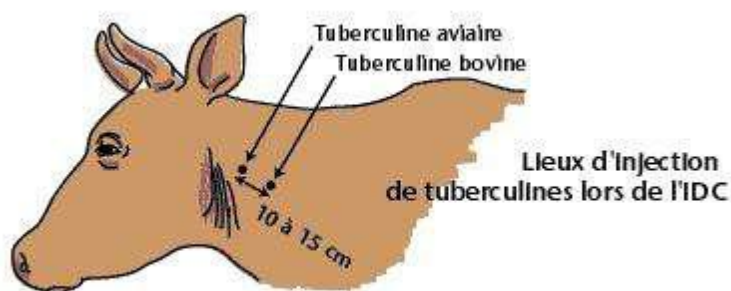
IDS



DB : épaissement du pli cutané en mm au lieu d'injection de la tuberculine bovine

Lecture qualitative	Lecture quantitative	Résultats
Réaction inflammatoire	$DB \geq 4 \text{ mm}$	positif
Réaction faible ou nulle	$DB \leq 2 \text{ mm}$	négatif
Autre cas	$2 \text{ mm} < DB < 4 \text{ mm}$	douteux

IDC



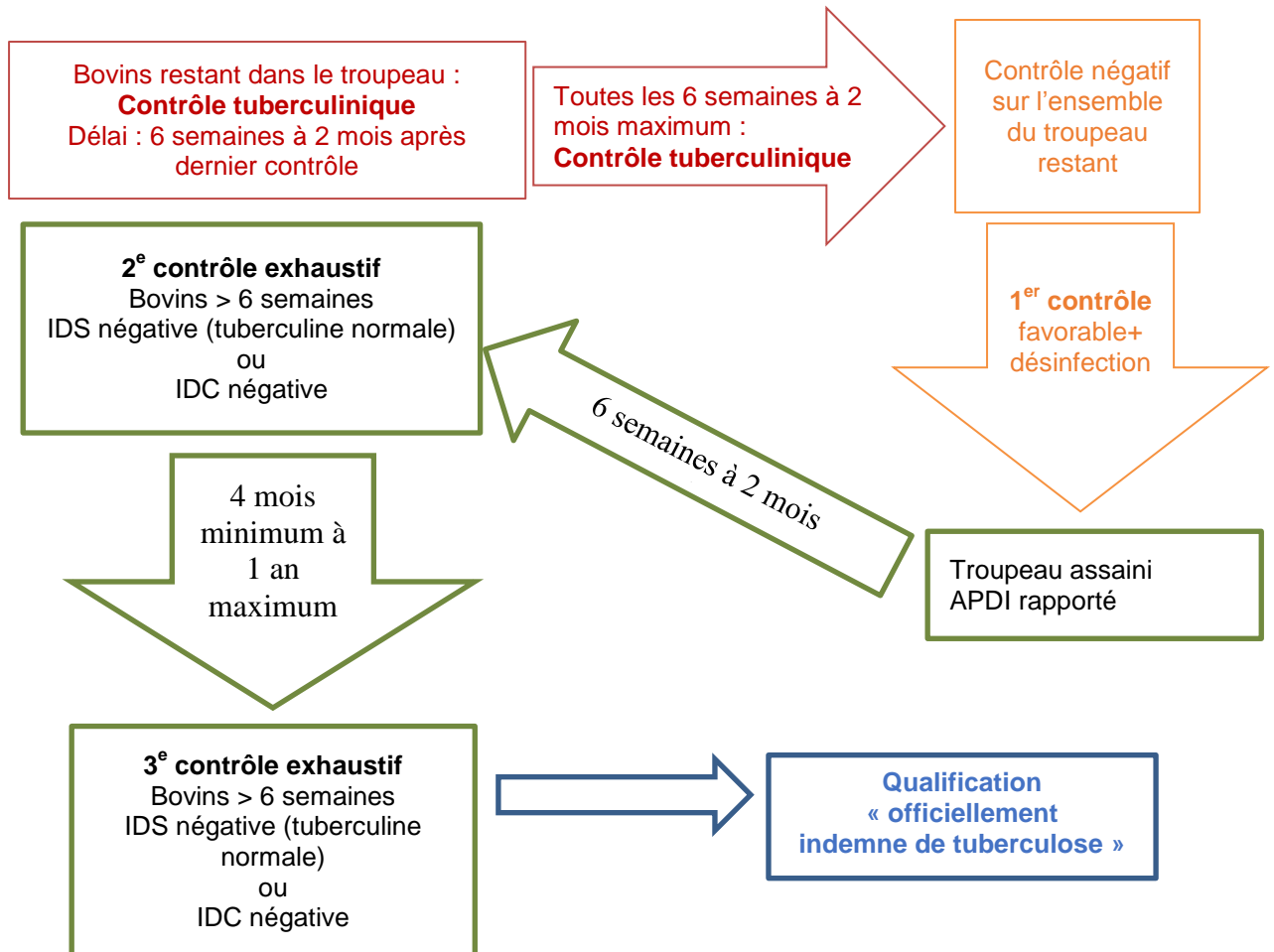
DB : épaissement du pli cutané en mm au lieu d'injection de la tuberculine bovine
DA : épaissement du pli cutané en mm au lieu d'injection de la tuberculine aviaire

Tuberculine bovine	Différence d'épaissement entre réactions avec tuberculine bovine et aviaire	Réaction « Résultat »
Si $DB > 2 \text{ mm}$	$DB - DA > 4 \text{ mm}$	positive
	$DB - DA [1 - 4 \text{ mm}]$	$DB [2 - 4 \text{ mm}]$ « petit douteux »
		$DB > 4 \text{ mm}$ « grand douteux »
	$DB - DA < 1 \text{ mm}$	négative
Si $DB \leq 2 \text{ mm}$	Quel que soit le résultat de $DB-DA$	négative

**Annexe 2 : Statut du troupeau et mesures de police sanitaire associées (d'après
Arrêté du 15/09/2003)**

Statut du troupeau	Mesures de police sanitaire
<p align="center">Troupeau susceptible : Lien épidémiologique à risque établi avec un animal infecté de tuberculose</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Arrêté préfectoral de surveillance</i> • Qualification suspendue • Investigations (abattage diagnostic possible selon conditions)
<p align="center">Troupeau suspect : Bovin suspect (art.12) détenu ou provient d'un troupeau suspect</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Arrêté préfectoral de surveillance</i> • Qualification suspendue • Mesures 1, 2, 6, 7 des troupeaux infectés • Interdictions de livrer à la consommation le lait cru, les produits lait cru (<60j de maturation) • Investigations épidémiologiques, contrôles documentaires, tests allergiques...
<p align="center">Troupeau infecté : Bovin infecté (art.12) détenu ou provient d'un troupeau infecté</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Arrêté préfectoral portant déclaration d'infection</i> 1) Visite, recensement et contrôle identification bovinés et autres espèces sensibles 2) Isolement, séquestration de tous les animaux reconnus infectés jusqu'à abattage 3) Investigations cliniques, allergiques et épidémiologiques 4) Isolement, séquestration des animaux sensibles à la tuberculose 5) Marquage, abattage des animaux reconnus infectés 6) Interdiction d'entrée d'autres animaux (locaux, herbage) 7) Interdiction de laisser sortir bovinés et animaux sensibles 8) Enquête épidémiologique approfondie 9) Interdiction de livrer le lait cru 10) Interdiction de livrer les produits issus de lait cru fabriqués dans les deux mois qui précèdent la confirmation de l'infection

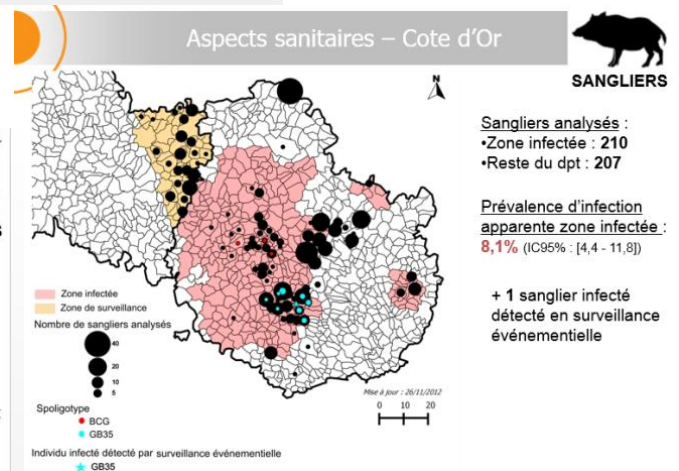
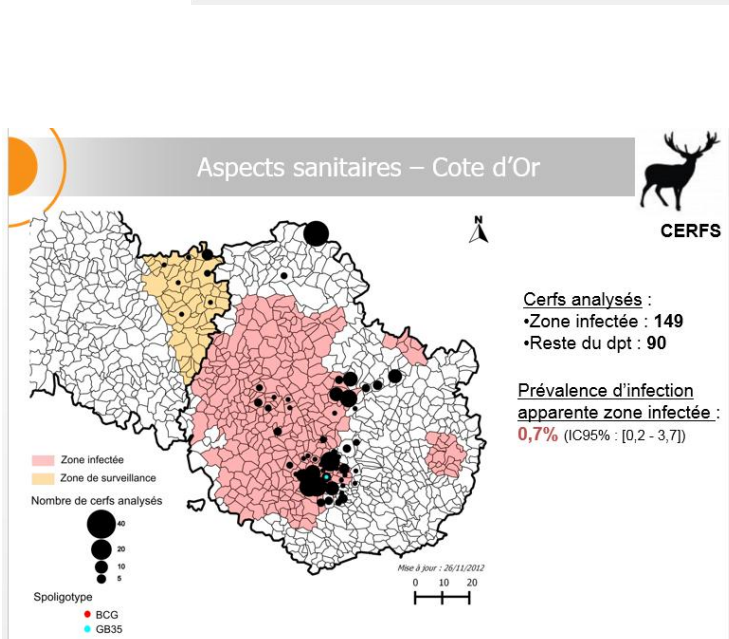
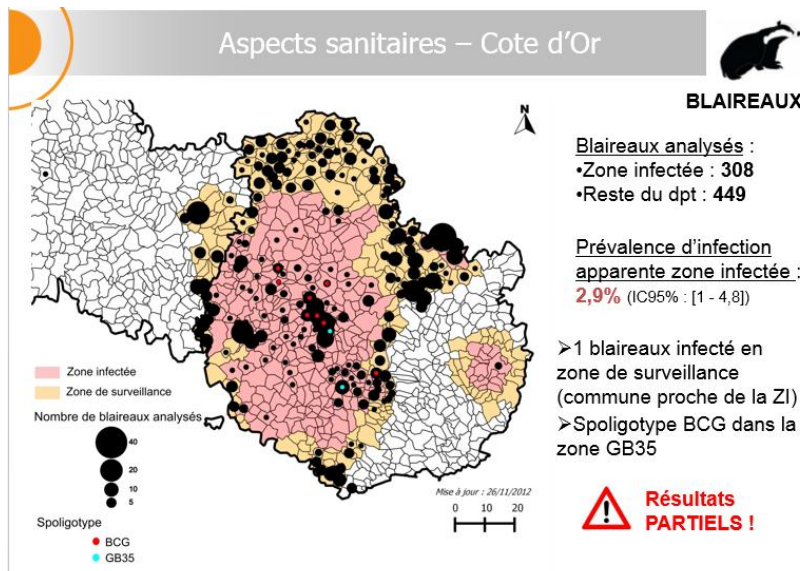
Annexe 3 : Conditions d'obtention de la requalification (d'après l'Arrêté du 15/09/2013)



Annexe 4a : Niveaux de surveillance pour le réseau Sylvatub (source: Reveillaud E., Power Point Bilan Sylvatub 2011-2012)

Modalités de surveillance	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Examen initial de la venaison : cervidés et sangliers	X	X	X
Fonctionnement normal du réseau SAGIR : cervidés, sangliers, blaireaux	X	X	X
Renforcement du réseau SAGIR : cervidés, sangliers, blaireaux		X	X
Surveillance des cadavres d'espèces sensibles signalés sur les routes : blaireaux		X	X
Surveillance active des blaireaux		X	X
Surveillance active sur les cerfs et les sangliers tués à la chasse			X

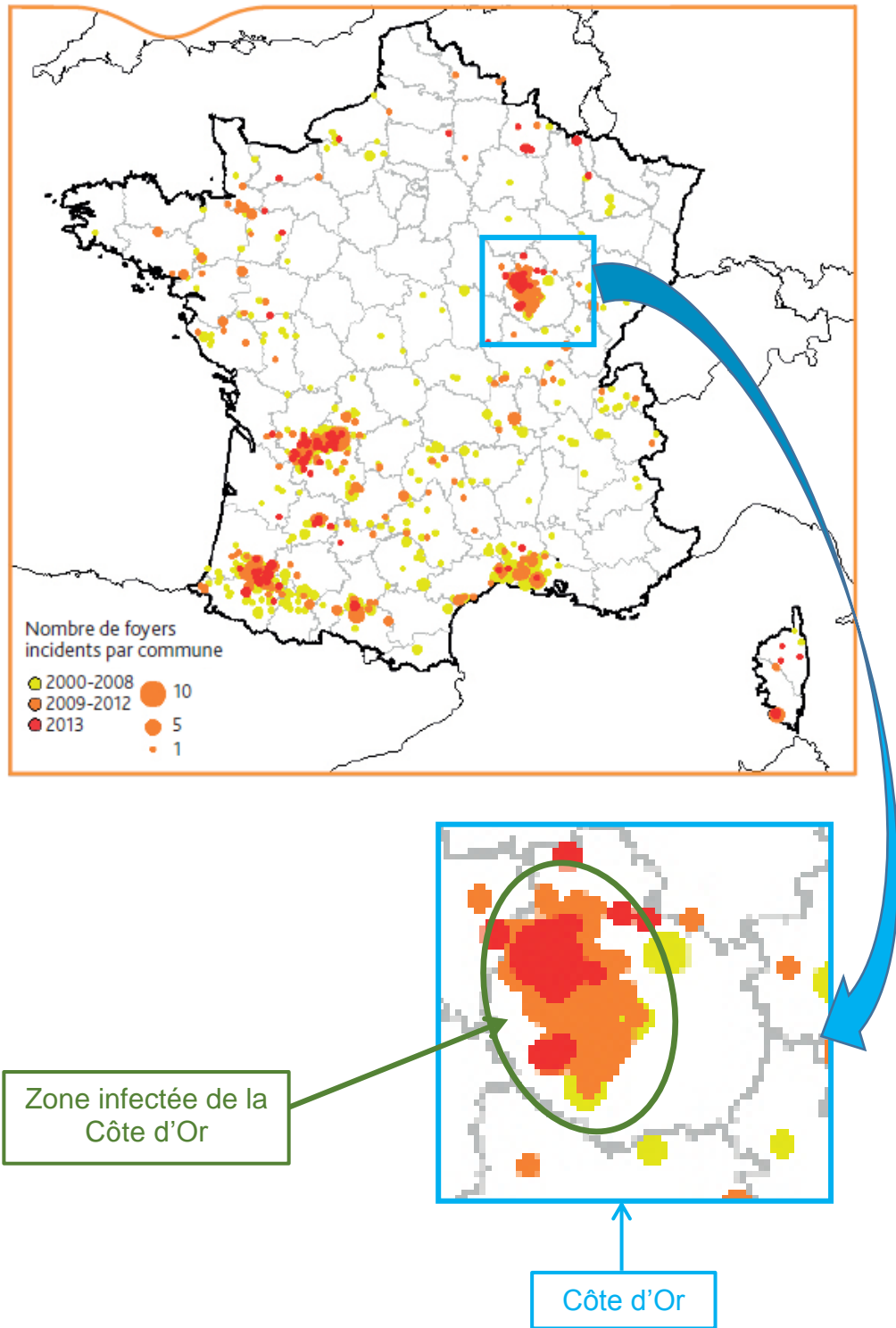
Annexe 4b : Résultats Sylvatub en Côte d'Or pour la période 2011-2012 (source: Reveillaud E., Power Point Bilan Sylvatub 2011-2012)



Annexe 5 : Rôle des cerfs, sangliers et blaireaux dans la circulation de tuberculose bovine dans la zone infectée de Côte d'Or (d'après Payne, 2014)

Rôle épidémiologique	Cerfs	Sangliers	Blaireaux
<i>Hôte réservoir ou de liaison ?</i>	A priori pas hôte réservoir Plutôt hôte de liaison Rôle important même quand la densité d'animaux infectés est faible	Hypothèse hôte de liaison (à compléter par d'autres études déterminant la taille de population critique permettant la constitution d'un réservoir...)	Rôle d'hôte de liaison plus probable (mais capacité locale d'entretien autonome de l'infection dans les secteurs de forte prévalence?)
<i>Rôle dans la transmission retour aux bovins</i>	<i>Zone Sud</i> : risque faible mais non négligeable (capacité d'excrétion) <i>Zone Nord</i> : risque minime (lié à densité et prévalence)	Taux de contact indirects avec bovins élevés ; contacts propices à excrétion de <i>M.bovis</i> dans l'environnement MAIS capacité d'excrétion modérée des sangliers ?	Se contaminerait auprès de sources bovines (ou autres hôtes sauvages?) puis contamination environnementale des pâtures par les blaireaux infectés: risque élevé, pouvant conduire à une transmission aux bovins
<i>Rôle dans l'extension géographique</i>	Propagation possible de la tuberculose bovine sur plusieurs dizaines de kilomètres (mais faible niveau de prévalence jusqu'à maintenant)	Capacité à véhiculer l'infection sur plus de 10 km MAIS faible capacité d'excrétion...	Propagation sur de courtes distances (quelques kilomètres) et de petites superficies

Annexe 6 : Zone d'étude : la zone infectée de Côte d'Or (département 21)
(Source Fediaevsky *et al.* 2014, « Distribution par commune des foyers incidents de tuberculose bovine en France de 2000 à 2013 »)



Annexe 7 : Questionnaire élevage

Questionnaire éleveur – Enquête caractérisation des pâtures à risque de tuberculose bovine en Côte d’Or

Eleveur/élevage

Q0 Numéro questionnaire (pré remplir)

Q1 Prénom (pré remplir et vérifier)

Nom (pré remplir et vérifier)

Nom société agricole (pré remplir et vérifier)

Numéro EDE (cheptel) (pré remplir et vérifier)

Quel est votre numéro de pacage?

Q2.1 La date de votre déclaration de foyer (APDI) est bien le? (pré remplir)

Q2.2 Quel type d'abattage a été pratiqué? sélectif total

L'étude porte sur les 2 années précédant le (dernier) APDI c'est-à-dire la période allant (pré remplir)

Q3. Pendant la période concernée combien d'Unités de Travail Annuelles étaient présentes sur votre exploitation?

1 UTA correspond au travail agricole effectué par une personne employée à plein temps pendant une année

Annexe 8 : Questionnaire bovins (exemple des positifs)

Questionnaire éleveur – Enquête caractérisation des pâtures à risque de tuberculose bovine en Côte d’Or

Q0. Numéro questionnaire

Q4 - Bovins positifs: D'après vos registres, quels sont les temps de passage par pâture des bovins suivants?

Numéro bovin	N° travail	Période	Pâture (n° RPG)	Date début	Date fin	Temps (se)	
(pré remplir)	(pré remplir)	n-2 (avant APDI)					
		n-1 (avant APDI)					
(pré remplir)	(pré remplir)	n-2 (avant APDI)					
		n-1 (avant APDI)					

Bovins positifs : IDC+ et/ou PCR+ et/ou culture + (inclusion des bovins + de la date d'APDI jusqu'à la date de requalification)



Annexe 9a : Questionnaire pâture (un par pâture) 1/2

Questionnaire éleveur – Enquête caractérisation des pâtures à risque de tuberculose bovine en Côte d'Or

Q0. Numéro questionnaire

Pâtures

Pâturage i

RPG (flot)

Variables environnementales

Q6. Pendant la période étudiée, cette pâture était-elle bien drainée? (s'asséchait-elle bien naturellement)

- oui
 non

Q7. Pendant la période étudiée, existait-il des zones de "mouille" sur cette pâture? (voir photo)

- oui
 non

Variables pratique d'élevage

Q8. Pendant la période concernée, aviez-vous disposé du fumier sur cette pâture?

- non
 tas de fumier
 épandage

Q9. Pendant la période étudiée, est-ce qu'une coupe de foin était réalisée avant la mise en pâture des bovins sur cette pâture?

- oui
 non

Q10. Pendant la période étudiée, combien de bovins étaient présents en moyenne sur cette pâture et pendant combien de temps?

Variables faune sauvage

Q11. Pendant la période étudiée, quel type d'abreuvement était utilisé sur cette pâture?

- mare
 cours d'eau
 baignoire
 pompe à eau

Q12. Pendant la période étudiée, vous est-il arrivé d'apporter de la nourriture sur la pâture?

- oui
 non

Annexe 9b : Questionnaire pâtures (un par pâture) 2/2

Questionnaire éleveur – Enquête caractérisation des pâtures à risque de tuberculose bovine en Côte d'Or

Q0. Numéro questionnaire

	RPG (ilot)	Pâture i
Q13. Si oui, quel type de nourriture?		<input type="checkbox"/> foin <input type="checkbox"/> céréales <input type="checkbox"/> complément <input type="checkbox"/> autre Précisez <input type="text"/>
Q14. Si oui, pendant la période étudiée, à quel moment avez-vous distribué l'aliment dans cette pâture?		<input type="checkbox"/> journée <input type="checkbox"/> soir
Q15. Si oui, pendant la période étudiée, quel type de point d'alimentation utilisiez-vous?		<input type="checkbox"/> auge <input type="checkbox"/> nourrisseur à veau <input type="checkbox"/> râtelier <input type="checkbox"/> glissière <input type="checkbox"/> aucun
Q16. Pendant la période concernée, mettiez-vous des pierres à sel sur cette pâture?		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Q17. Si oui, pendant la période étudiée, les pierres à sel étaient-elles:		<input type="checkbox"/> suspendues < 70 cm du sol <input type="checkbox"/> suspendues > 70 cm sol <input type="checkbox"/> dans un récipient <input type="checkbox"/> non disposées dans un récipient
Q18. Pendant la période étudiée, avez-vous observé des zones de terre retournée comme sur la photo?		<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
Q19. Pendant la période étudiée, quel était le type de clôture de cette pâture?		<input type="checkbox"/> Haie <input type="checkbox"/> grillage <input type="checkbox"/> barbelé <input type="checkbox"/> électrique <input type="checkbox"/> autre

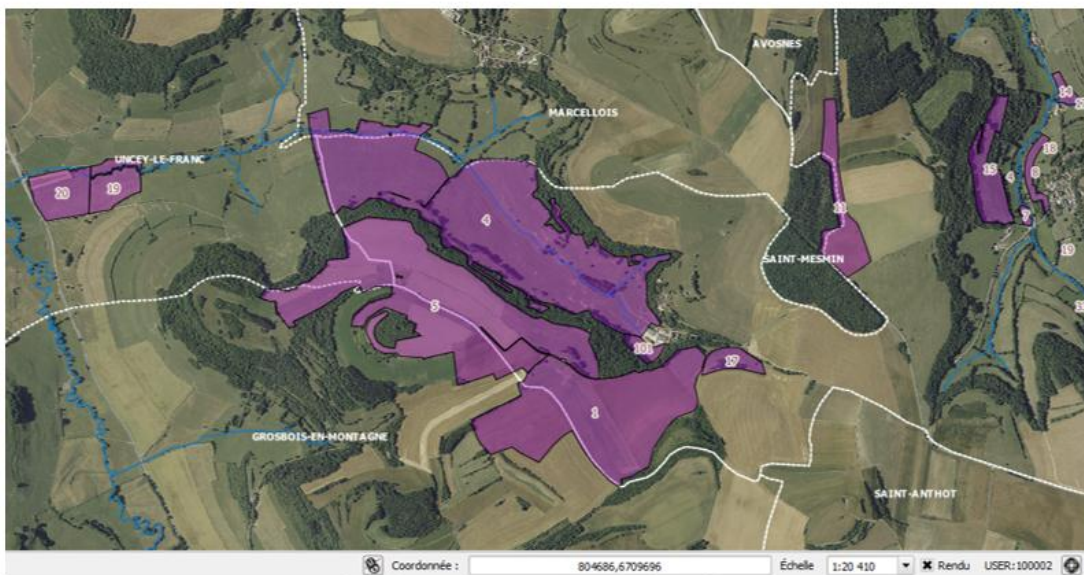
Autres- divers

Q20. Pouvez-vous donner les caractéristiques de cette pâture en quelques mots (points négatifs, points positifs) et pour la période étudiée? (exemple: pentue, humide, pluie etc...)

Annexe 10 : Illustrations utilisées pour la réalisation du questionnaire

Carte issue du
RPG

Carte 2



Ilot	Surface	Type
1	48,05	PN
4	84,21	PN
5	64,08	PT
7	0,46	PN
8	2,02	PN
11	9,59	PT
15	8,32	PN
17	3,07	PN
18	1,29	PN
19	4,72	PN
20	7,40	PN
101	1,67	PN

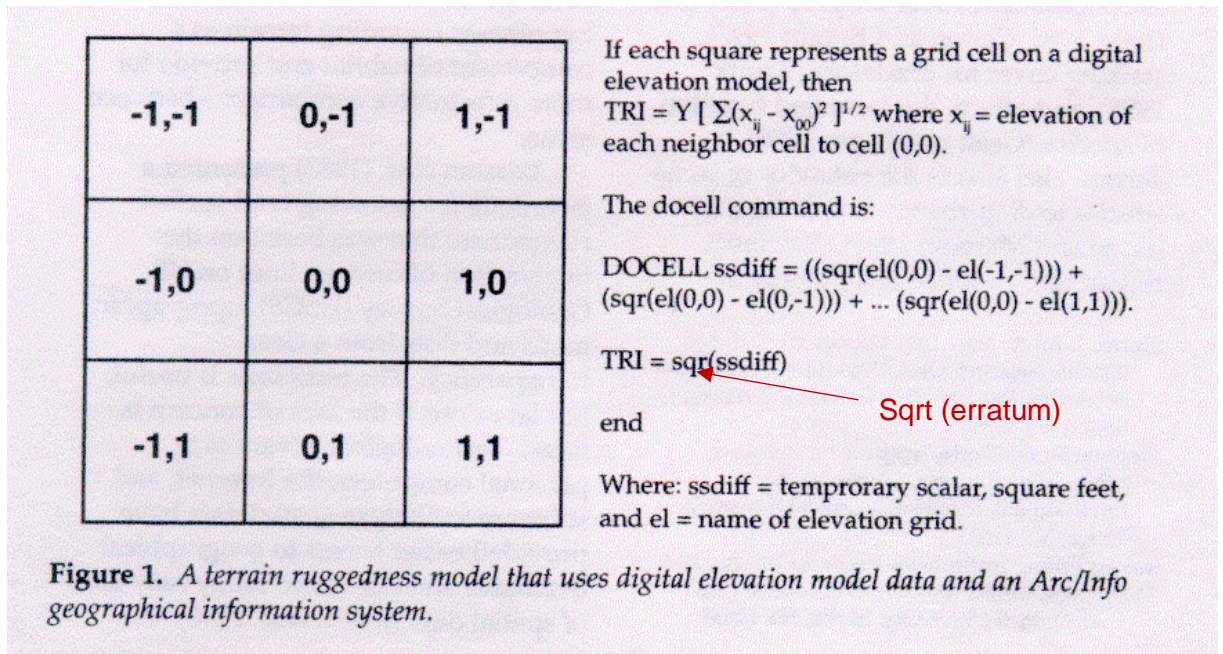


Q7. Zone de « mouille »

Q18. Zone de terre retournée
(boutis)



Annexe 11 : Indice de rugosité (extrait de Riley et al. 1999)

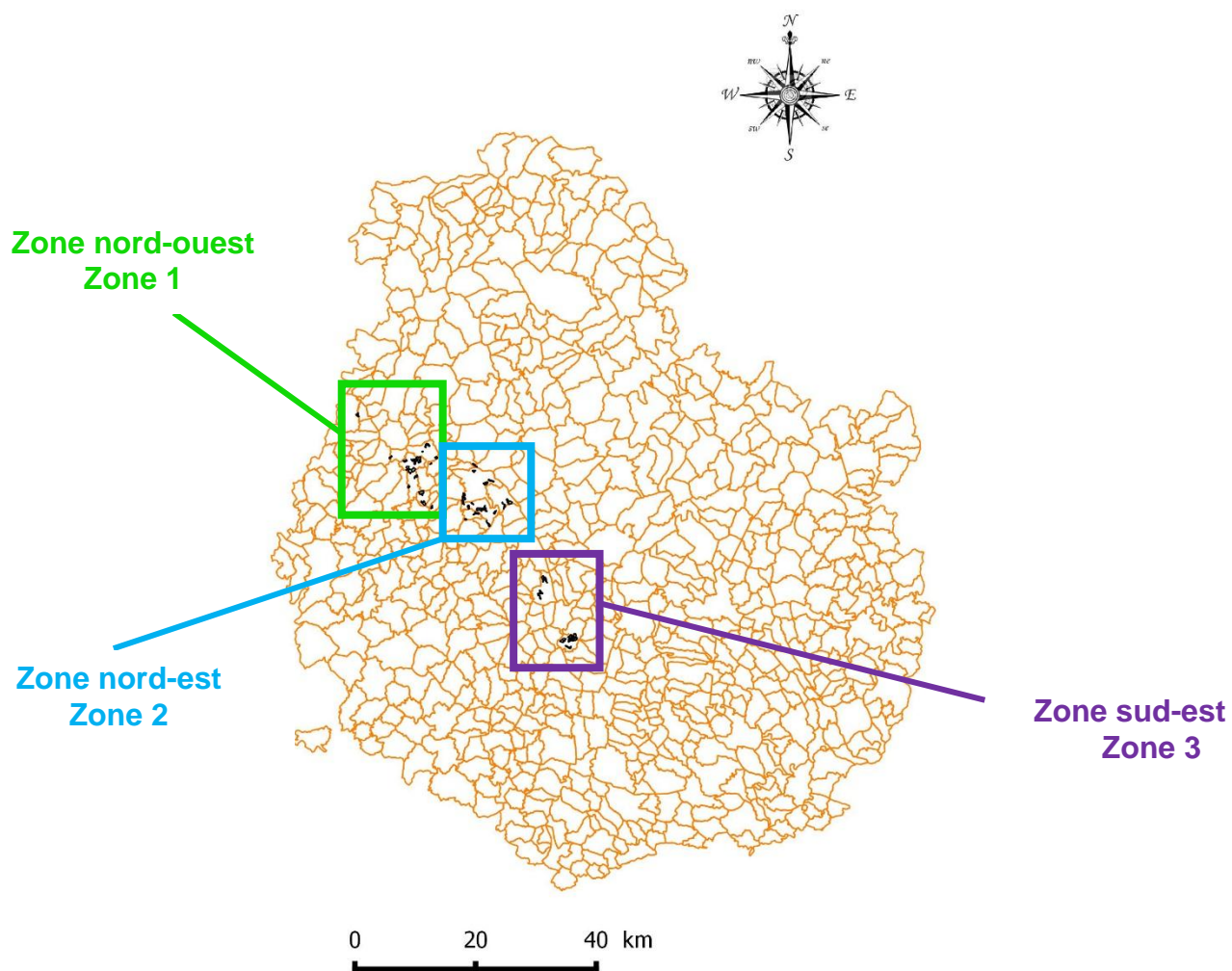


Annexe 12 : Types pédologiques (Unités Cartographiques de Sol – Source INRA) rencontrés dans les pâtures de la zone d'étude

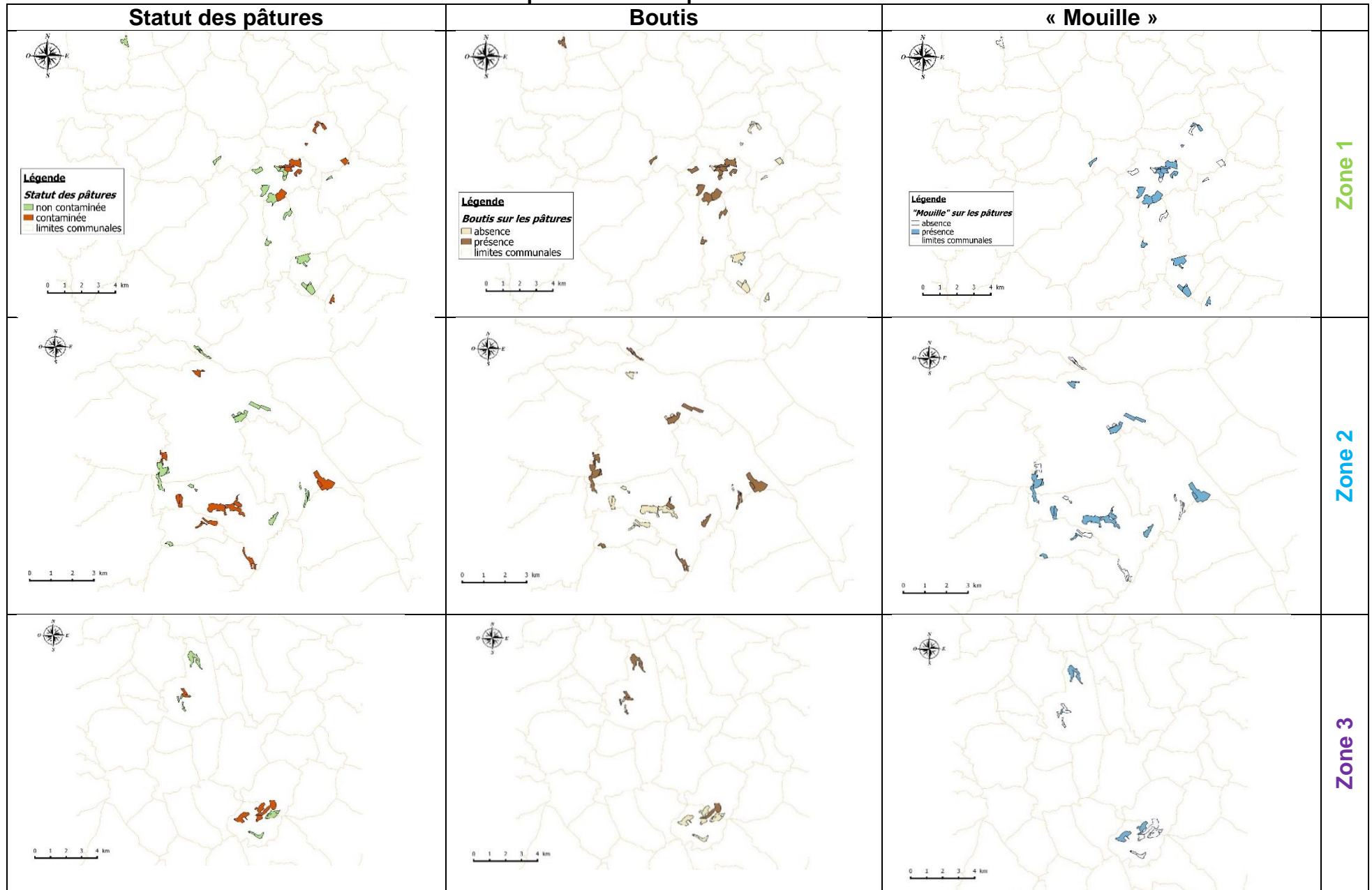
Référence pédologique (UC)	Correspondance
39	sols forestiers superficiels des plateaux de calcaire massif bathonien
46	complexe des sols superficiels calcaires et calciques des plateaux de calcaire en plaquettes bathoniens
61	sols calcaires sur alluvions récentes des vallées (Seine et ses affluents, Brennes, Ouche...)
66	complexe des sols argileux peu profonds des plateaux résiduels de calcaire en dalle bajocien
68	sols calcaires des courtes pentes marneuses des "hauteaux" des plateaux bajociens
69	topolithoséquence de sols argilo-limoneux, localement hydromorphes des pentes liasiques du Haut Auxois
70	topolithoséquence de sols calcaires et calciques des pentes liasiques du Montbardois
72	complexe de sols hydromorphes sur marnes domériennes du piedmont des pentes liasiques
73	terres limoneuses à limono-argileuses hydromorphes profondes des limons de l'Auxois
74	terres argileuses peu à moyennement profondes sur calcaire en dalles des bas plateaux sinémuriens
75	topolithoséquence de sols des vallons de Terre-Plaine
77	sols argileux et limono-sableux des vallées de l'Armançon et du Serein

Sols argilo-limoneux ou calcaires hydromorphes

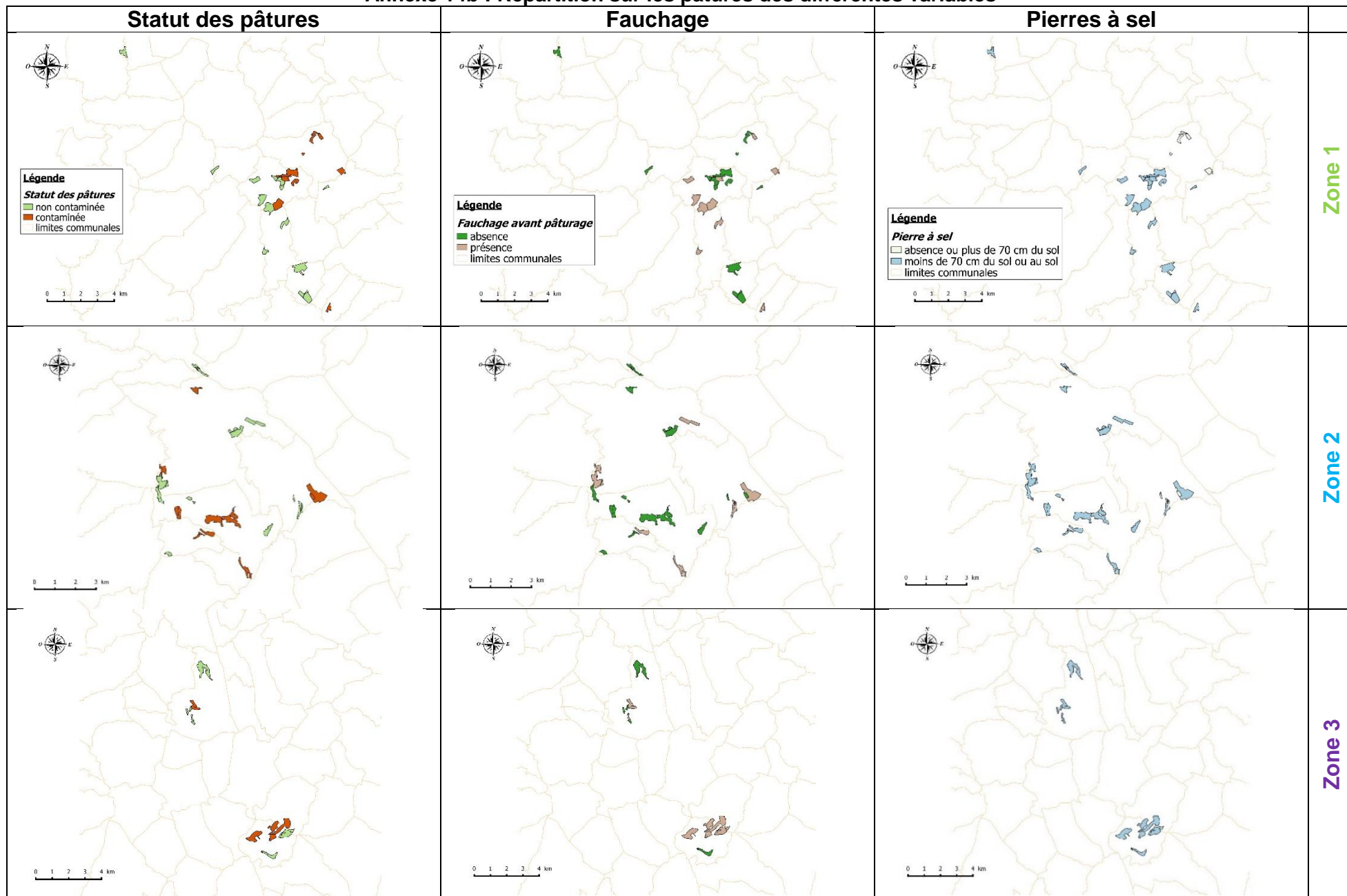
Annexe 13 : Définition des trois zones de répartition des pâtures de l'étude



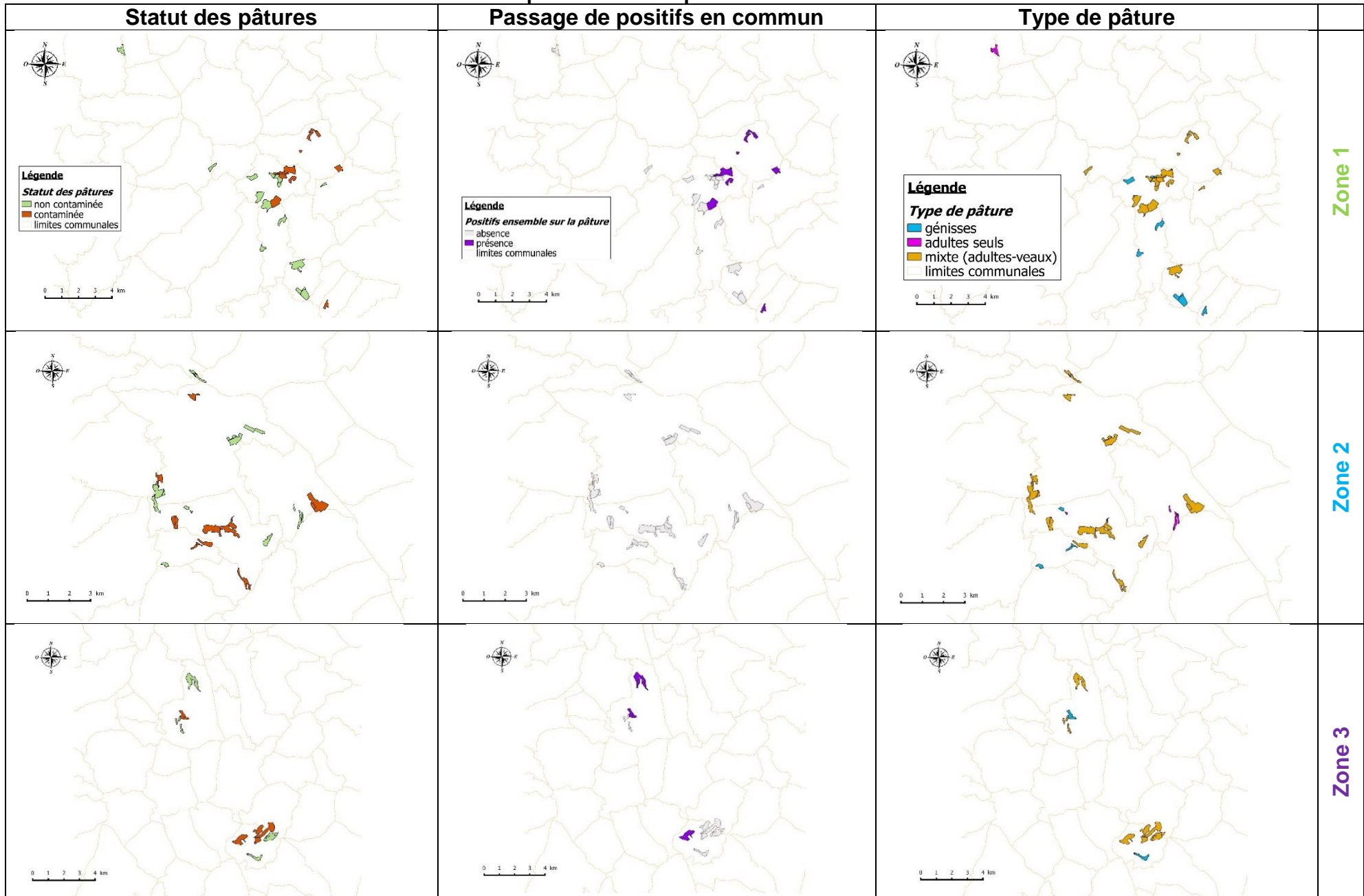
Annexe 14a : Répartition sur les pâtures des différentes variables



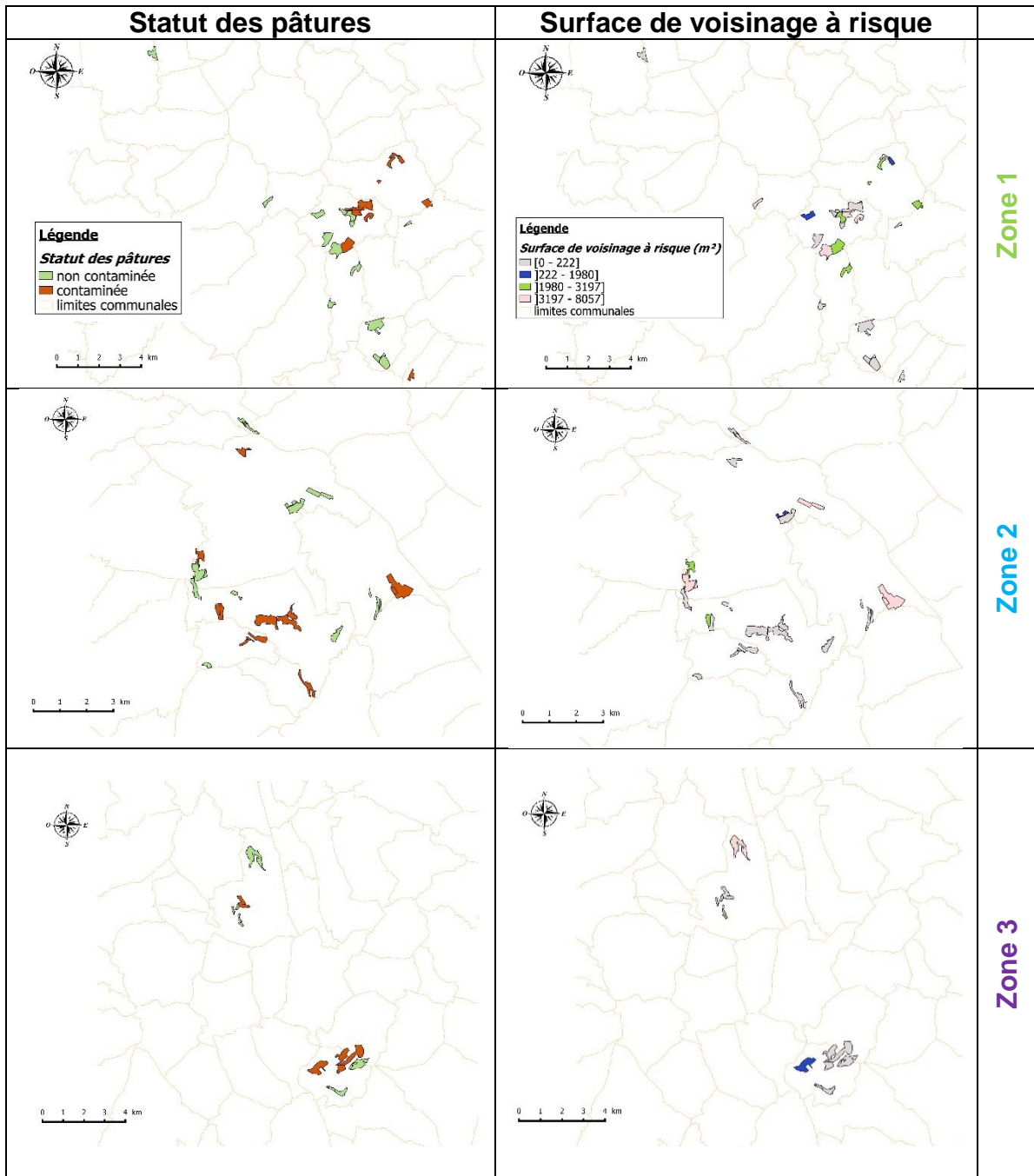
Annexe 14b : Répartition sur les pâtures des différentes variables



Annexe 14c : Répartition sur les pâtures des différentes variables



Annexe 14d : Répartition sur les pâtures des différentes variables



Annexe 15 : Résultats de l'analyse du pâturage deux ans avant APDI

Analyse univariée : 38 pâtures « à risque » et 40 pâtures « pas à risque »

Tableau 1 : Résultats de l'analyse univariée avec une étude sur 2 ans

Variabes explicatives	Type	Nombre de pâtures par classe	P ($\leq 0,20$)
Passage en commun de bovins positifs	Binaire	<i>Absence</i> : 67 <i>Présence</i> : 19	< 0,001
Abreuvement	Binaire	<i>Artificiel</i> : 43 <i>Naturel</i> : 43	0,05
« Mouille »	Binaire	<i>Absence</i> : 36 <i>Présence</i> : 50	0,03
Pédologie	Facteur en 2 classes	[0 – 0,5[: 15 [0,5 – 1] : 71	0,10
Surface de zone boisée (intra pâture, m²)	Facteur en 3 classes	[3 – 4706[: 29 [4706 – 11095[: 28 [11095 – 69839] : 29	0,07

Analyse multivariée : (sélection de modèle sur le meilleur AIC : AIC = 110,36 avec la variable pédologie, AIC = 110,09 sans la variable pédologie)

Tableau 2 : Résultats de l'analyse multivariée avec une étude sur 2 ans

Variabes explicatives	Modalités	OR	Intervalle de confiance (95 %)
Abreuvement	<i>Artificiel</i>	Référence	
	<i>Naturel</i>	0,31	[0,08 – 1,05]
« Mouille »	<i>Absence</i>	Référence	
	<i>Présence</i>	3,98	[1,29 – 14,02]
Surface de zone boisée (intra pâture, m²)	[3 – 4 706[Référence	
	[4 706 – 11 095[0,73	[0,17 – 3,08]
	[11 095 – 69 839]	4,06	[1,06 – 17,21]

Annexe 16 : Différents modèles envisagés pour les mesures d'association

Modèle	Justification forme	Intérêt	Inconvénients/obstacles
Régression linéaire généralisée – Fonction binomiale négative	Y = temps de passage des bovins positifs sur la pâture Variance >>> moyenne	Prise en compte du temps de passage des bovins positifs sur la pâture	Facteur de surdispersion trop grand Manque de puissance
Régression linéaire généralisée « enflée en zéro » - Fonction binomiale négative et logit	Y = temps de passage des bovins positifs sur la pâture Variance >>> moyenne Nombreuses occurrences de Y = 0	Prise en compte du temps de passage des bovins sur la pâture	Facteur de surdispersion trop grand Manque de puissance
Régression linéaire généralisée « tronquée » en zéro »	Y= temps de passage des bovins positifs sur la pâture Sans les Y = 0	Prise en compte du temps de passage des bovins sur la pâture	Manque de puissance
Régression logistique– fonction logit sur 2 ans	Y= statut de la pâture « à risque » ou non	Modèle s'ajustant bien avec les données	Pas de prise en compte du temps de passage Incertitude sur la contamination 2 ans avant APDI
Régression logistique – fonction logit sur 1 an	Y= statut de la pâture « à risque » ou non	Modèle s'ajustant bien avec les données	Meilleur lien entre le passage des bovins et la pâture potentiellement « à risque »

Identification et caractérisation de pâtures « à risque » de tuberculose bovine dans la zone infectée de Côte d'Or

La tuberculose bovine, maladie causée par la mycobactérie *Mycobacterium bovis*, peut atteindre les bovins et différentes espèces sauvages (sanglier, blaireau, cerf), qui jouent un rôle épidémiologique variable suivant les zones géographiques. Cette maladie a un impact économique non négligeable. La France aujourd'hui indemne, doit veiller au maintien de ce statut. Les efforts de surveillance et de lutte sont donc renforcés dans certains départements particulièrement atteints, comme la Côte d'Or. Cependant, la maladie est toujours présente. Des remontées de terrain indiquent l'existence de pâtures plus « à risque » que d'autres vis-à-vis de la transmission de la tuberculose bovine. Les études menées jusqu'à maintenant ont été faites au niveau élevage, mettant en évidence différents facteurs de risque (relatifs aux pratiques d'élevage, au voisinage, à la faune sauvage et aux caractéristiques environnementales).

L'objectif de notre étude est d'identifier des pâtures « à risque » de tuberculose bovine et de les caractériser par des variables concernant les pratiques d'élevage, le voisinage, la faune sauvage et l'environnement.

Pour cela, nous avons mis en œuvre une enquête dans neuf élevages bovins allaitants déclarés infectés entre 2010 et 2014. Pour identifier les pâtures « à risque », nous avons relevé le passage de certains bovins sur les pâtures de ces élevages pour la période de deux ans précédant l'Arrêté Préfectoral portant Déclaration d'Infection (APDI). Les bovins inclus dans l'étude étaient (i) tous les bovins « positifs » de l'éleveur (avec une analyse PCR positive et/ou une culture positive précédée ou non d'une intradermoréaction positive) et (ii) le double de bovins « négatifs » (n'ayant jamais réagi à une tuberculination et ayant au moins deux ans au moment de l'APDI). Ainsi, 61 pâtures ont été analysées dans l'étude. Pour caractériser les pâtures « à risque », nous avons mis en place des variables environnementales (pente, type de sol, relief, exposition, humidité), des variables en rapport avec la faune sauvage (densité de blaireaux et attractivité de la pâture vis-à-vis de la faune sauvage), le contact avec le voisinage et les pratiques d'élevage (fauchage, épandage, système de pâturage). Un modèle de régression logistique a ensuite été utilisé afin d'identifier les expositions associées au risque de tuberculose bovine à l'échelle de la pâture.

A l'issue de l'analyse multivariée, deux expositions indicatrices de risque ont été mises en évidence : les zones d'humidité localisées (OR = 10,9 [1,91-125,14]_{95%}) et la pratique du fauchage avant la mise à l'herbe (OR = 11,2 [1,55-133,79%]_{95%}). Ces résultats sont en accord avec le fait que la survie de *M. bovis* est favorisée par la présence d'humidité et qu'une faible hauteur d'herbe augmente la possibilité de contact avec la mycobactérie.

Ces résultats pourront servir aux éleveurs de la zone infectée de Côte d'Or : en associant les recommandations, déjà en cours dans le département, à des mesures pour améliorer le drainage des pâtures et pour éviter le fauchage avant pâturage, le contrôle de l'infection pourrait être optimisé.

Mots clés :

Mycobacterium bovis, tuberculose bovine, Côte d'Or, pâture, bovins, indicateurs de risque