



anses

# Rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Février 2021



CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 02 février 2021

## **AVIS**

### **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

**relatif à « une demande d'évaluation du rôle épidémiologique du renard  
dans la transmission de la tuberculose bovine »**

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 31 juillet 2018 par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) pour la réalisation de l'expertise suivante : « demande d'évaluation du rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine ».

#### **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

Par courrier du 26 juillet 2018, l'Anses a été saisie d'une « demande d'évaluation du rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine (TB) ».

Cette saisine s'inscrit dans le contexte de la TB chez les bovins et dans la faune sauvage, notamment chez les blaireaux, objets de la saisine 2016-SA-0200. Cette problématique implique différents acteurs, en particulier éleveurs, chasseurs, piégeurs et associations de protection de la faune sauvage.

Suite à la découverte de quatre renards infectés en Dordogne en 2015, une étude a été conduite autour de ces cas sur « l'épidémiologie et la pathologie de la TB chez le renard ». Cette étude a mis en évidence, pour 2017, un taux d'infection de l'ordre de 6 % sur un échantillon de 189 renards prélevés en zone infectée de Dordogne, par détection par PCR sur des pools de broyats de nœuds lymphatiques (NL), des expectorations, des fèces et des urines.

A la date de réception de la saisine, la partie de cette étude portant sur les voies d'excrétion de *Mycobacterium bovis* par les renards était en cours. La mise en place de deux études complémentaires : une étude épidémiologique élargie à d'autres zones de Dordogne et d'autres départements infectés de TB, et une infection expérimentale de renards en captivité, avaient également été initiées. Selon la saisine, les résultats de ces études devaient être disponibles en septembre et décembre 2018.

En pratique, les résultats des études n'étant pas disponibles dans les délais indiqués, le traitement de la saisine a été suspendu jusqu'à leur obtention en février 2020.

Selon les termes de la saisine, un avis de l'Anses est sollicité sur les questions suivantes :

- « *Quel est le risque de transmission de la TB aux élevages de bovins par des renards compte tenu des éléments actuellement connus ? Quel est le risque de création d'un réservoir de la maladie dans la faune sauvage en intégrant le rôle joué par cette espèce ?* »
- *Quelles mesures de gestion (contrôle des densités de renard par la chasse, ramassage des cadavres, etc.) seraient susceptibles de faire diminuer ce risque ?*

*En sus d'une revue bibliographique sur le sujet, nous souhaiterions que votre avis prenne en compte les résultats de l'étude en cours en Dordogne et des investigations complémentaires qui auront pu être menées et dont les résultats seraient disponibles en décembre 2018 ».*

L'audition de la DGAL a permis de confirmer que la surveillance des renards faisait partie de la gestion et était donc à envisager dans la deuxième question

## **2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE**

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Santé et Bien-Etre des Animaux (SABA) ». L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « Tuberculose bovine et Renard » l'instruction de cette saisine. Le GT s'est réuni les 10 février, 17 mars, 27 mars, 15 avril, 14 mai, 25 juin, 10 juillet, 23 septembre, 8 octobre et 19 novembre 2020.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES SABA les 9 juillet et 10 novembre 2020, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES et le relecteur externe. Il a été adopté par le CES réuni le 8 décembre 2020.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise. A ce titre, Mmes Boschiroli et Richomme ayant été impliquées dans les études commanditées par la DGAL et citées dans la saisine, elles ne sont pas intervenues sur la partie des travaux correspondant à l'évaluation des études auxquelles elles ont participé.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr))



### 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ET DU GT

#### 3.1. Données disponibles d'écologie et d'infection du renard roux (*Vulpes vulpes*)

##### 3.1.1. Traits d'écologie du renard

Cette partie n'aborde pas tous les traits d'écologie du renard, seuls sont présentés les traits d'intérêt pour analyser les questions relatives à l'épidémiologie de l'infection à *M. bovis* chez les renards et l'évaluation du risque de transmission de cette infection des renards vers les bovins.

- Comportement social et territorial

Le renard roux est une espèce au comportement très plastique, capable de s'adapter à des milieux très variés. Il vit de façon solitaire ou en « groupes spatiaux » de deux à quatre adultes en général, plus ou moins stables au cours du temps, et occupant un espace variable en surface, notamment selon les disponibilités alimentaires. Malgré cette organisation centrée sur de petits groupes familiaux, les renards recherchent généralement leur nourriture en solitaire et ne se croisent qu'à proximité de sources de nourriture localement abondantes.

Tous les individus d'une population ne trouvent pas obligatoirement un territoire à occuper. On considère ainsi des renards résidents, qui possèdent un territoire, et des renards satellites, qui n'ont pas de territoire et ont un comportement erratique entre et en bordure des territoires occupés. Le domaine vital de ces derniers est généralement plus vaste que celui des résidents.

Le renard utilise régulièrement des terriers, principalement lors de la reproduction (mise-bas et premières semaines qui la suivent), et lors des périodes de mauvais temps (fortes pluies, grand froid). Cependant, contrairement au blaireau, cet abri ne joue pas un rôle central dans sa survie. Bien qu'il réutilise régulièrement des terriers creusés par les blaireaux, le renard peut également creuser son propre terrier ou utiliser des abris très sommaires d'origine naturelle (cavité sous un arbre, taillis épais...) ou anthropiques (tas de bois, grange...).

Concernant les contacts directs intraspécifiques, au sein d'un même groupe, les relations entre individus sont stables et durables, notamment entre femelles. Les contacts directs entre renards ont lieu prioritairement entre individus dominants. Des contacts courts, de moins d'un jour, ont lieu pendant la dispersion et le rut, ainsi qu'entre groupes sociaux non-adjacents. Une grande disponibilité de nourriture semble entraîner des taux de contact plus importants.

- Alimentation

Dans les milieux agricoles, ce carnivore généraliste et opportuniste s'intéresse aux secteurs de pâtures pour exploiter certains micromammifères (campagnols, mulots...), les lombrics et les insectes présents dans les bouses. Au niveau des bâtiments agricoles et d'élevage, les renards sont attirés par certains micromammifères commensaux de l'Homme, les tas de fumier, la nourriture destinée aux animaux domestiques et les animaux de basse-cour. Le renard est également un charognard facultatif qui consomme les cadavres d'animaux chassés (viscères laissés sur place), victimes de la route, du machinisme agricole ou empoisonnés par des rodenticides. En revanche, le comportement de coprophagie (consommation de fèces) n'est pas décrit dans cette espèce.

- Reproduction et dynamique des populations

Les paramètres démographiques des populations de renards traduisent une dynamique de population relativement rapide (reproduction dès la première année, taille des portées assez importante), en particulier plus rapide que celle des blaireaux. Cette dynamique est d'autant plus rapide dans les populations exploitées (chassées, détruites ou piégées), ce qui est le cas dans la plupart des régions de France. Au niveau national, le renard est l'espèce de carnivore la plus abondamment prélevée avec environ 0,9 renard prélevé/km<sup>2</sup> et par an (principalement des jeunes de l'année) depuis plus d'une vingtaine d'années. Les niveaux de prélèvements réalisés sur le renard n'entraînent pas de baisses de densité car les prélèvements sont

rapidement compensés. A ce titre, des études au Royaume-Uni et en France ont montré que les prélèvements intensifs de renards étaient rapidement compensés et suggèrent que l'immigration depuis la périphérie et une meilleure survie des jeunes seraient importantes. Sur 166 territoires répartis dans 38 départements de France, les densités de renard sont apparues globalement stables ou légèrement en hausse entre 2004 et 2013. Elles variaient entre 0,4 et 1,49 renard (adulte)/km<sup>2</sup>.

- Interactions avec les bovins et les autres espèces sauvages sensibles à *M. bovis*

La fréquence et la nature des interactions entre le renard et les autres espèces réceptives à la TB sont des éléments comportementaux importants à prendre en compte dans la mesure où ils peuvent conditionner les modalités de transmission au sein de la communauté d'hôtes de *M. bovis* (infection du renard à partir d'autres hôtes ou contamination de l'environnement par le renard pouvant conduire à transmettre la bactérie à d'autres hôtes réceptifs).

Les renards fréquentent les bâtiments d'élevage (réserves d'aliments), les stabulations, ainsi que les points d'eau et d'alimentation en pâture, principalement à la recherche de nourriture, constituant ainsi des points d'interface avec les bovins. Dans les zones où des études sur les interactions entre renards et autres espèces ont été conduites, il apparaît que les interactions renards-bovins sont plus fréquentes en France qu'en Angleterre et en Espagne, et que ces interactions prédominent sur celles que les autres espèces sensibles à *M. bovis* peuvent avoir avec les bovins. En outre, les analyses n'ont pas mis en évidence de différence de fréquence de visite entre les différentes infrastructures surveillées (points d'alimentation et d'abreuvement en pâture et bâtiment d'élevage).

Les interactions avec les autres espèces du système multihôtes sauvage sont possibles *via* la nécrophagie ou *via* les points d'agraineage, les points d'eau et les terriers (blaireau).

### **3.1.2. Données d'infection par *M. bovis* chez le renard roux (*Vulpes vulpes*)**

- Préambule : méthodes de dépistage et de diagnostic de l'infection à *M. bovis* chez les renards

La détection de l'infection à *M. bovis* chez les renards peut être réalisée par bactériologie et biologie moléculaire (PCR en temps réel et outils de génotypage). La biologie moléculaire permet une détection plus rapide et plus sensible que la culture, mais n'apporte pas la preuve de la viabilité de la bactérie, donc du caractère contagieux de l'animal. Ces méthodes peuvent aussi être mises en œuvre sur urines, fèces et mucus trachéal pour caractériser l'excrétion.

Ces méthodes ont intrinsèquement une bonne sensibilité. Néanmoins, la sensibilité du dépistage est plus faible (dégradation des animaux trouvés morts, étape de décontamination des fèces détruisant une partie des mycobactéries, regroupement en pools des échantillons d'un même animal) : la sensibilité de la culture est proche de 50 %, celle du test PCR comprise entre 70 à 80 %. Ainsi, quels que soient les tests utilisés, la prévalence réelle est sous-estimée.

Tout renard (comme les autres espèces en France) présentant un résultat positif sur tissu et/ou organe par diagnostic moléculaire (PCR) ou par culture est considéré comme infecté par *M. bovis*.

- Données bibliographiques d'infection

Les données publiées de recherche de lésions et/ou d'infection dues à *M. bovis* chez les renards sont relativement peu nombreuses au regard de celles publiées chez les blaireaux et les ongulés, et concernent un nombre faible, voire très faible, d'animaux, d'où des estimations peu précises. Les échantillons étudiés ont été prélevés soit de manière opportuniste (sans choix particulier), soit dans des zones géographiques où la TB a été détectée chez d'autres espèces domestiques et/ou sauvages. Dans les deux cas, la représentativité des échantillons n'est pas assurée.

En Europe, les prévalences d'infection estimées par culture bactérienne en Angleterre sont comprises entre 1,2 % et 3,2 %, sans lésions visibles à l'exception d'un renard. En Espagne,

l'infection a été relevée chez quelques individus, mais la détermination de la prévalence n'a pas fait l'objet d'études. Enfin au Portugal, les deux études menées dans une région concernée par une forte prévalence chez les ongulés sauvages indiquent des prévalences de 6,1 % par culture bactérienne et 26,9 % par culture bactérienne et PCR, avec un seul renard présentant des lésions.

- Données épidémiologiques en France

- ✓ **Etudes de prévalence**

En France, avant 2015, des données ont été produites en forêt de Brotonne–Mauny, en Haute Normandie (un individu infecté, ne présentant pas de lésion macroscopique, sur 49 analysés par culture bactérienne en 2005-2006), en Côte d'Or (trois individus infectés sur 69 analysés par culture bactérienne et PCR entre 2005 et 2012, et un sur 33 en 2014), et en Dordogne (aucun individu trouvé infecté par culture bactérienne et PCR sur les 55 analysés au total entre 2005 et 2014).

La découverte en 2015 de quatre renards infectés sur six analysés et provenant d'une même commune de la zone infectée Nord du département de la Dordogne, où d'autres espèces sauvages et des bovins sont régulièrement trouvés infectés, a motivé la mise en place d'une première étude du rôle épidémiologique du renard roux dans la circulation de *M. bovis* dans cette zone. Ensuite, l'étude a été élargie à l'ensemble de la zone infectée du Nord de Dordogne ainsi qu'à trois autres aires d'études des zones infectées de Charente, des Landes et de Côte d'Or. Ces études montrent que les prévalences d'infection chez les renards sont comparables dans les trois zones de Nouvelle-Aquitaine – Dordogne, Charente et Landes - (6,9 % en moyenne), et du même ordre de grandeur que celles observées chez les blaireaux dans ces zones. Aucun renard n'a été trouvé infecté en Côte d'Or, département où la situation sanitaire au regard de la TB s'améliore sur la période d'étude à la fois chez les bovins et les animaux sauvages, contrairement aux territoires infectés de Nouvelle-Aquitaine, où le nombre de foyers bovins et la prévalence chez les blaireaux sont en augmentation ces dernières années.

- ✓ **Etude de la localisation de l'infection chez le renard et de l'excrétion de *M. bovis***

Dans ces études en milieu naturel, aucun renard infecté ne présentait de lésions visibles, alors que l'infection des nœuds lymphatiques (NL) mésentériques a été observée chez plus de deux tiers des renards infectés, avec une infection des NL rétropharyngiens parfois concomitante, indiquant le plus vraisemblablement une exposition digestive prépondérante. Pour certains renards en revanche, une infection des NL pulmonaires a été observée, à mettre en rapport avec une exposition par voie respiratoire. Sur le plan de l'excrétion, le fait que certains renards trouvés infectés au niveau des NL mésentériques présentaient de l'ADN de *M. bovis* dans les fèces indique une probable excrétion de bacilles par voie fécale.

Parallèlement à ces études en milieu naturel, une infection expérimentale a été conduite, pendant trois mois, sur 12 renards après ingestion de viande infectée avec une charge bactérienne élevée mais compatible avec la consommation des tissus les plus infectés d'un cadavre d'animal tuberculeux. Cette étude a permis de reproduire le patron d'infection observé chez une majeure partie des renards trouvés naturellement infectés par *M. bovis*. Dans cette étude expérimentale, les lésions macroscopiques sont quasi absentes, et la présence de *M. bovis* a été détectée au niveau des NL rétropharyngiens et mésentériques. Elle confirme par ailleurs qu'au moins dans les premiers temps de l'infection, l'excrétion par voie fécale de *M. bovis* par des renards infectés est possible.

- ✓ **Séquençage des génomes de souches de *M. bovis* isolées chez des renards et analyse phylogénétique**

Une étude a été réalisée sur les données de séquençage de génomes de souches de *M. bovis* isolées chez des renards depuis 2015 en Dordogne et Haute-Vienne. Leur analyse phylogénétique a étudié leur proximité génétique avec des souches isolées dans ces zones chez des bovins (depuis 2001) et d'autres espèces sauvages (blaireau, sanglier, cerf, chevreuil) (depuis 2010). Ces études ont permis d'obtenir des premières informations en termes de

transmission de *M. bovis* au sein de la communauté d'hôtes. Cette analyse a mis en évidence une proximité génétique des souches de renards avec des souches isolées (1) chez des sangliers (pouvant d'ailleurs résulter d'une contamination de ces deux espèces à partir d'une même source environnementale) (2) d'autres renards et (3) des bovins, suggérant ainsi trois événements distincts de transmission intra- et interspécifiques. Du fait de la non-exhaustivité de la collection de souches disponibles séquencées pour la faune sauvage par rapport aux souches circulant dans la faune sauvage, en particulier pour le renard, ces résultats doivent être considérés comme préliminaires.

### **3.2. Rôle épidémiologique du renard dans la TB**

#### **3.2.1. Circulation de *M. bovis*, un système multihôtes domestique et sauvage**

Comme détaillé dans le rapport de l'Anses de 2019 relatif à la gestion de la TB et des blaireaux, *M. bovis* est une bactérie susceptible d'infecter une grande variété de mammifères domestiques et sauvages. Dans certaines situations, *M. bovis* peut circuler et se maintenir au sein d'une communauté de populations réceptives à *M. bovis*, mais ayant des rôles épidémiologiques variés (hôte de maintien, de liaison ou cul-de-sac épidémiologique), connectées entre elles directement et/ou indirectement *via* l'environnement : on parle alors de système multihôtes. Dans le cas de la TB, l'environnement (sol, aliments, sources d'eau) est également impliqué dans ce système multihôtes, du fait de la persistance possiblement prolongée de *M. bovis* sur ces supports, après contamination par des excréta issus d'animaux infectés, domestiques ou sauvages.

Les facteurs conditionnant la capacité d'une population d'hôtes, une fois infectée, à maintenir et à transmettre *M. bovis* (hôtes de maintien) sont à la fois la sensibilité des hôtes (organes infectés et excrétion de bacilles, proportion d'individus infectés, durée d'infection pré-symptomatique, survie et comportement des individus infectés, *etc.*) et leur écologie/éthologie (comportement territorial, social et alimentaire, espérance de vie, densité et dynamique de population, *etc.*) qui conditionnent les contacts intraspécifiques et les interactions avec les populations d'autres espèces sensibles.

La capacité d'une communauté d'hôtes à maintenir l'infection résulte quant à elle des espèces présentes, de l'assemblage des capacités intrinsèques de chacune des populations, mais aussi de la nature et de l'intensité des interactions entre elles et de l'environnement. Ainsi, des populations, prises séparément, peuvent jouer un rôle d'hôtes de liaison, mais peuvent permettre à *M. bovis* de se maintenir lorsqu'elles sont en interaction. Le rôle des densités et de l'interface entre les populations est alors déterminant. Enfin, il convient de souligner que les taux d'infection ne permettent pas de conclure à eux seuls sur le rôle épidémiologique d'une espèce dans le système multihôtes de la TB : le fait qu'une espèce soit infectée traduit sa réceptivité à *M. bovis*, mais ne laisse pas préjuger de sa capacité à maintenir l'infection et à transmettre ensuite *M. bovis* à d'autres espèces.

La transmission et le maintien de l'infection à *M. bovis* s'inscrivent ainsi dans un système multihôtes complexe incluant à la fois plusieurs populations d'espèces hôtes et l'environnement. Par conséquent, en présence d'un foyer de TB, il est nécessaire de considérer ce système multihôtes dans son ensemble, et non une espèce en particulier, pour évaluer la situation épidémiologique.

#### **3.2.2. Place du renard dans le système multihôtes**

- Réceptivité et sensibilité des renards

Au vu des données obtenues en milieu naturel et sur animaux captifs, le renard apparaît comme réceptif à *M. bovis*. L'étude expérimentale par ingestion de viande infectée (*cf.* 3.1.2) a montré qu'une prise unique résultait en l'infection des 12 renards, neuf d'entre eux présentant une excrétion de *M. bovis* par voie fécale un ou deux mois post-infection, et deux renards présentant des petites lésions visibles. Les études de prévalence conduites dans

quatre zones d'enzootie corroborent ces résultats, avec une prédominance de la voie d'infection digestive (*M. bovis* ayant été retrouvé au niveau des NL mésentériques dans 60 % des cas lors de l'étude en Dordogne) et mise en évidence d'une excrétion fécale probable par certains renards et, dans tous les cas, l'absence de lésions macroscopiques. Comme pour d'autres espèces (blaireau et bovins), il n'apparaît donc pas de relation directe entre présence de lésions macroscopiques et excrétion. Par ailleurs, d'après les éléments ci-dessus, la voie d'infection principale semble être orale et digestive, correspondant à une exposition à *M. bovis* par l'ingestion de matières contaminées.

Il est à noter toutefois que l'infection des NL céphaliques et respiratoires a également été mise en évidence, dans une moindre mesure, chez les renards infectés expérimentalement (uniquement les NL céphaliques) et naturellement, certaines de ces infections obtenues expérimentalement s'accompagnant d'une excrétion oropharyngée très probable. L'exposition à *M. bovis* par ingestion peut donc conduire à l'infection des NL céphaliques, comme montré expérimentalement, et à une excrétion oropharyngée, quoique de façon moins fréquente, semble-t-il, que l'excrétion fécale. L'atteinte au niveau des NL respiratoires d'individus infectés naturellement indique que la voie d'exposition respiratoire est possible.

Si la capacité à excréter *M. bovis* est avérée (résultats des tests PCR et bactériologiques positifs) par ces études, il est difficile d'en connaître pour autant la mesure, la temporalité longue et détaillée, le lien avec la dose infectante et avec le statut physiologique

**En résumé**, sur la base des données épidémiologiques et expérimentales acquises récemment en France, le renard apparaît réceptif à *M. bovis*, avec une voie d'infection principalement orale et digestive, qui n'exclut pas pour autant la voie respiratoire. La capacité d'un renard infecté à excréter est avérée, surtout par voie fécale, en concordance avec la voie d'infection principale, mais la quantité et la temporalité de cette excrétion ne sont pas connues, de même que le lien avec la dose infectante. Le renard semble très peu sensible à l'infection à *M. bovis*, avec le plus souvent une absence de lésions macroscopiques.

- Transmission interspécifique

De par son comportement alimentaire carnivore et opportuniste, le renard est observé dans les élevages de bovins, que ce soit au niveau des pâtures ou dans les bâtiments. Ces interactions indirectes avec les bovins exposent les renards à une infection par voie digestive ou respiratoire si des aliments ou substrats contaminés par les bovins sont ingérés ou inhalés. L'étude phylogénétique conduite en Dordogne fait d'ailleurs état d'une source de contamination bovine pour certains renards. Dans l'autre sens, connaissant désormais la capacité des renards à excréter *M. bovis*, principalement par voie fécale, la défécation de renards dans des sites accessibles aux bovins pourrait donner lieu à une transmission du bacille des renards aux bovins.

Le renard peut également être nécrophage et se nourrir sur des cadavres de sangliers, cervidés ou même blaireaux qui, en zone enzootique, pourraient être contaminés. La mise en évidence par l'étude phylogénétique de la proximité génétique entre souches issues de sangliers et de renards étaye l'hypothèse d'un mode de contamination des renards à partir de consommation de cadavres de sangliers infectés. Inversement, des interactions sangliers-renards, le plus souvent indirectes, peuvent également avoir lieu lors de consommation par des sangliers de cadavres de renards infectés ou sur des points d'agrégation (agrainage - réglementairement interdit en zone d'infection de tuberculose - ou point d'eau).

Les renards occupent fréquemment les terriers de blaireaux, le plus souvent en l'absence de ceux-ci, mais parfois de façon concomitante. Du fait de la capacité des blaireaux à excréter *M. bovis* et de la persistance environnementale possible de la bactérie dans les terriers, la contamination des renards à partir des blaireaux semble être une hypothèse plausible. Cependant, l'étude phylogénétique n'étaye pas cette hypothèse puisque, dans les arbres obtenus, la souche ancestrale n'était associée au blaireau pour aucune des cinq souches issues de renard. Il faut toutefois rappeler la limite de cette étude basée sur un échantillon de souches vulpines très petit et sur un pas de temps court. Ces résultats ne peuvent donc pas



permettre d'exclure que des blaireaux puissent transmettre *M. bovis* à des renards. En Angleterre, il peut paraître surprenant que la prévalence chez les renards ne soit pas plus élevée, connaissant leurs interactions avec les terriers de blaireaux, qui sont fortement infectés dans les zones d'études. Ainsi, la transmission entre renard et blaireau est envisageable compte tenu de ces partages de terriers et de la capacité d'excrétion du renard, mais elle n'a pas été démontrée. Dans la mesure où les renards semblent excréter principalement par voie fécale, donc hors de terriers, qu'ils n'ont pas une occupation permanente de ces terriers et qu'elle est plus souvent non concomitante avec celle des blaireaux, la probabilité d'une transmission de renard à blaireau pourrait être faible.

Concernant les cervidés, les experts ne disposent pas d'éléments probants pour déterminer leur contribution à l'infection des renards en France. On peut supposer, comme pour le sanglier, que le renard peut s'infecter sur un cadavre de cervidé tuberculeux par nécrophagie, ou par contact indirect sur un site partagé. Cependant la prévalence chez ces espèces étant faible en France, le risque de transmission aux renards est également faible.

En Côte d'Or, alors que 4 % de renards avaient été trouvés infectés entre 2005 et 2014, aucun ne l'a été depuis. En parallèle, la circulation de l'infection dans le système multihôtes domestique et sauvage est devenue moins active. De plus, les renards avaient été trouvés infectés uniquement en zone nord, où se trouvent plus de bovins et moins de faune sauvage. En zone sud, même si l'échantillon est plus faible (24 renards en zone sud de 2005 à 2012), on peut noter qu'il y a moins de bovins et plus de faune sauvage infectée, notamment des sangliers : cette observation serait compatible avec une contamination des renards plutôt à partir des bovins qu'à partir de la faune sauvage. Elle suggère également que, dans ces zones, les renards ne seraient pas à même de maintenir l'infection à *M. bovis* dès lors que la pression d'infection diminue dans leur environnement. Cette hypothèse doit néanmoins être considérée avec une grande prudence du fait du manque de recul et du peu de données disponibles actuellement sur la TB chez le renard.

- Transmission intraspécifique

Compte tenu de l'écologie des renards (petits groupes stables sur un territoire, peu de contacts avec les autres groupes cf. § 3.1.1.), les contacts intraspécifiques et le confinement dans un même terrier, propices à la transmission de *M. bovis*, sont moins importants que chez le blaireau. D'autre part, les populations de renards en France sont fortement prélevées et leur dynamique de population rapide entraîne un fort taux de renouvellement des populations. L'exposition à *M. bovis* et l'émission de bacilles en cas d'individus infectés et excréteurs sont donc, à l'échelle d'une population, moins prolongées que pour d'autres espèces plus longévives et avec un renouvellement de population moins rapide.

Ces éléments écologiques ne sont donc pas en faveur d'une capacité des populations de renards à maintenir l'infection sans source extérieure. En outre, les études de prévalence réalisées dans les différents territoires infectés en France suggèrent que les populations de renards sont infectées à des taux de 7 à 10 % lorsque la circulation de *M. bovis* dans le système multihôtes est active, comme Charente et dans la zone de Villars en Dordogne. En revanche en Côte d'Or, où la lutte contre la TB dans la faune sauvage a été mise en place plus tôt et où les taux d'infection dans le système multihôtes ont nettement baissé depuis 2010, la prévalence détectée chez les renards prélevés dans cette zone historiquement infectée est inférieure à 2,5 % (vs 5,3 % sur la période 2005 - 2014), confortant l'hypothèse d'une incapacité de cet hôte à maintenir l'infection sans source extérieure de contamination.

Cette hypothèse n'exclut pas la possibilité d'une transmission entre renards comme suggéré par l'analyse phylogénétique (Figure 11, zoom 2 du rapport associé au présent Avis), la dynamique de l'infection au sein des groupes et entre groupes restant à explorer.

### **3.2.3. Conclusion sur le rôle épidémiologique du renard dans le système multihôtes**

Etant une espèce réceptive, le renard peut s'infecter à des taux non négligeables dans les zones où la circulation de *M. bovis* est active et, étant donné sa capacité d'excrétion, la transmission retour à d'autres hôtes est possible. Ainsi, le renard pourrait davantage contribuer à la circulation de l'infection autour d'un élevage, en cas de circulation active de *M. bovis* dans le système multihôtes domestique et sauvage. Etant donné que le taux de renouvellement des populations de renards est rapide, les individus infectés ne resteraient pas, à l'échelle populationnelle, une source pérenne de *M. bovis* ni pour leurs congénères, ni pour les autres hôtes comme les bovins. Sur cette base, le renard peut être qualifié d'hôte de liaison, mais avec une contribution mineure à la circulation de *M. bovis* au sein du système multihôtes. Notamment, le renard semble moins apte que le blaireau à faire persister localement l'infection, moins apte que le sanglier à véhiculer l'infection sur de longues distances, et moins apte que les bovins, hôtes de maintien principal, à maintenir l'infection dans le temps et dans l'espace.

Dans tous les cas, le renard n'apparaît pas comme un hôte de maintien de la TB.

### **3.3. Evaluation du risque de transmission de *M. bovis* des renards vers les bovins**

Cette évaluation du risque a été réalisée pour la France dans le cadre de la situation épidémiologique actuelle de la TB. Elle prend donc en compte les mesures de surveillance et de lutte en vigueur chez les bovins et chez les espèces sauvages.

Les connaissances actuellement disponibles sur l'infection à *M. bovis* chez le renard étant plus récentes, plus limitées, et associées à davantage d'incertitude, le GT a conduit une évaluation de risque qualitative en appliquant la méthode Afssa (2008) et en ayant pour objectif l'estimation de la probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* chez les bovins, ce qui est essentiel pour le choix des mesures de lutte.

En particulier, d'après les données actuellement disponibles, le renard pourrait jouer un rôle non négligeable dans le système multihôtes de la TB uniquement dans les zones où l'infection à *M. bovis* persiste chez les bovins et dans la faune sauvage, comme certaines zones de Nouvelle-Aquitaine, malgré les mesures de lutte mises en place (gestion des élevages, élimination locale des blaireaux...). Les renards pourraient donc ne constituer un facteur de risque de transmission de *M. bovis* pour les bovins que dans ces zones particulières, ou « points noirs »<sup>1</sup>, à l'échelle de l'élevage (*i.e.* des bâtiments et des pâtures). Par conséquent, l'évaluation de risque a été ciblée dans ces « points noirs », où le renard pourrait contribuer au système multihôtes de la TB. Il s'agit donc d'une estimation de risque maximal pour la France.

A chaque étape de l'ER, le GT a comparé, de manière qualitative, les différentes probabilités chez les renards et chez les blaireaux. Cette comparaison est apparue pertinente compte tenu de la difficulté de réaliser une ER purement qualitative, sans références sur lesquelles s'appuyer. Le choix du blaireau repose sur le fait que cette espèce a fait l'objet d'une ER similaire (Anses 2019) qui constitue une référence pour des comparaisons. De plus, en termes d'écologie, il est plus pertinent de comparer le renard avec un autre carnivore qu'avec un omnivore qui se déplace sur des distances beaucoup plus importantes, comme le sanglier.

#### **3.3.1. Probabilité d'émission de *M. bovis* par les renards**

L'émission de *M. bovis* par des renards infectés est possible, notamment *via* les fèces, sans exclure les voies respiratoire et/ou orale, voire urinaire. La probabilité de cette émission existe dans des zones très localisées où *M. bovis* circule activement dans le système multihôtes

---

<sup>1</sup> Zone où l'infection à *M. bovis* circule de façon persistante dans le système multihôtes (bovins, faune sauvage, environnement) malgré les mesures de lutte mises en place (gestion des élevages, élimination locale des blaireaux...). Le « point noir » concerne le plus souvent l'échelle d'une ou plusieurs exploitations (bâtiments et pâtures), recouvrant une à quelques communes contiguës. On parlera alors de « circulation active ». Ces termes sont utilisés dans le cadre de cette saisine

domestique et sauvage (bovins, sangliers, blaireaux, cervidés), à l'échelle de l'élevage, et ne peut être estimée qu'au cas par cas. Elle résulte principalement de la capacité d'excrétion d'un individu et du nombre de renards infectés présents dans et autour de la ferme, probablement faible.

S'il est difficile de conclure sur la comparaison de l'excrétion bactérienne entre renards et blaireaux, la probabilité d'émission pourrait être un peu plus faible chez les renards, du fait de différences de dynamique de population aboutissant à une durée de vie et donc d'excrétion plus limitée, de contact intraspécifiques moins fréquents, ayant pour effet une transmission intraspécifique et une persistance dans la population plus faibles chez les renards que chez les blaireaux.

Le niveau d'incertitudes, liées aux connaissances actuellement limitées et au manque de recul sur l'infection à *M. bovis* chez les renards, conduit toutefois à considérer ces conclusions avec prudence.

### **3.3.2. Probabilité d'exposition des bovins**

L'exposition des bovins à *M. bovis* excrété par le renard dépend essentiellement du taux de contacts entre les bovins et les renards. Ces contacts sont principalement indirects, *via* la contamination de l'environnement par des excréments de renards infectés, en particulier les fèces.

Le renard est l'espèce sauvage réceptive à *M. bovis* la plus fréquemment observée dans les fermes, étant particulièrement attiré par les points d'alimentation, à la fois en pâture et dans les bâtiments, ainsi que par les réserves de fourrage utilisées comme abris. Des familles de renards peuvent s'installer dans des fermes et s'y reproduire.

L'exposition à *M. bovis* en bâtiment peut être plus importante pour les bovins (dépôt de déjections à proximité des bovins et de leurs aliments, persistance plus prolongée) que dans une pâture, d'où une infection éventuellement plus probable en bâtiment qu'en pâture.

Par conséquent, compte tenu de la variabilité des situations, la probabilité d'exposition des bovins aux renards ne peut être estimée qu'au cas par cas, en tenant compte de la situation épidémiologique des différents foyers identifiés, des éléments du paysage et des pratiques d'élevage, dont la biosécurité. Elle pourrait être plus élevée que l'exposition des bovins aux blaireaux dans certains endroits, du fait de la présence plus fréquente des renards dans les bâtiments d'élevage.

### **3.3.3. Probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* pour les bovins**

La probabilité de survenue de TB chez des bovins liée à une infection issue du renard n'est pas nulle même si, à ce jour, aucune transmission du renard vers le bovin n'a été démontrée. Cette probabilité ne peut pas être quantifiée en l'état actuel des connaissances. En tout état de cause, elle relève d'une estimation au cas par cas, en fonction de la présence de renards sur l'élevage, et de l'importance de l'interface avec les bovins (accessibilité aux bâtiments, mesures de biosécurité...).

Par rapport aux blaireaux, la probabilité d'émission de *M. bovis* semble moindre chez le renard, mais la probabilité d'exposition des bovins semble plus élevée. Il est cependant difficile d'aller au-delà et d'attribuer un poids plus important à l'une ou l'autre de ces probabilités, et donc de préciser si la probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* chez les bovins liée à une infection des renards est plus élevée ou plus faible que la probabilité de survenue de cette infection chez les bovins liée à une infection des blaireaux. Ce risque semble cependant plus localisé aux bâtiments pour le renard que pour le blaireau.

### 3.3.4. Conclusion

L'évaluation du risque de transmission de *M. bovis* des renards vers les bovins permet de conclure que le risque existe, localement, même si le manque de données actuel sur la TB chez les renards ne permet pas de le quantifier, ni de le caractériser plus précisément.

Les résultats de cette évaluation de risque, associés aux conclusions sur le rôle épidémiologique du renard, justifient ainsi que des mesures de gestion particulières soient mises en œuvre, dans les élevages des « points noirs » où des renards sont trouvés infectés, pour diminuer à la fois la probabilité d'émission (mesures de gestion du renard) et la probabilité d'exposition (mesures de biosécurité).

## 3.4. Mesures de gestion susceptibles de faire diminuer le risque de transmission de la TB des renards au cheptel bovin / du cheptel bovin aux renards / de constitution d'un réservoir

### 3.4.1. Mesures de surveillance et de lutte proposées

Ces mesures sont proposées en prenant en compte les données épidémiologiques et d'écologie du renard mentionnées ci-dessus.

- Principes généraux

Dans les départements où la TB n'a pas été détectée (correspondant au niveau 1 du dispositif Sylvatub), la surveillance est aujourd'hui basée sur la détection de lésions tuberculeuses sur les cadavres de sangliers, cervidés et blaireaux. Les renards infectés ne présentent que très rarement des lésions macroscopiques. En outre, au vu des arguments épidémiologiques développés précédemment (cas vulpins détectés uniquement dans des zones d'infection active multi-espèces, pas de rôle sentinelle ni d'hôte de maintien du renard), il n'apparaît pas pertinent de mettre en place des mesures chez les renards dans ces départements, ni d'intégrer le renard à la liste des espèces surveillées.

Dans les départements où la TB a été détectée chez les espèces domestiques et/ou sauvages (correspondant aux niveaux 2 et 3 du dispositif Sylvatub), plusieurs éléments sont à considérer : (i) dans la plupart des départements, le renard est abondamment chassé et piégé, (ii) le renard est capable de compenser rapidement les pertes démographiques, (iii) la fréquence des visites des exploitations, notamment des bâtiments d'élevage, où il existe des zones très attractives pour les renards, est indépendante des densités. Par conséquent, il n'apparaît pas nécessaire de mettre en œuvre une gestion par des réductions d'effectif des populations de renards à l'échelle des zones à risque (ZR) comme cela est fait pour les blaireaux, sangliers et cervidés.

Il conviendrait par contre d'exercer une surveillance et une élimination des renards à une échelle très locale, c'est-à-dire dans et à proximité immédiate des fermes infectées.

- Élimination de renards à l'échelle de l'élevage infecté

Dans une exploitation bovine infectée (en niveau 2 ou 3 de Sylvatub), parallèlement à la gestion des terriers de blaireaux, il conviendrait d'éliminer, de manière ciblée, les renards fréquentant les bâtiments et leur proximité immédiate, et de les analyser. Ceci aurait pour objectif d'éviter l'infection de renards auprès d'excréments de bovins infectés, d'éliminer une source de contamination pour les bovins et donc d'éviter la rémanence de l'infection tuberculeuse dans et autour des élevages infectés puis assainis. Si ces opérations révèlent l'infection d'un ou plusieurs renards, les efforts de chasse et de piégeage devraient être maintenus afin d'éviter la fréquentation du site d'exploitation par des renards et poursuivies tant que l'infection est détectée dans l'exploitation, quelle que soit l'espèce considérée. La mise en place de ces mesures relèverait du cas par cas, après analyse de la topologie de l'exploitation considérée (et le cas échéant d'exploitations voisines très proches) et du niveau de fréquentation du site par des renards.

Compte tenu des incertitudes liées aux données encore peu nombreuses sur la TB chez le renard, le GT souligne que ces préconisations pourraient être reconsidérées en fonction de l'évolution des connaissances et de la situation épidémiologique de la TB chez le renard.

- Ramassage et destruction de cadavres

Le ramassage et la destruction des cadavres de renards (éliminés ou morts naturellement) seraient à envisager de manière différenciée en fonction de l'échelle spatiale considérée.

- ✓ **Au sein de l'exploitation** (bâtiments et pâtures)

Les cadavres de renards devraient être ramassés et analysés.

- ✓ **A l'échelle d'un « point noir »**

Il conviendrait de réaliser le ramassage et la destruction systématiques de tout cadavre de renard mort naturellement, piégé, chassé ou prélevé pour quelque raison que ce soit (indépendamment de toute forme de surveillance). Cette mesure participe à l'élimination de toute source de contamination de l'environnement, au même titre que la collecte des viscères de sangliers et de cervidés. Afin d'évaluer le risque lié à ces cadavres dans ces « points noirs », l'analyse de tout ou partie des cadavres de renards ramassés serait souhaitable.

- ✓ **A plus large échelle (dans tout un département de niveau 3 ou dans une grande zone infectée)**

En l'état actuel des connaissances, le ramassage et, *a fortiori*, l'analyse des cadavres de renards n'apparaissent pas justifiés contrairement à celui des cadavres et des viscères de sangliers et de cervidés chassés, dont les domaines vitaux sont plus larges.

### 3.4.2. Mesures de biosécurité

Dans les exploitations qui se trouvent dans un « point noir », il est indispensable de compléter les mesures de lutte préconisées *supra* par un renforcement des mesures de biosécurité externe (protection de l'élevage vis-à-vis des risques de contamination venant de l'extérieur). Ces mesures de biosécurité visent à limiter, voire empêcher les contacts contaminants entre les renards et les bovins dans les bâtiments et sur les points d'alimentation et d'abreuvement, soit en empêchant leur accès aux renards, soit en limitant leur attractivité, ou encore en réduisant la contamination de l'environnement ou des infrastructures partagées.

*A priori*, la plupart des mesures de biosécurité déjà mises en place vis-à-vis du blaireau sont applicables au renard. Il est important que les bâtiments d'élevage et, plus spécifiquement les réserves d'aliments, soient protégés contre l'intrusion des renards (par des portes, des clôtures électriques...).

Il convient également de maintenir, voire de renforcer les mesures de lutte contre les micromammifères, notamment dans et autour des points d'alimentation, afin de rompre la chaîne alimentaire point d'alimentation / micromammifère / renard.

Afin de réduire la contamination de l'environnement par *M. bovis*, il faudrait, dans la mesure du possible, éliminer les déjections de renards sur les points d'alimentation, les ensilages, ainsi que dans les zones de marquage préférentielles pour les renards.

Il faut également être attentif à la présence de portées de renardeaux dans ou à proximité directe des bâtiments ou stocks de foin.

La présence de chiens dans l'exploitation aura également un effet dissuasif sur sa fréquentation par des renards.



### 3.5. Incertitudes

Les incertitudes liées aux réponses aux questions de la saisine sont principalement associées aux connaissances scientifiques actuellement limitées sur l'infection à *M. bovis* chez le renard, aux données épidémiologiques peu nombreuses chez le renard en France, et au faible nombre de publications scientifiques sur ce sujet rarement étudié en France comme à l'étranger. Ces connaissances limitées résultent de la détection très récente de cas d'infection à *M. bovis* chez le renard. Les principales incertitudes sont détaillées dans le chapitre 6 du rapport associé au présent Avis.

Ces incertitudes conduisent à considérer les conclusions sur le rôle épidémiologique du renard et sur les mesures de surveillance et de gestion proposées avec la prudence requise. A ce titre, le GT a souligné que ses conclusions pourraient être reconsidérées à la lumière de connaissances futures et de l'évolution de la situation sanitaire de la TB dans le système multihôtes en France.

### 3.6. Conclusions et recommandations du groupe de travail

#### 3.6.1. Conclusions - réponses aux questions

##### 3.6.1.1 « Quel est le risque de transmission de la TB aux élevages de bovins par des renards compte tenu des éléments actuellement connus ? Quel est le risque de création d'un réservoir de la maladie dans la faune sauvage en intégrant le rôle joué par cette espèce ? »

Concernant le risque de transmission des renards aux bovins, un renard peut s'infecter, puis excréter *M. bovis*, bien que présentant très peu ou pas de lésions macroscopiques. L'évaluation de risque conduite par le GT a permis de conclure que le risque existait, localement, sans pouvoir le quantifier réellement, ni le caractériser pleinement, du fait du manque de données actuelles sur la TB chez les renards. Par rapport aux blaireaux, la probabilité d'émission de *M. bovis* semble moindre chez le renard, mais la probabilité d'exposition des bovins semble localement plus élevée. Il est cependant difficile d'aller au-delà et de préciser si la probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* chez les bovins, liée à une infection des renards est plus élevée ou plus faible que la probabilité de survenue de cette infection chez les bovins liée à une infection des blaireaux.

A l'issue de l'analyse, le renard n'apparaît pas comme un hôte de maintien, c'est-à-dire ne constitue pas à lui seul un réservoir de *M. bovis*. La présence de renards infectés ne constitue donc pas un risque majeur de création d'un réservoir dans la faune sauvage. Il pourrait néanmoins apporter une contribution à la circulation de *M. bovis* dans le système multihôtes, mais sans doute moindre que les autres hôtes sauvages (sangliers, blaireaux). Il jouerait alors un rôle d'hôte de liaison dans des zones de circulation active de l'infection chez les bovins et dans la faune sauvage, notamment très localement autour des fermes infectées.

Du fait de son comportement social, alimentaire et de sa dynamique de population (dynamique populationnelle rapide, espèce largement chassée, durée de vie courte), le renard semble moins apte à faire persister localement l'infection que le blaireau.

##### 3.6.1.2 « Quelles mesures de gestion (contrôle des densités de renard par la chasse, ramassage des cadavres, etc.) seraient susceptibles de faire diminuer ce risque ? »

Le rôle épidémiologique du renard et les résultats de l'évaluation de risque justifient la mise en place de mesures de gestion suivantes :

- En niveau 1 de Sylvatub, de par sa moindre réceptivité et son incapacité à maintenir l'infection sur le long-terme, le renard apparaît comme une moins bonne sentinelle épidémiologique que le sanglier ou le blaireau. Par conséquent, les experts ne recommandent pas de surveillance ni de mesure pour les renards.

- En niveaux 2 et 3 de Sylvatub, en l'état actuel des connaissances, les mesures de gestion locale suivantes pourraient être mises en place au cas par cas, après évaluation de chaque situation :
  - Dans une exploitation bovine infectée, il conviendrait d'éliminer, de manière ciblée, les renards fréquentant les bâtiments et leur proximité immédiate, et de les analyser. Tout cadavre de renard devrait également être ramassé pour être analysé.
  - Dans les « points noirs », il conviendrait de ramasser et éliminer tout cadavre de renard, du fait du risque de contamination de l'environnement par ces cadavres. En fonction de leur nombre, tout ou partie de ces renards devrait être analysé.

Il conviendrait de renforcer les mesures de biosécurité dans les exploitations, des points noirs notamment protéger les bâtiments d'élevage (réserves d'aliments) contre l'intrusion des renards, renforcer les mesures de lutte contre les micromammifères, éliminer les déjections de renards sur les points d'alimentation, être attentif à la présence de portées de renardeaux ou recourir à la présence de chiens.

- A large échelle (dans tout un département ou dans toute une large zone infectée), actuellement, le ramassage, et a fortiori l'analyse, des cadavres de renards n'apparaît pas justifié.

Les experts soulignent qu'en dehors des exploitations infectées, le ramassage de cadavres ne signifie pas qu'il faut abattre davantage de renards, espèce déjà largement chassée. Il n'y a pas de justification à abattre des renards pour baisser les densités, du fait du comportement et de la dynamique de population de renards (renouvellement rapide) qui conduiront à une compensation très rapide des populations.

**En particulier, en dehors des exploitations infectées, et a fortiori des zones infectées de tuberculose bovine, l'élimination préventive des renards ne peut en aucun cas être justifiée au motif de la lutte contre la tuberculose bovine.**

Compte tenu du manque de recul et de connaissances sur la TB chez le renard par rapport aux autres espèces et des incertitudes qui y sont associées, les préconisations du rapport pourront être modulées en fonction de l'évolution des connaissances. Ce besoin de connaissances a également amené le GT à formuler les recommandations ci-dessous.

### 3.6.2. Recommandations

Des besoins de recherches sont ressortis pour répondre aux principales incertitudes liées aux connaissances scientifiques actuellement limitées sur l'infection à *M. bovis* chez le renard, et aux données épidémiologiques peu nombreuses en France comparées à d'autres espèces comme le blaireau ou le sanglier, et confirmer certaines hypothèses faites dans ce rapport. Il conviendrait ainsi :

- D'analyser l'association spatiale entre bovins infectés et renards infectés au sein des points noirs afin de mieux circonscrire la zone de gestion de cette espèce,
- De confirmer les hypothèses concernant le sens de transmission entre renards et autres espèces par l'isolement et l'analyse phylogénétique systématiques des souches de renards trouvés infectés et par phylodynamie,
- Concernant les sources de contamination pour les renards,
  - D'étudier les comportements de nécrophagie au sein du système multihôtes (cadavres de renards, de sangliers...),
  - De documenter la fréquentation des terriers de blaireaux, et dans quelle mesure ces terriers de blaireaux constituent une source de contamination pour les renards,

- D'affiner les connaissances sur la fréquentation d'élevages par les renards, notamment par des études cas/témoins (élevages infectés vs élevages témoin/ biosécurité) et de vidéosurveillance,
- Concernant l'infection par *M. bovis* chez le renard et au sein des populations de renards, d'acquérir ou affiner les connaissances sur :
  - La durée et le niveau d'excrétion par les voies fécale et urinaire, ainsi que son intermittence éventuelle, et sur la possibilité d'excrétion par voie respiratoire,
  - L'agrégation spatiale de l'infection dans une population de renards,
  - La sensibilité à *M. bovis* des jeunes renards et leur rôle épidémiologique par rapport celui des adultes.

#### **4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE**

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations du GT « Tuberculose bovine et Renard ».

A l'instar des précédentes saisines relatives à la TB dans la faune sauvage, l'Agence rappelle que l'infection à *Mycobacterium bovis* s'inscrit dans un système multihôtes complexe impliquant l'Homme, plusieurs espèces animales domestiques et sauvages, ainsi que l'environnement. La gestion de la TB impose à ce titre la prise en compte globale de ce système multihôtes s'inscrivant dans une même approche « One Health ».

En France, l'infection à *M. bovis* a été récemment détectée chez le renard. Actuellement, les données disponibles sur l'infection à *M. bovis* dans cette espèce sont limitées, que ce soient les connaissances scientifiques, les données épidémiologiques ou les publications scientifiques sur ce sujet, rarement étudié en France comme à l'étranger. A ce titre, le GT a souligné les incertitudes associées à ce manque de connaissances. Ses conclusions pourraient ainsi être reconsidérées à la lumière de connaissances futures et de l'évolution de la situation sanitaire de la TB dans le système multihôtes en France.

Pour autant, en l'état actuel des connaissances, le renard n'apparaît pas comme un hôte de maintien de l'infection à *M. bovis*. La présence de renards infectés ne constitue donc pas un risque majeur de création d'un réservoir dans la faune sauvage. Le renard semble pouvoir apporter une contribution à la circulation de *M. bovis* dans le système multihôtes, mais sans doute moindre que les autres hôtes sauvages (sangliers, blaireaux). Il jouerait alors un rôle d'hôte de liaison dans des zones de circulation active de l'infection chez les bovins et dans la faune sauvage, notamment très localement autour des fermes infectées. Par conséquent, des mesures de gestion ne seraient à considérer, après examen au cas par cas, que dans ces zones. Dans ce contexte de mesures très localisées, les experts ont souligné que l'élimination préventive des renards n'apparaît en aucun cas justifiée au motif de la lutte contre la tuberculose bovine.

Dr Roger Genet

## MOTS-CLES

Tuberculose bovine, *Mycobacterium bovis*, renard, *Vulpes vulpes*, rôle épidémiologique, transmission

Bovine tuberculosis, *Mycobacterium bovis*, fox, *Vulpes vulpes*, epidemiological role, transmission

---

**Demande d'évaluation  
du rôle épidémiologique du renard  
dans la transmission de la tuberculose bovine**

---

**Saisine « 2018-SA-0179, TB renard »  
Saisines liées « 2016-SA-0200 » et « 2010-SA-0154 »**

**RAPPORT  
d'expertise collective**

**« CES SABA »**

**« GT Tuberculose bovine et Renard »**

**Décembre 2020**



### Citation suggérée

---

Anses (2020) Demande d'évaluation du rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine (saisine 2018-SA-0179). Maisons-Alfort : Anses, 90 p.

### Mots clés

---

Tuberculose bovine, *Mycobacterium bovis*, renard, *Vulpes vulpes*, rôle épidémiologique, transmission

Bovine tuberculosis, *Mycobacterium bovis*, fox, *Vulpes vulpes*, epidemiological role, transmission

## Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE :** Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Présidente

Mme Ariane PAYNE – Administratrice réseaux – Unité Sanitaire de la Faune - OFB + Tuberculose bovine (TB) dans la faune sauvage et chez les bovins

#### Membres

Mme Maria-Laura BOSCHIROLI – Responsable LNR Tuberculose animale - Anses + Coordination du diagnostic et du dépistage de tuberculose animale, toutes espèces animales

M. Benoît DURAND – Epidémiologiste - Anses + Epidémiologie, modélisation, notamment de la TB (dont bovins et blaireaux)

M. Claude FISCHER – Professeur - HESGE + Suivi et gestion des mammifères sauvages, notamment écologie du Blaireau et du Renard.

Mme Emmanuelle GILOT-FROMONT – Professeur - VetAgro Sup + Faune sauvage, immunologie, infectiologie, épidémiologie, modélisation

M. Jean HARS – Retraité ONCFS, ancien responsable de la surveillance de l'interface faune sauvage/animaux d'élevage + Suivi TB depuis 2001 dans la faune sauvage

Mme Céline RICHOMME – Epidémiologiste - Anses + Ecoépidémiologie, en particulier de la TB dans la faune sauvage

Mme Sandrine RUETTE – Chef de projet – Unité prédateurs animaux déprédateurs - OFB, notamment écologie du Blaireau et du Renard.

### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES SABA – Date(s)

#### Président

M. Gilles MEYER – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - Virologie, immunologie, vaccinologie, maladies des ruminants

#### Membres

Mme Catherine BELLOC – Professeur, Oniris - Ecole Vétérinaire de Nantes - Infectiologie, approche intégrée de la santé animale, maladies des monogastriques.

M. Stéphane BERTAGNOLI – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - Virologie, immunologie, vaccination, maladies des lagomorphes.

M. Alain BOISSY – Directeur de Recherche INRA Clermont-Ferrand – Theix - Bien-être animal

M. Henri-Jean BOULOUIS – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort - Bactériologie, diagnostic de laboratoire, immunologie, vaccinologie

M. Eric COLLIN – Vétérinaire libéral - médecine vétérinaire, médicament vétérinaire, maladies vectorielles, maladies à prion, épidémiologie, maladies des ruminants.

M. Jean-Claude DESFONTIS – Professeur Oniris - Ecole Vétérinaire de Nantes – Physiologie animale, bien-être animal, médicament vétérinaire

Mme Maria-Eleni FILIPPITZI – Vétérinaire épidémiologiste, SCIENSANO (B) – épidémiologie quantitative, évaluation de risque.

M. David FRETIN – Chef du service zoonoses bactériennes des animaux de rente. SCIENSANO (B) - Bactériologie, zoonoses, diagnostic de laboratoire

Mme Emmanuelle GILOT-FROMONT – Professeur, VetAgro Sup – Campus vétérinaire de Lyon – Epidémiologie quantitative, évaluation de risque, interface faune sauvage-animaux domestiques, maladies réglementées.

M. Etienne GIRAUD – Chargé de recherche, INRA Toulouse – Bactériologie, antibiorésistance, maladies des poissons.

M. Lionel GRISOT – Vétérinaire libéral - Médecine vétérinaire, médicament vétérinaire, maladies des ruminants.

Mme Nadia HADDAD – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort - Infectiologie, maladies réglementées, zoonoses.

Mme Viviane HENAU – Chargée d'activités de recherche, Anses Lyon – Epidémiologie quantitative, évaluation de risque.

Mme Elsa JOURDAIN – Chargée de recherche, INRA Clermont-Ferrand - Theix - Zoonoses, épidémiologie, interface faune sauvage-animaux domestiques.

Mme Sophie LE BOUQUIN – LE NEVEU – Cheffe d'Unité Adjointe, Unité Epidémiologie, Santé et Bien-Etre, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort - Epidémiologie, évaluation de risque, approche intégrée de la santé animale

Mme Sophie LE PODER – Maître de conférences, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort - virologie, immunologie, vaccinologie

Mme Elodie MONCHATRE-LEROY – Directrice du Laboratoire de la rage et de la faune sauvage, Anses Nancy - Virologie, épidémiologie, évaluation de risques, faune sauvage

Mme Monique L'HOSTIS – Retraitée, Oniris - Ecole Vétérinaire de Nantes – Parasitologie, santé des abeilles.

M. François MEURENS – Professeur, Oniris - Ecole Vétérinaire de Nantes - Virologie, immunologie, vaccinologie, pathologie porcine.

Mme Virginie MICHEL – Coordinatrice Nationale Bien-être Animal - Anses - Bien-être animal approche intégrée de la santé animale, épidémiologie, évaluation de risque.

M. Pierre MORMEDE – Directeur de recherche émérite INRA - Bien-être animal, stress.

M. Hervé MORVAN – Chef de service du laboratoire de bactériologie vétérinaire, Labocéa 22 - Bactériologie, diagnostic de laboratoire.

Mme Carine PARAUD – Chargée de projet de recherche en parasitologie, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort – Parasitologie, maladies des ruminants.

Mme Ariane PAYNE – Administratrice réseaux – Unité Sanitaire de la Faune - OFB - Epidémiologie, évaluation de risque, interface faune sauvage-animaux domestiques.

M. Michel PEPIN – Professeur, VetAgro Sup – Campus vétérinaire de Lyon – Infectiologie, immunologie, vaccinologie, maladies des ruminants.

Mme Carole PEROZ – Maître de conférences, Oniris Ecole Vétérinaire de Nantes - Infectiologie, maladies réglementées, approche intégrée de la santé animale.

Mme Claire PONSART – Chef de l'unité des zoonoses bactériennes, Laboratoire de Santé Animale, Anses Maisons-Alfort - Bactériologie, zoonoses, diagnostic de laboratoire.

M. Claude SAEGERMAN – Professeur, Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège - Epidémiologie, évaluation de risque.

Mme Gaëlle SIMON – Cheffe d'Unité Adjointe, Unité Virologie Immunologie Porcines, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort - Virologie, immunologie, maladies des monogastriques.

M. Jean-Pierre VAILLANCOURT – Professeur, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal - Epidémiologie, biosécurité, zoonose, évaluation de risque.

---

#### **RELECTURE DU RAPPORT PAR DES PERSONNALITES EXTERIEURES**

---

Mme Barbara DUFOUR – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort - Epidémiologie, maladies réglementées, zoonoses.

---

#### **PARTICIPATION ANSES**

---

##### **Coordination scientifique**

Mme Catherine COLLIGNON – Chef de projet scientifique – Anses Direction de l'évaluation des risques (DER), Unité d'évaluation des risques liés à la santé, à l'alimentation et au bien-être des animaux (UERSABA)

Mme Charlotte DUNOYER – chef d'unité – Anses DER, UERSABA

##### **Secrétariat administratif**

M. Régis MOLINET – Anses

Mme Isabelle PIERI – Anses

---

#### **AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES**

---

##### **Direction Générale de l'Alimentation – DGAL, Bureau de la Santé animale**

M. Fabrice CHEVALIER – Référent national Tuberculose bovine

##### **Office Français de la Biodiversité – OFB**

Mme Stéphanie DESVAUX – Animatrice Sylvatub

**Service Régional de l'Alimentation - DRAAF Nouvelle-Aquitaine - Unité Actions sanitaires vétérinaires**

M. Edouard REVEILLAUD – Épidémiologiste régional Santé animale

**Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario - SERIDA**

Mme Ana BALSEIRO – Chercheur (par voie télématique)

**University College Dublin**

M. Eamonn GORMLEY – Professeur d'immunologie vétérinaire (par voie télématique)



## SOMMAIRE

Présentation des intervenants .....	3
Sigles et abréviations .....	10
Glossaire .....	11
Liste des tableaux.....	13
Liste des figures .....	13
<b>1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Contexte.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objet de la saisine.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts. ....</b>	<b>16</b>
<b>2 Données disponibles d'écologie et d'infection du renard (<i>Vulpes vulpes</i>). 17</b>	
<b>2.1 Traits d'écologie du renard .....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Comportement social et territorial .....	17
2.1.1.1 Organisation socio-spatiale .....	17
2.1.1.2 Comportement de marquage.....	18
2.1.1.3 Contacts directs intraspécifiques.....	18
2.1.1.4 Dispersion .....	19
2.1.2 Alimentation .....	19
2.1.3 Reproduction et dynamique des populations.....	20
2.1.3.1 Reproduction .....	20
2.1.3.2 Survie et modélisation en dynamique des populations.....	21
2.1.3.3 Structure d'âge des populations .....	22
2.1.4 Les prélèvements exercés sur les populations et leur impact.....	23
2.1.4.1 Estimation des prélèvements exercés sur l'espèce en France.....	23
2.1.4.2 Comprendre l'impact des prélèvements sur les populations .....	24
2.1.5 Densités et évolutions des populations .....	25
2.1.5.1 Evolutions et gammes de densités en Europe de l'Ouest depuis les années 1990.....	25
2.1.5.2 Les principaux facteurs de variations des densités de renards (hors impacts des prélèvements par l'Homme).....	27
2.1.5.3 Suivis et densités de renards en France .....	28
2.1.6 Interactions avec les bovins et les autres espèces sauvages sensibles à <i>M. bovis</i> .....	29
2.1.6.1 Interactions avec les bovins .....	29
2.1.6.2 Interactions avec les autres espèces sauvages sensibles à <i>M. bovis</i> .....	30
2.1.7 Conclusion .....	30
<b>2.2 Données d'infection par <i>M. bovis</i> chez le renard roux (<i>Vulpes vulpes</i>) .....</b>	<b>31</b>
2.2.1 Préambule : méthodes de dépistage et de diagnostic de l'infection à <i>M. bovis</i> chez les renards .....	31
2.2.2 Données bibliographiques d'infection .....	32
2.2.2.1 Aux Etats-Unis d'Amérique.....	32
2.2.2.2 Au Canada .....	32
2.2.2.3 En Europe (hors France).....	33
2.2.3 Données épidémiologiques en France .....	35
2.2.3.1 Etudes de prévalence entre 2001 et 2015.....	35
2.2.3.2 Etudes de prévalence récentes (2016-2019) .....	37
2.2.3.3 Etude de la localisation de l'infection chez le renard et de l'excrétion de <i>M. bovis</i> .....	39
2.2.3.3.1 Données obtenues en milieu naturel.....	39
2.2.3.3.2 Données de l'étude expérimentale .....	40

2.2.3.4	Séquençage des génomes de souches de <i>M. bovis</i> isolées chez des renards et analyse phylogénétique ..	42
2.2.3.4.1	<i>Choix de la zone et sélection des souches</i> .....	42
2.2.3.4.2	<i>Analyse phylogénétique</i> .....	43
2.2.3.4.3	<i>Inférence phylogénétique</i> .....	46
2.2.4	Synthèse sur les données d'infection par <i>M. bovis</i> chez les renards .....	48
<b>3</b>	<b>Rôle épidémiologique du renard dans la TB.....</b>	<b>50</b>
3.1	<b>Circulation de <i>Mycobacterium bovis</i>, un système multihôtes domestique et sauvage.....</b>	<b>50</b>
3.2	<b>Place du renard dans le système multihôtes .....</b>	<b>51</b>
3.2.1	Réceptivité et sensibilité des renards .....	51
3.2.2	Transmission interspécifique .....	51
3.2.3	Transmission intraspécifique .....	53
3.3	<b>Conclusion sur le rôle épidémiologique du renard dans le système multihôtes .....</b>	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>Evaluation du risque de transmission de <i>M. bovis</i> des renards vers les bovins.....</b>	<b>54</b>
4.1	Probabilité d'émission de <i>M. bovis</i> par les renards.....	55
4.2	Probabilité d'exposition des bovins .....	56
4.3	Probabilité de survenue de l'infection à <i>M. bovis</i> pour les bovins .....	57
4.4	Conclusion.....	57
<b>5</b>	<b>Mesures de gestion susceptibles de faire diminuer le risque de transmission de la TB des renards au cheptel bovin/ du cheptel bovin aux renards / de constitution d'un réservoir .....</b>	<b>58</b>
5.1	Dispositif de surveillance de la TB chez les animaux sauvages : Sylvatub.....	58
5.2	Surveillance et lutte chez le renard.....	60
5.2.1	Rappel des éléments épidémiologiques pris en compte pour proposer des mesures de surveillance et de lutte .....	60
5.2.2	Mesures de surveillance et de lutte proposées .....	61
5.2.2.1	Principes généraux.....	61
5.2.2.2	Élimination de renards à l'échelle de l'élevage infecté .....	61
5.2.2.3	Ramassage et destruction de cadavres .....	61
5.3	Mesures de biosécurité.....	62
<b>6</b>	<b>Incertitudes .....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Conclusions et recommandations du groupe de travail.....</b>	<b>64</b>
7.1	Conclusions - réponses aux questions .....	64
7.1.1	« Quel est le risque de transmission de la TB aux élevages de bovins par des renards compte tenu des éléments actuellement connus ? Quel est le risque de création d'un réservoir de la maladie dans la faune sauvage en intégrant le rôle joué par cette espèce ? » .....	64
7.1.2	« Quelles mesures de gestion (contrôle des densités de renard par la chasse, ramassage des cadavres, etc.) seraient susceptibles de faire diminuer ce risque ? » .....	64
7.2	Recommandations .....	65

<b>8</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>66</b>
8.1	Publications.....	66
8.2	Normes.....	74
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>75</b>
	Annexe 1 : Lettre de saisine.....	76
	Annexe 2 : Protocole et résultats de l'étude 1 en Dordogne .....	78
	Annexe 3 : Protocole et résultats de l'étude 2 en zone infectée nord Dordogne .....	84
	Annexe 4 : Etude 3 sur la prévalence de <i>M. bovis</i> chez les renards en zones infectées de Charente, des Landes et de Côte d'Or.....	85
	Annexe 5 : Etude 5 : étude expérimentale de l'infection par <i>M. bovis</i> chez le Renard roux.....	88
	Annexe 6 : Méthodes d'estimation des comptages de renards.....	90
	Annexe 7 : Rappels de la réglementation sur les autorisations de prélèvements de renards en France .....	91

## Sigles et abréviations

ADN	Acide désoxyribonucléique
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
DDCSPP	Direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations
DDT(M)	Direction Départementale des Territoires (et de la Mer)
DGAL	Direction Générale de l'Alimentation
DRAAF	Direction Régionale de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt
FDC	Fédération départementale des chasseurs
FNC	Fédération Nationale des Chasseurs
GDS	Groupement de Défense Sanitaire
IC	Intervalle de confiance
IKA	Indice kilométrique d'abondance
MLVA	<i>Multiple Loci VNTR Analysis</i>
MTBC	<i>Mycobacterium tuberculosis Complex</i>
LDAR	Laboratoire Départemental d'Analyse et de Recherche
LNR	Laboratoire National de Référence
NL	Nœud lymphatique
OFB	Office Français de la Biodiversité
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
PCR	<i>Polymérase Chain Reaction</i>
RFSA	Réseau Français pour la Santé Animale
TB	Tuberculose bovine
VNTR	<i>Variable number tandem repeats</i>

## Glossaire

<b>Biosécurité</b>	Ensemble de mesures visant à limiter le risque d'introduction, de circulation et de transmission d'agents pathogènes
<b>Enzootie</b>	Forme épidémiologique d'une maladie animale caractérisée par une incidence stable
<b>Epidémiologie</b>	Etude des maladies et des facteurs de santé dans une population
<b>Génotype</b>	Partie donnée de l'information génétique d'un individu. Le génotype peut être défini sur la base d'une ou de plusieurs méthodes en caractérisant une ou plusieurs régions génomiques (ou <i>loci</i> ) différentes
<b>Génotypage</b>	Discipline qui vise à déterminer l'identité d'une variation génétique, à une position spécifique sur tout ou partie du génome, pour un individu ou un groupe d'individus donné appartenant à une espèce
<b>Hôte de liaison</b>	Hôte incapable, sans source contaminante extérieure à la population, de maintenir une infection de manière pérenne au sein de la population d'individus de la même espèce, mais toutefois capable de transmettre l'infection à une autre population. Même si, à terme, en l'absence de source extérieure, l'infection disparaît dans une population d'hôtes dits de liaison, cette population peut toutefois servir de source d'infection et, le cas échéant, d'amplificateur pour d'autres populations, tout le temps au cours duquel l'infection persiste dans la population ( <i>spillover host</i> )
<b>Hôte de maintien</b>	Hôte capable de maintenir une infection entre individus de la même espèce au sein d'une même population, sans source extérieure, et de la transmettre à d'autres espèces réceptives ( <i>maintenance host</i> )
<b>Incidence</b>	Nombre de cas ou de foyers nouveaux d'une maladie dans une population déterminée, au cours d'une période donnée
<b>Isolat</b>	Un isolat bactérien est obtenu en le séparant – en mycobactériologie par des moyens de culture bactériologique - de son environnement naturel, par exemple le tissu de l'animal qu'il infecte
<b>Interface</b>	Environnement partagé par différentes populations hôtes dans lequel ces populations peuvent être en contact direct ou indirect (passages successifs sur le même site dans un intervalle de temps donné)
<b>Mésoprédateurs</b>	Prédateurs de taille moyenne (renard, martre, fouine, chat, raton laveur...) qui se trouve au milieu de la chaîne trophique, prédatant généralement des petits animaux (petits rongeurs). Ils peuvent être prédatés par les superprédateurs, grands prédateurs en haut de la chaîne trophique (loup, lynx, grands rapaces)
<b>« Point noir »</b>	Zone où l'infection à <i>M. bovis</i> circule de façon persistante dans le système multihôtes (bovins, faune sauvage, environnement) malgré les mesures de lutte mises en place (gestion des élevages, élimination locale des blaireaux...). Le « point noir » concerne le plus souvent l'échelle d'une ou plusieurs exploitations (bâtiments et pâtures), recouvrant une à quelques communes contiguës. On parlera alors de « circulation active ». Ces termes sont utilisés dans le cadre de cette saisine
<b>Population exploitée</b>	Population subissant les prélèvements définis ci-dessous

<b>Prélèvement</b>	Terme faisant référence à l'élimination d'individus, quel que soit le mode de chasse (tir) ou de destruction (piégeage, déterrage) utilisé, et le cadre réglementaire l'autorisant
<b>Prévalence</b>	Nombre total de cas (ou de foyers) pendant une période ou à un instant donné rapporté au nombre de sujets (ou de cheptels) de la population (sans distinction entre cas ou foyers anciens ou nouveaux)
<b>Prévalence apparente</b>	Prévalence estimée à partir d'un échantillon de la population, sans tenir compte des corrections à apporter (par exemple pour la performance des tests diagnostiques ou les biais d'échantillonnage)
<b>Réceptivité</b>	Aptitude d'un organisme à héberger un agent pathogène, à en permettre le développement ou la multiplication, sans forcément en souffrir
<b>Régulation</b>	Ce terme est employé au sens de diminution de l'abondance des populations dans le cadre de mesures de gestion sanitaire
<b>Sensibilité (à un agent pathogène)</b>	Aptitude d'un organisme à exprimer cliniquement la maladie après un contact avec un agent pathogène
<b>Souche</b>	Isolat différenciable d'un autre isolat par rapport à un trait phénotypique ou génotypique
<b>Spoligotypage</b>	Méthode de génotypage, utilisée pour les mycobactéries appartenant au complexe de <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , basée sur la caractérisation des polymorphismes de la région DR – CRISPR ( <i>Direct Repeat - Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats</i> )

## Liste des tableaux

Tableau 1 Estimations nationales des prélèvements de renards à travers différentes enquêtes (Albaret, Ruette et Guinot-Ghestem 2014, Aubry <i>et al.</i> 2016) .....	23
Tableau 2 Estimations des prélèvements de renards par chasse (Aubry <i>et al.</i> 2016) (et destruction (Albaret, Ruette et Guinot-Ghestem 2014) dans les départements où <i>M. bovis</i> a été détecté chez des espèces sauvages .....	24
Tableau 3 Estimations de densités dans différents pays d'Europe de l'Ouest entre 1996 et 2016 (hors milieux urbains) .....	26
Tableau 4 Données bibliographiques d'infection et d'exposition à <i>M. bovis</i> chez le renard roux en Europe .	34
Tableau 5 Résultats de l'étude de l'infection chez les renards en zones infectées de trois départements de la région Nouvelle Aquitaine et en zone infectée de Côte d'Or (issus de Richomme <i>et al.</i> (2020)) .....	38
Tableau 6 Résultats de la détection de <i>M. bovis</i> dans différents tissus de renards trouvés infectés en Nouvelle-Aquitaine (issus de Richomme <i>et al.</i> (2020)) .....	40
Tableau 7 Panel de souches étudiées entre 2001 et 2017 .....	43
Tableau 8 Taux de prévalence chez les renards, blaireaux et sangliers dans les zones étudiées des zones infectées de trois départements de la région Nouvelle Aquitaine et en zone infectée de Côte d'Or (source : Richomme <i>et al.</i> (2020)) .....	50
Tableau 9 Types et modalités de surveillance appliquées à l'échelle départementale ou au sein de zones délimitées en fonction des niveaux de surveillance prédéfinis .....	59
Tableau 10 Résultats des analyses des NL et des excréta des renards trouvés infectés par <i>M. bovis</i> en 2017-2018 lors d'étude 1a en Dordogne .....	82
Tableau 11 Caractéristiques individuelles et résultats de culture bactérienne (cellule orange si positive) et de PCR (texte en rouge si positive) en fonction des matrices analysées pour les 12 renards trouvés infectés lors de l'étude 1b en Dordogne .....	83
Tableau 12 Résultats de l'étude de l'infection chez les renards en zone infectée de Charente, des Landes et de Côte d'Or (issus de Richomme <i>et al.</i> (2020)) .....	85

## Liste des figures

Figure 1 Structure d'âge dans les prélèvements de sites bretons et champenois (d'après Lieury (2015)) ....	22
Figure 2 a- Répartition des territoires suivis et b- Évolution moyenne de l'IKA prédit par le modèle linéaire généralisé mixte retenu pour un parcours de 41 km (valeur médiane sur les 166 territoires) en fonction de la superficie du territoire.....	28
Figure 3 Distribution du nombre moyen de visites par nuit et par session (barres d'erreur : écart-type à la moyenne) par espèce sensible à <i>M. bovis</i> observées en élevage (pâtures et bâtiments) par vidéosurveillance en Côte d'Or (Payne 2014) .....	30
Figure 4 Répartition géographique des renards prélevés pour analyse et des renards infectés par <i>M. bovis</i> en Côte-d'Or entre 2005 et 2014 (source des données : DDCSPP21) .....	36
Figure 5 Répartition géographique des renards prélevés pour analyse lors de l'enquête menée en Dordogne en 2010 et 2011 (n = 28) (source des données : DDCSPP24) .....	37

Figure 6 Répartition géographique des renards prélevés pour analyse en Dordogne entre 2012 et 2015 (source des données : DDCSPP24) .....	37
Figure 7 Evolution du nombre de foyers bovins dans les zones de provenance des renards analysés lors de l'étude 1a en Dordogne et l'étude 3 en Charente, Landes et Côte d'or .....	39
Figure 8 Localisation de la zone d'étude et des individus domestiques et sauvages qui y ont été détectés infectés par une souche de <i>M. bovis</i> du génotype étudié entre 2001 et 2017 .....	43
Figure 9 Arbre phylogénétique maximisant la parcimonie des 300 souches de <i>M. bovis</i> . Les différentes couleurs désignent l'espèce animale (1 <sup>er</sup> arbre) et les années de collecte (2 <sup>ème</sup> arbre) Logiciel Bionumerics version 7.2 (Applied Maths) .....	45
Figure 10 Arbre phylogénétique des 300 souches de <i>M. bovis</i> .....	46
Figure 11 Arbre du maximum de vraisemblance réalisé avec le logiciel BEAST et mis en forme avec le logiciel Figtree. Chaque rond à l'extrémité d'une branche représente une souche, coloré en fonction de l'espèce animale chez laquelle la souche a été isolée. A chaque nœud de l'arbre, l'espèce animale la plus probable comme source d'infection est identifiée avec le même code couleur.....	47
Figure 12 Carte synthétique représentant les niveaux de surveillance départementaux du dispositif Sylvatub, mise à jour au vu des résultats de surveillance en 2019/2020 (source : Plateforme ESA).....	60
Figure 13 Zone d'étude définie en 2017 en Dordogne lors de la première partie de l'étude pour estimer le taux d'infection chez les renards.....	78
Figure 14 Répartition temporelle des renards prélevés au cours de l'étude 1a en fonction de l'âge estimé..	79
Figure 15 Répartition temporelle des modes de prélèvements obtenus lors de l'étude 1a en Dordogne (pour les 184 renards pour lesquels le mode de prélèvement était renseigné).....	80
Figure 16 Répartition des renards prélevés (rond noir) et infectés par <i>M. bovis</i> (étoile rouge) ou non (rond noir) dans la zone d'étude (communes grises) de l'étude Dordogne 1a .....	81
Figure 17 Répartition des renards analysés (positionnés au centres des communes) et trouvés positifs à <i>Mycobacterium bovis</i> lors de l'étude 2 en Dordogne en 2018 et 2019 .....	84
Figure 18 Zone d'étude sélectionnée en Côte d'Or pour l'analyse des renards lors de l'étude 3 (en violet)..	86
Figure 19 Répartition des renards analysés (n=146) lors de l'étude 3 en 2019 et 2020 en Côte d'Or (en bleu ; rond proportionnel au nombre, indiqué en blanc lorsque supérieur ou égal à 3 et positionné au centre des communes). En gris, communes incluses initialement dans l'étude.....	86
Figure 20 Répartition des renards analysés (rond noirs, n = 140) et positifs à <i>Mycobacterium bovis</i> (étoiles rouges, n = 7) (positionnés au centres des communes sur la carte) lors de l'étude 3 en 2018 et 2019 dans les Landes .....	87
Figure 21 Répartition des renards analysés (ronds noirs, n=98) et positifs à <i>Mycobacterium bovis</i> (étoiles rouges, n = 9) (positionnés au centres des communes sur la carte) lors de l'étude 3 en 2018 et 2019 en Charente .....	87
Figure 22 Pourcentage de renards positifs en sérologie (en bleu) et en ELISA IFN- $\gamma$ aux différents moments de l'expérience (T1 = J0, T2 = J25, T3 = J53, T4 = J84).....	88
Figure 23 Nombre d'échantillons positifs en PCR (en bleu) et en PCR + culture (en vert) (n = 12).....	89
Figure 24 Nombre d'excrétas positifs en PCR (en bleu) (négatif en culture) et en PCR et culture (en vert)..	89



# 1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

## 1.1 Contexte

Par courrier du 26 juillet 2018, l'Anses a été saisie d'une « demande d'évaluation du rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine (TB) ».

Cette saisine s'inscrit dans le contexte de la TB chez les bovins et dans la faune sauvage, notamment chez les blaireaux, objets de la saisine 2016-SA-0200. Cette problématique implique différents acteurs, en particulier éleveurs, chasseurs, piégeurs et associations de protection de la faune sauvage.

Suite à la découverte de quatre renards infectés en Dordogne en 2015, une étude a été conduite autour de ces cas sur « l'épidémiologie et la pathologie de la TB chez le renard ». Cette étude a mis en évidence, pour 2017, un taux d'infection de l'ordre de 6 % sur un échantillon de 189 renards prélevés en zone infectée de Dordogne, par détection par PCR sur des pools de broyats de nœuds lymphatiques (NL), des expectorations, des fèces et des urines.

A la date de réception de la saisine, la partie de cette étude portant sur les voies d'excrétion de *Mycobacterium bovis* par les renards était en cours. La mise en place de deux études complémentaires, une étude épidémiologique élargie à d'autres zones de Dordogne et d'autres départements infectés de TB, et une infection expérimentale de renards en captivité, avaient également été initiées. Selon la saisine, les résultats de ces études devaient être disponibles en septembre et décembre 2018.

En pratique, les résultats des études n'étant pas disponibles dans les délais indiqués, le traitement de la saisine a été suspendu jusqu'à leur obtention en février 2020.

## 1.2 Objet de la saisine

Selon les termes de la saisine, un avis de l'Anses est sollicité sur les questions suivantes :

- « *Quel est le risque de transmission de la TB aux élevages de bovins par des renards compte tenu des éléments actuellement connus ? Quel est le risque de création d'un réservoir de la maladie dans la faune sauvage en intégrant le rôle joué par cette espèce ?*
- *Quelles mesures de gestion (contrôle des densités de renard par la chasse, ramassage des cadavres, etc.) seraient susceptibles de faire diminuer ce risque ?*

*En sus d'une revue bibliographique sur le sujet, nous souhaiterions que votre avis prenne en compte les résultats de l'étude en cours en Dordogne et des investigations complémentaires qui auront pu être menées et dont les résultats seraient disponibles en décembre 2018 ».*

L'audition de la DGAL a permis de confirmer que la surveillance des renards faisait partie de la gestion et était donc à envisager dans la deuxième question.

## 1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « Tuberculose bovine et Renard », rattaché au comité d'experts spécialisé « Santé et Bien-Etre des Animaux (SABA) » l'instruction de cette saisine. Le GT s'est réuni les 10 février, 17 mars, 27 mars, 15 avril, 14 mai, 25 juin, 10 juillet, 23 septembre, 8 octobre et 19 novembre 2020.

Les travaux d'expertise du GT ont été soumis au CES SABA les 9 juillet, 10 novembre et 8 décembre 2020, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le

GT tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES. Il a été validé par le CES SABA lors de la réunion du 8 décembre 2020.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

#### **1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.**

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise. Mmes Boschioli et Richomme ayant été impliquées dans les études commanditées par la DGAL et citées dans la saisine, elles n'ont pas participé à la partie des travaux correspondant à l'évaluation des études auxquelles elles ont contribué.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

## 2 Données disponibles d'écologie et d'infection du renard (*Vulpes vulpes*)

### 2.1 Traits d'écologie du renard

En préambule, les experts soulignent que cette partie n'aborde pas tous les traits d'écologie du renard, seuls sont présentés les traits d'intérêt pour analyser les questions relatives à l'épidémiologie de l'infection à *M. bovis* chez les renards et l'évaluation du risque de transmission de cette infection des renards vers les bovins.

#### 2.1.1 Comportement social et territorial

##### 2.1.1.1 Organisation socio-spatiale

Le comportement social du renard roux (*Vulpes vulpes*) est flexible : il s'agit d'une espèce territoriale qui peut vivre de façon solitaire ou selon une structure sociale nommée « groupes spatiaux », plus ou moins stables au cours du temps et occupant un espace variable (Macdonald 1983). Ces groupes sont centrés sur un couple dominant qui défend un territoire relativement stable englobant les ressources suffisantes pour le nourrir, y compris les années de disette. Selon l'hypothèse de la dispersion de ressources alimentaires (Macdonald 1983), les années où les ressources alimentaires sont plus importantes, le couple dominant tolère la présence d'individus supplémentaires. Ce sont généralement de jeunes femelles de la portée précédente qui participent à l'élevage de la portée de l'année, sans elles-mêmes se reproduire (Baker *et al.* 2004, Soulsbury *et al.* 2007), sauf exception. Il s'agit ainsi d'un comportement altruiste réalisé par de jeunes femelles adultes, des « aides » selon la théorie de la sélection de la parentèle (« kin » en anglais). Mais cette situation n'est pas la règle (54 % des cas dans l'étude de (Baker *et al.* 2004)) ; les mâles dominants peuvent s'accoupler avec des femelles subordonnées, et les femelles s'accouplent régulièrement avec des mâles subordonnés d'autres groupes (Baker *et al.* 2004). Un territoire peut ainsi être occupé par deux à trois, exceptionnellement quatre adultes (hors zone urbaine), ainsi que par la portée du couple dominant. La dimension des territoires reste cependant stable. Malgré cette organisation centrée sur de petits groupes familiaux, les renards recherchent généralement leur nourriture en solitaire et ne se croisent qu'à proximité de sources de nourriture localement abondantes. En zone urbaine, une étude réalisée à Bristol (Robertson, Baker et Harris 2000) dans des jardins où les renards étaient nourris régulièrement a ainsi montré qu'il pouvait y avoir des passages de plusieurs renards (jusqu'à huit individus) dans le même jardin, un mélange probable de résidents et de non-résidents.

Tous les individus d'une population ne trouvent cependant pas obligatoirement un territoire à occuper. On considère ainsi des renards résidents, ceux qui possèdent un territoire, et des renards satellites, qui n'ont pas de territoire et qui ont un comportement erratique entre et en bordure des territoires occupés (Cavallini 1996). Le domaine vital de ces derniers est généralement plus vaste que celui des résidents (Meia et Weber 2011), et ces individus erratiques n'ont généralement pas accès à la reproduction. Lorsqu'un résident vient à mourir, il est remplacé soit par une aide, si c'est la femelle dominante qui a disparu, soit par un satellite mâle ou femelle.

La dimension des domaines vitaux varie en fonction de la disponibilité et de la prédictibilité de la ressource alimentaire. Ils peuvent ainsi être vastes dans les régions pauvres en ressources, ou très réduits dans les régions riches en aliments, surtout si ces derniers ont un niveau de disponibilité stable dans le temps, comme dans les milieux urbains. Dans la littérature on trouve ainsi des extrêmes allant de quelques dizaines d'hectares, dans des milieux urbains (Fischer 2008, Harris et Baker 2001), à plus de 20 km<sup>2</sup> dans les toundras du nord du Canada ou de Scandinavie (Walton *et al.* 2018). Dans les zones rurales de France et des pays voisins les domaines vitaux connus se situent plutôt autour de 0,5 à 3 km<sup>2</sup> (Cavallini 1996, Meia et Weber 2011).

Durant une épizootie de gale sarcoptique en zone urbaine, Baker *et al.* (2000) ont noté une augmentation temporaire de la taille des territoires suite à la disparition rapide de résidents dans les territoires voisins et Potts, Harris et Giuggioli (2013) ont confirmé l'existence d'une « territorialité fluctuante » dans cette population marquée par un rapide déclin dû à la gale sarcoptique. Mais ceci n'a par contre pas été observé à Genève (Fischer 2008) dans un contexte similaire de gale. Il a également été observé une variation des territoires d'une année à l'autre, probablement dans les régions à disponibilité alimentaire fluctuante (milieux urbains comme observé par (Doncaster et Macdonald 1991) ou lorsque des secteurs restent ou sont devenus vacants (comme suite au dépeuplement dû à la rage, Artois, Aubert et Stahl (1990)). Ainsi, la synthèse de Cavallini (1996) conclut que les domaines vitaux sont instables, varient en taille en fonction des saisons et des voisins et que la territorialité n'est pas stricte. Mais, dans les milieux peu perturbés (par une épidémie, la chasse ou le piégeage, et avec des ressources alimentaires stables), les dimensions des territoires annuels restent stables d'une année à l'autre (Fischer 2008, Meia et Weber 2011).

Le renard utilise régulièrement des terriers mais, contrairement au blaireau, cet abri ne joue pas un rôle central dans sa survie. Bien qu'il réutilise régulièrement des terriers creusés par les blaireaux, le renard peut également utiliser des abris très sommaires d'origine naturelle (cavité sous un arbre, cavité dans un éboulis...) ou anthropiques (tas de bois, grange, vide-sanitaire sous une bâtisse, buses sous les routes...). Si le sol est suffisamment meuble (sol sableux, déblais), il est également capable de creuser son propre terrier (Fischer 2008). Il peut également s'abriter dans des taillis épais ou dans des cultures telles que le colza ou le maïs. L'utilisation du terrier se fait principalement lors de la reproduction pour la mise-bas et les premières semaines qui la suivent, et lors des périodes de mauvais temps (forte pluie, période de grand froid). S'il y a des dérangements au niveau du terrier lorsque les juvéniles sont présents, il arrive que ces derniers soient déménagés par les adultes, soit dans un autre terrier, soit dans un abri en surface. Les adultes occupent généralement un autre abri que les juvéniles, peut-être pour ne pas attirer l'attention des prédateurs. Il est ainsi normal d'observer des juvéniles apparemment seuls jouer à l'entrée d'un terrier. Les adultes (parents et aides) viennent à la nuit tombée pour les nourrir.

La capacité à utiliser des abris sommaires et d'origine anthropique explique en partie comment le renard a pu coloniser les centres urbains. Ils peuvent utiliser toutes sortes d'abris dans des friches industrielles, des fonds de jardins, des cimetières et, en cas de dérangement marqué ou de destruction de ces abris, ils sont capables d'en trouver d'autres rapidement grâce à leurs grandes capacités d'adaptation.

#### 2.1.1.2 Comportement de marquage

La communication olfactive entre renards se fait par les urines, les fèces, et les sécrétions des glandes cutanées (glandes anales, glande supracaudale et glandes interdigitales). Les urines sont le plus souvent déposées sur les lieux de passage des individus, la fréquence des marquages urinaires pouvant aller jusqu'à un marquage par 100 m de trajet (Artois 1989, Baker *et al.* 2000). Les marques sont placées sur toutes sortes de matériaux : le long de murs, clôtures, pieds de pylônes électriques, arbres et arbustes (Baker *et al.* 2000). Tout marquage d'un étranger semble entraîner un surmarquage par le résident. Les fèces sont le plus souvent déposées le long des voies de passages de l'animal, sur des emplacements surélevés remarquables : grosses pierres, taupinières, bornes forestières ou sur des sites avec des ressources alimentaires abondantes... Le plus souvent, une seule crotte est déposée.

#### 2.1.1.3 Contacts directs intraspécifiques

Au sein d'un même groupe, les relations entre individus sont stables et durables, notamment entre femelles. En analysant des données issues d'un réseau de pièges photographiques dans une population urbaine, Dorning et Harris (2019b) ont ainsi observé des fréquences de contacts stables durant plus de quatre saisons consécutives dans un tiers des cas. Les contacts directs entre renards ont lieu prioritairement entre individus dominants. En hiver, les contacts entre mâles sont plus fréquents lors de mouvements extraterritoriaux liés au rut (Dorning et Harris 2019a). Les

contacts courts, de moins d'un jour, ont lieu pendant la dispersion et le rut, ainsi qu'entre groupes sociaux non-adjacents. Une grande disponibilité de nourriture semble entraîner des taux de contact plus importants (Dorning et Harris 2019a).

#### 2.1.1.4 Dispersion

La dispersion des jeunes de l'année débute au début de l'automne (septembre - octobre, Artois (1989) et le plus souvent les distances de dispersion sont assez faibles (3,5 km pour les mâles, 2 km pour les femelles, selon Robinson et Marks (2001)), mais quelques individus peuvent parcourir de plus grandes distances, de l'ordre de 30 km (Fischer communication personnelle). En Suède et en Norvège, où les densités sont beaucoup plus faibles qu'en Europe de l'Ouest, des distances de dispersion totale de 132 à 1036 km ont été observées (une femelle, cinq mâles, Walton *et al.* (2018)). Les mouvements de dispersion ne sont pas en ligne droite et certains individus font marche arrière et retournent dans des zones déjà visitées pour s'installer. La dispersion a été observée pour les mâles (Harris et Trehwella 1988) comme pour les femelles (40% des femelles selon Sandrine Terrien, Fischer communication personnelle) et, selon les études, les mâles dispersent plus loin que les femelles (Harris et Trehwella 1988, Robinson et Marks 2001) ou pas (Gachot-Neveu *et al.* (2009), étude dans les Ardennes). Les femelles qui restent plus longtemps au sein du groupe familial et ne se reproduisent pas la première année, pourraient disperser plus loin pour se reproduire.

### 2.1.2 Alimentation

Le renard est un carnivore généraliste et opportuniste, c'est-à-dire qu'il consomme les aliments selon leur disponibilité (leur abondance) et leur accessibilité (facilité de capture pour les proies animales, facilité d'accès pour les autres aliments). Le renard peut consommer autant des proies d'origine animale (mammifères, invertébrés, oiseaux...) que d'origine végétale (fruits, épis de céréales...) ou d'origine anthropique (déchets trouvés dans les poubelles ou sur les composts, aliments pour animaux domestiques, Ferrari et Weber (1995)). Son régime alimentaire sera dépendant des ressources présentes localement et de leur distribution dans un secteur donné et en fonction des saisons. Ceci est démontré par une étude réalisée dans le Jura suisse par Weber et Aubry (1993), où les auteurs comparent deux années présentant des densités de campagnol terrestre très différentes, et ainsi une disponibilité différente. Les parties vertes des plantes ne sont consommées que par accident, en ingérant d'autres aliments, ou pour « se purger ».

Les insectes, lombrics et restes végétaux sont consommés avec une fréquence élevée, mais généralement en petites quantités (sauf certaines larves d'insectes diptères - éristales ou tipules - relativement massives et dont les œufs sont pondus en amas), alors que les mammifères, les fruits et les aliments d'origine anthropique sont généralement consommés en grandes quantités, mais moins régulièrement (Fischer 2008).

Dans les études réalisées en milieux naturels ou ruraux, avec une densité humaine réduite, ce sont les mammifères qui dominent dans le régime alimentaire du renard (Kidawa et Kowalczyk 2011, Weber et Aubry 1993, Cavallini et Volpi 1996, Sidorovich, Sidorovich et Izotova 2006, Goldyn *et al.* 2003, Leckie *et al.* 1998, Weber 1996).

Dans les études réalisées en milieux urbanisés ou en milieux ruraux denses, les fruits et aliments d'origine anthropique représentent une proportion similaire à celle des mammifères (Fischer 2008). Parmi les mammifères, ce sont en grande majorité les campagnols et les lapins qui sont consommés. Les espèces plus grandes peuvent parfois également être retrouvées dans des contenus stomacaux ou des crottes, mais il est souvent difficile de savoir s'il s'agit de proies capturées activement ou de cadavres qui ont été consommés (Kidawa et Kowalczyk 2011). Les poules ou les lapins peuvent être capturées car faciles d'accès et ce type de prédation a principalement lieu en période de reproduction (Jacquier *et al.* 2020). Les attaques sur les faons de chevreuils, les agneaux ou les lièvres (*Lepus* sp.) adultes sont exceptionnelles. Les caractères morphologiques du renard et sa stratégie de chasse, l'arpentage, sont adaptées à la capture de petites proies, rencontrées au hasard des déplacements.

Dans les milieux agricoles, le renard va s'intéresser aux secteurs de pâtures pour exploiter les lombrics, les insectes présents dans les bouses ou les rongeurs tels que les campagnols terrestres *Arvicola terrestris* (gros et peu mobiles), les campagnols des champs *Microtus arvalis* (plus petits mais localement abondants) et, plus rarement, les campagnols agrestes *Microtus agrestis* et roussâtres *Myodes glareolus* (en bordure de haies ou en lisière) ou les mulots du genre *Apodemus* (également en bordure ou dans les milieux boisés, mais moins faciles à capturer). Les lapins de garennes (*Oryctolagus cuniculus*) peuvent également représenter des proies importantes, les autres vertébrés (couvées d'espèces nichant au sol, perdrix, levrauts) constituant des proies secondaires (Leckie *et al.* 1998, Soe *et al.* 2017).

Le comportement de prédation du renard vis-à-vis des proies clés, en particulier les rongeurs est complexe et variable en fonction des densités des proies, de leurs fluctuations et des espèces et autres items alimentaires disponibles (Raoul *et al.* 2010).

Au niveau des bâtiments agricoles et d'élevage, les renards seront attirés par les rongeurs commensaux de l'Homme, par les tas de fumier qui contiennent non seulement des restes alimentaires ou des résidus de mise bas, mais également une cohorte d'invertébrés liées à ce type d'habitat, en particulier des larves de diptères (éristales), ainsi que par la nourriture destinée aux animaux domestiques (chien, chat, oiseaux...). Ils seront également attirés par les animaux de basse-cours présents régulièrement, confinés ou élevés en plein air (Jacquier *et al.* 2020).

Le renard est également un charognard facultatif (Morales-Reyes *et al.* 2017), qui consomme les cadavres d'animaux chassés (viscères laissés sur place), de la route, du machinisme agricole ou empoisonnés par des rodenticides. En revanche, le comportement de coprophagie (consommation de fèces) n'est pas décrit dans cette espèce.

### 2.1.3 Reproduction et dynamique des populations

Le terme « prélèvements » fait référence à des individus éliminés, quels que soient le mode de prélèvement (tir, piégeage, déterrage, *etc.*) et le cadre réglementaire les autorisant, et l'expression « populations exploitées » désigne les populations subissant ces prélèvements.

#### 2.1.3.1 Reproduction

Chez le renard, la maturité des deux sexes est atteinte à dix mois. La seule période d'accouplement annuelle s'étale, en fonction de la latitude, de fin décembre à mars selon le cycle circadien court (Artois et Le Gall 1988). Une femelle peut être couverte par plusieurs mâles. Dans une population à forte densité, Baker *et al.* (2004) ont montré que la monogamie était observée dans au plus 54 % des groupes, les mâles comme les femelles s'accouplant avec plus d'un partenaire (polygynandrie) et une même portée peut être issue de plusieurs mâles. A densité plus faible, les groupes sont structurés autour des femelles philopatriques (c'est-à-dire qui auront tendance à rester ou à revenir à l'endroit où elles sont nées), les individus s'accouplent plus souvent avec un seul partenaire (monogamie) et il y a une baisse du nombre de portées attribuables génétiquement à des individus en dehors du groupe (Iossa *et al.* 2009). En termes de comportement, les mouvements extraterritoriaux pendant le rut sont régulièrement observés (Pandolfi, Forconi et Montecchiari 1997), avec de nombreux mâles suivant les femelles en œstrus (Lloyd 1980, Niewold 1980 *in* Baker *et al.* (2004)).

La gestation dure 53 jours. Une portée peut compter entre un et 12 renardeaux, avec en moyenne quatre à cinq petits. Dans des populations fortement chassées et piégées en France, l'effectif des portées était en moyenne de  $4,7 \pm 1,4$  (écart-type, embryons ou cicatrices placentaires, n = 755, Lieury *et al.* (2017)).

Les jeunes sortent du terrier à l'âge de quatre à six semaines, entre mi-avril et mai (Robertson, Baker et Harris 2000). Leurs déplacements augmentent progressivement jusqu'en juillet et, dans les zones urbaines, ils se regroupent autour de points sécurisés, parfois avec d'autres portées (à Bristol, Robertson, Baker et Harris (2000)). A partir de fin août, les déplacements sont comparables à ceux des individus adultes résidents.



### 2.1.3.2 Survie et modélisation en dynamique des populations

D'après une synthèse rétrospective de Devenish-Nelson *et al.* (2013), les estimations de survie varient selon les études entre 0,30 et 0,48 pour les jeunes (moins d'un an), de 0,35 à 0,88 pour les individus d'un à deux ans, de 0,47 à 0,95 pour les individus de deux à trois ans, et de 0,18 à 0,70 pour les individus de trois ans et plus. Les principales causes de mortalité sont liées aux prélèvements exercés par l'homme (chasse, piégeage, déterrage, tirs...), puis aux collisions routières (Harris et Smith 1987).

Les maladies (et parfois les empoisonnements secondaires, en particulier aux rodenticides anticoagulants) peuvent également impacter fortement les populations. Les effets importants et à vaste échelle de la rage (Breitenmoser *et al.* 2000, Chautan, Pontier et Artois 2000, Vos 1995) et la gale sarcoptique sous une forme épizootique (Gortázar *et al.* 1998, Lindström *et al.* 1994, Soulsbury *et al.* 2007) sur les densités de populations ont été démontrées. Diverses maladies, en particulier la gale sarcoptique quand elle devient enzootique (Pisano *et al.* 2019) et la maladie de Carré (Nouvellet *et al.* 2013), peuvent en outre avoir des effets, au moins temporaires, sur les densités locales.

Les autres causes de mortalité (grands prédateurs, chiens) qui pourraient avoir un impact sur les densités sont discutées au § 2.1.5.2.

Du point de vue de la dynamique des populations, les jeunes sont particulièrement vulnérables et les survies juvéniles sont en général moins élevées que celles des adultes (Gosselink *et al.* 2010). Dans les contextes de fortes densités où les renards vivent en groupes spatiaux, il semble que les subordonnés aient aussi des taux de survie réduits par rapport aux dominants (Baker *et al.* 1998).

Par des analyses de sensibilité des modèles matriciels<sup>1</sup>, Devenish-Nelson *et al.* (2013) ont montré que les situations sont très variables d'une population étudiée à l'autre avec, au final, des temps de génération variant de 0,75 à quatre ans selon les populations. Le renard roux apparaît comme une espèce à la dynamique démographique plastique et donc variable selon les conditions environnementales et/ou anthropiques. Cette dynamique est intermédiaire, c'est-à-dire que selon les contextes, survie adulte ou fécondité et survie juvénile seront les paramètres qui influenceront le plus les évolutions numériques des populations (Devenish-Nelson *et al.* 2013, Lieury 2015, McLeod et Saunders 2001).

Dans des populations exploitées, (Lieury 2015) a montré que les taux de survie variaient fortement d'une population à l'autre (cinq sites étudiés) suivant l'intensité des prélèvements. De plus, la survie juvénile avait un impact majeur sur la dynamique des populations et donc sur son évolution numérique, cet impact étant plus important que les paramètres de reproduction (proportion de femelles reproductrices et taille des portées). En outre, plutôt que la taille des portées, c'est la proportion de femelles reproductrices qui varie en fonction de la densité de la population et de l'âge des femelles (Lieury 2015), comme observé dans des populations urbaines à fortes densités (Harris et Smith 1987). La sénescence reproductive apparaît à partir de cinq ans (Lieury *et al.* 2017).

---

<sup>1</sup> Les modèles matriciels utilisant la structure en âge d'une population et les paramètres de survie et de reproduction par classe d'âge permettent de prédire la dynamique d'une population et son évolution numérique. Deux grandes stratégies d'histoire de vie peuvent être mises en relation avec l'analyse de ces modèles matriciels, qui permettent d'évaluer l'importance relative des paramètres démographiques (appelée contribution dans une analyse de sensibilité) dans l'évolution numérique d'une population, mesurée par le taux de croissance asymptotique. D'un côté, les espèces avec de courts temps de génération (< 2 ans), à stratégie r (exemple Mésange bleue), présentent une forte contribution de la reproduction, impliquant de fortes variations d'effectifs d'années en années. De l'autre, celui des espèces longévives (temps de génération > 2 ans), à stratégie K présentent une forte contribution de la survie adulte, impliquant de faibles variations d'effectifs (mais variables selon la capacité d'accueil du milieu). On parlera de forte élasticité à la survie adulte chez les espèces longévives (stratégie K, exemple aigle de Bonelli) et de forte élasticité à la fécondité et à la survie juvénile chez les espèces à courte durée de vie (stratégie r, Lebreton et Clobert (1991), Saether et Bakke (2000)). Il existe un continuum entre ces deux stratégies selon les espèces, et des espèces à stratégies intermédiaires (exemple Corvidés).

### 2.1.3.3 Structure d'âge des populations

Dans les habitats anthropisés, une faible proportion de renards atteint ou dépasse l'âge de cinq ans. Par exemple, cet âge est atteint par seulement 11 % environ des femelles dans des populations fortement chassées et prélevées (Lieury *et al.* 2017). L'âge maximum connu dépasse rarement dix ans dans la nature.

Le mode de prélèvements impacte directement les classes d'âge avec en particulier le déterrage, pratiqué le plus souvent en avril-mai, qui conduit à éliminer une proportion plus importante de jeunes de l'année et de femelles. Si l'on ne tient pas compte de ce mode de prélèvement, les classes 0 et un an constituent environ 70 % des prélèvements (Figure 1, Lieury (2015)) et les structures d'âge sont comparables entre chasse, piégeage et tir de nuit (Lieury 2015). Des pourcentages supérieurs à 60 % de jeunes ont également été relevés en Espagne (Gortázar *et al.* 2003) et semblaient baisser lorsque la pression était moins forte (Goddard et Reynolds 1993, Harris et Smith 1987). Outre l'intensité des prélèvements exercés sur l'espèce, d'autres paramètres qui interagissent ensemble affectent les structures d'âge des populations comme la capacité d'accueil du milieu et les maladies (Gortázar *et al.* 2003).

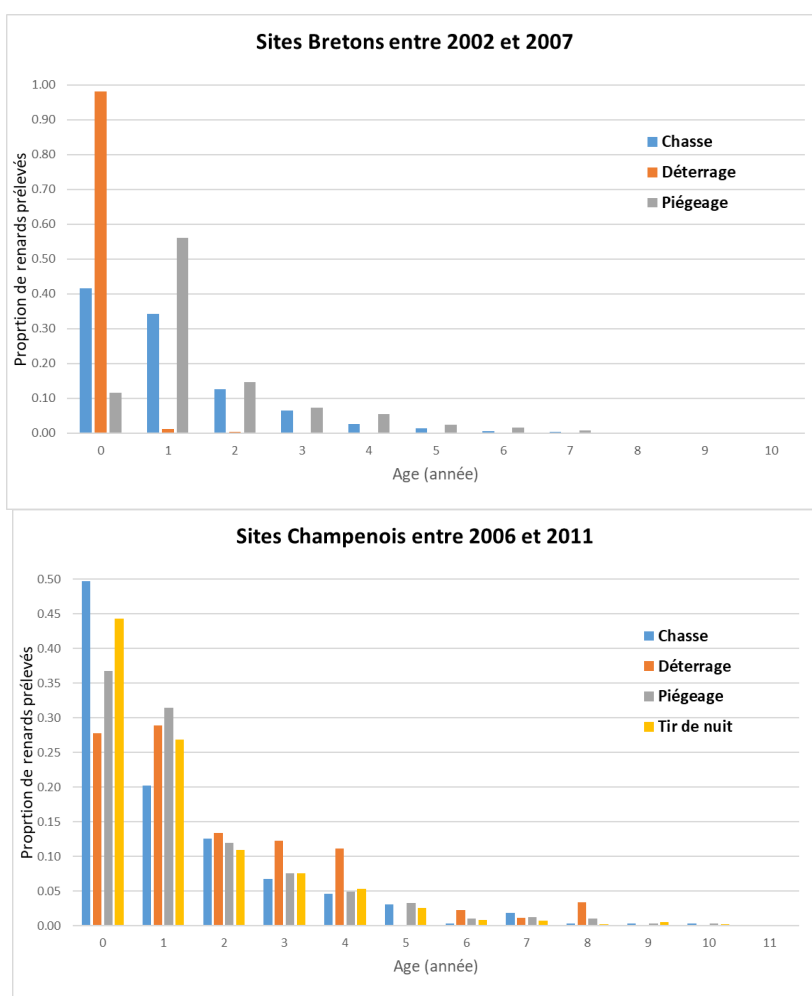


Figure 1 Structure d'âge dans les prélèvements de sites bretons et champenois (d'après Lieury (2015))



## 2.1.4 Les prélèvements exercés sur les populations et leur impact

En France, le renard est une espèce gibier et peut à ce titre être chassé (à tir, au vol, à courre ou par vénerie sous terre). Il peut être classé comme espèce susceptible d'occasionner des dégâts par arrêté ministériel<sup>2</sup> et, à ce titre, être détruit par piégeage, déterrage ou tir de jour. Enfin, le renard peut faire l'objet de mesures administratives départementales de régulation et, dans ce cadre, être détruit par tir, piégeage ou déterrage, de jour comme de nuit.

### 2.1.4.1 Estimation des prélèvements exercés sur l'espèce en France

Dans cette partie, il est fait mention d'« estimation » soit parce que les données sont incomplètes (données de piégeage), soit parce que le résultat est issu d'une enquête par échantillonnage (chasse à tir). Il n'existe pas à ce jour en France de système de relevé systématique et obligatoire des prélèvements sur le renard.

À l'échelle nationale, l'Office Français de la Biodiversité (OFB) (ex-Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage - ONCFS) réalise régulièrement des enquêtes nationales sur les prélèvements par la chasse (Stahl et Ruetter 2000) ou le piégeage (Ruetter *et al.* 1999), en collaboration avec la Fédération Nationale des Chasseurs (FNC) ou les Directions Départementales des Territoires (et de la Mer) - DDT(M). Les deux enquêtes les plus récentes concernent les prélèvements par destruction réalisés au cours des périodes 2011/2012<sup>3</sup> et 2012/2013 (Albaret, Ruetter et Guinot-Ghestem 2014) et les prélèvements cynégétiques par chasse à tir pour la saison cynégétique 2013-2014 (Aubry *et al.* (2016), annexe 7). Les estimations par la chasse sont toujours très nettement supérieures à celles des prélèvements par piégeage (Tableau 1). La chasse est très clairement le mode de prélèvement le plus utilisé pour le renard. Au niveau national, le renard est l'espèce de carnivore la plus abondamment prélevée avec environ 0,9 renard prélevé (principalement des jeunes de l'année) par km<sup>2</sup> et par an depuis plus d'une vingtaine d'années.

**Tableau 1 Estimations nationales des prélèvements de renards à travers différentes enquêtes (Albaret, Ruetter et Guinot-Ghestem 2014, Aubry *et al.* 2016)**

Enquête nationale par échantillonnage auprès chasseurs		Enquête nationale auprès DDT (bilans déclaratifs annuels des piégeurs agréés)	
Saison	Estimation	Saison	Estimation
1983-1984	370 000	1996-1997	72 000 (87 dép.*)
1998-1999	372 277 – 408 183	2007-2008	98 810 (52 dép.)
2013-2014	388 600 – 472 000 ≅ 0,70-0,86 renard/km <sup>2</sup>	2011-2012	143 745 (83 dép.) ≅ 0,49 ± 0,44 renard/km <sup>2</sup>
		2012-2013	116 658 (78 dép.) ≅ 0,41 ± 0,35 renard/km <sup>2</sup>

\* nombre de départements ayant répondu

Dans les départements où des espèces sauvages ont été trouvées infectées par *M. bovis*, les prélèvements par destruction (piégeage ou tirs de destruction hors période de chasse) ont varié de

<sup>2</sup> Arrêté ministériel triennal établissant pour chaque département la liste des espèces d'animaux classées susceptibles d'occasionner des dégâts dans celui-ci, sur proposition du préfet après avis du Conseil national de la chasse et de la faune sauvage (voir annexe 7)

<sup>3</sup> La période est définie du 1er juillet au 30 juin de l'année suivante

496 à 3481 selon les départements, d'après les données des enquêtes 2011-2012 et 2012-2013, et le tableau de chasse à tir 2013-2014 a varié de 1661 à 7800 selon les départements (Tableau 2). De même pour la saison 2017-2018, les prélèvements par département sont très variables d'un département à l'autre, variant entre 800 et plus de 10 000 renards prélevés, à considérer comme des effectifs minimaux car tous les prélèvements par la chasse ne sont pas toujours renseignés. Ces données ne permettent pas de dire si la mise en évidence de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage a suscité une augmentation de l'effort de chasse et donc des prélèvements exercés sur les renards.

**Tableau 2 Estimations des prélèvements de renards par chasse (Aubry *et al.* 2016) (et destruction (Albaret, Ruet et Guinot-Ghestem 2014) dans les départements où *M. bovis* a été détecté chez des espèces sauvages**

Département	Tableau de chasse à tir 2013/2014	Destruction* 2011-12	Destruction* 2012-13	Prélèvements totaux 2017-2018**
Ardennes	<i>non estimé</i>	2469		4857
Ariège	<i>non estimé</i>		496	874
Charente	5020 [2492 ; 7548]			3056
Côte-d'Or	4649 [2616 ; 6683]		1427	1357
Dordogne	5757 [3384 ; 8130]		2850	10345
Haute-Garonne	<i>non estimé</i>		2791	2363
Landes	7226 [3172 ; 11281]			5226
Lot	<i>non estimé</i>		1026	2491
Lot-et-Garonne	1661 [824 ; 2498]		3410	4504
Pyrénées-Atlantiques	<i>non estimé</i>		3481	6370
Seine-Maritime	7800 [3375 ; 1224]	10333		9386

\*piégeage ou tirs de destruction hors période de chasse

\*\* total des prélèvements de renards, calcul issu des dossiers transmis en 2018 par les DDT(M) dans le cadre des demandes préfectorales de classement ministériel de spécimens d'espèces sauvages indigènes en tant que susceptibles d'occasionner des dégâts.

#### 2.1.4.2 Comprendre l'impact des prélèvements sur les populations

Des études conduites au Royaume-Uni (Porteus, Reynolds et McAllister 2019) et en France (Lieury *et al.* 2015) montrent que les prélèvements intensifs de renards sont rapidement compensés et suggèrent que l'immigration depuis la périphérie et une meilleure survie des jeunes seraient importantes. Ainsi, l'étude réalisée sur cinq territoires dans l'Aube et en Ile-et-Vilaine a démontré que des prélèvements « intensifs » (bien au-delà des pratiques habituelles, en particulier par tirs de nuit et augmentation du piégeage) sont nécessaires pour faire baisser sensiblement les densités de renards (Lieury *et al.* (2015), baisse de densité de 0,69 à 0,44 renard/km<sup>2</sup> pendant trois ans sur un territoire d'environ 200 km<sup>2</sup>). En moyenne, un taux de prélèvements supérieur à 45 % de la population adulte est nécessaire pour faire baisser la densité en dessous d'un renard adulte/km<sup>2</sup>, si la capacité d'accueil est de 1,5 renard/km<sup>2</sup> (Lieury *et al.* 2015). En outre, l'importance des prélèvements à mettre en place pour faire baisser la densité est fonction de l'écart de la densité à la capacité d'accueil<sup>4</sup> : plus la densité obtenue après prélèvements est faible par rapport à la capacité d'accueil, autrement dit plus le taux de remplissage du milieu est faible,

<sup>4</sup> La capacité d'accueil est une densité théorique, correspondant au nombre de renards adultes que peuvent soutenir les ressources (nourriture et gîte) d'un site géographique donné.

plus la compensation est forte et les prélèvements sans effet. Les niveaux de prélèvements réalisés sur le renard n'entraînent donc pas toujours de baisses de densités et sont rapidement compensés. Le taux de prélèvement (c'est-à-dire l'importance des prélèvements par rapport à la densité initiale) et la capacité d'accueil du milieu, sont deux éléments déterminants. Parallèlement, l'analyse des données de fécondité n'a pas montré d'effet de la densité sur la reproduction, écartant un phénomène de compensation par la reproduction. En revanche, un impact significatif des prélèvements sur le taux de croissance, essentiellement de juillet à janvier a été démontré, traduisant un mécanisme de compensation par l'installation (survie augmentée) et l'immigration de jeunes de l'année (Lieury *et al.* 2016, Lieury *et al.* 2015). Ce taux d'immigration dans des populations exploitées est très variable d'un site à l'autre en fonction de l'intensité des prélèvements, mais également de l'habitat ; les valeurs estimées variant de 0,86 à 4,13 renards par km<sup>2</sup> et par an (médiane 2,41, Porteus et McAllister (2018)) sur 534 territoires de chasse en Grande-Bretagne. Lorsque l'objectif est de diminuer les densités, les prélèvements réalisés après la période de dispersion des jeunes et avant la reproduction, c'est-à-dire de préférence entre novembre et février sont plus efficaces, dans le sens où ils nécessitent des prélèvements moindres en nombre pour un même résultat.

A côté des aspects numériques, les conséquences en termes comportemental, social et sanitaire sont peu évaluées. Par exemple, l'augmentation de la proportion de jeunes dans une population fortement prélevée semble associée à une augmentation de la prévalence de l'échinococcose, les jeunes individus plus enclins à migrer étant également plus sensibles aux parasitoses et produisant des fèces fortement contaminées (Comte *et al.* 2017). La compensation des prélèvements intensifs par immigration de jeunes implique des déplacements plus nombreux et probablement plus importants.

Enfin, les prélèvements exercés sur le renard peuvent avoir des conséquences sur la communauté entière de mésoprédateurs. Il a été démontré que le « contrôle non sélectif de prédateurs », qui conduit à capturer des espèces non-cibles comme la fouine *Martes foina* ou le blaireau (avec des cages-pièges, des collets capturant au cou), pouvait favoriser les espèces ayant les taux de croissance les plus forts et de bonnes capacités de dispersion, comme le renard, au détriment d'autres prédateurs tels que le blaireau, la fouine ou la martre *Martes martes* (Curveira-Santos *et al.* 2019, Barrull *et al.* 2014).

## 2.1.5 Densités et évolutions des populations

Les données sur l'abondance du renard ne sont pas harmonisées au niveau européen et les statistiques de chasse sont souvent les seules données disponibles à vaste échelle et sur une période de temps assez longue (Sonnenburg *et al.* 2017). Mais, du fait de nombreux biais, elles ne reflètent pas toujours les densités et sont difficilement comparables d'un pays à l'autre. Les densités peuvent être estimées selon plusieurs méthodes, présentées en annexe 6, notamment la méthode des comptages de nuit à l'aide de phares qui permet de calculer un Indice Kilométrique d'Abondance (IKA), correspondant au nombre de renards observés par km parcouru.

### 2.1.5.1 Évolutions et gammes de densités en Europe de l'Ouest depuis les années 1990

Dans les années 2000, plusieurs auteurs ont conclu à l'augmentation des populations de renards après la disparition de la rage en Europe de l'Ouest (Chautan, Pontier et Artois (2000) ; en Suisse, Breitenmoser *et al.* (2000) ; en Allemagne, Vos (1995) ; en France, Ruetter, Stahl et Albaret (2003b)). Les estimations de densités plus récentes en Europe sont assez rares sauf en Grande-Bretagne.

A vaste échelle, Roos *et al.* (2018) concluent que les densités de renards sont plus fortes au Royaume-Uni, en Italie et en Espagne que dans les autres pays d'Europe, mais l'essentiel des données provient de l'est de l'Europe (pas de données en France). De même, Bartoń et Zalewski (2007) concluent que les densités de renards sont corrélées avec les variations annuelles des disponibilités alimentaires, avec des densités plus faibles lorsque les hivers sont rudes et les températures en été moins fortes. Mais la méta-analyse repose sur des données de l'Eurasie

excluant l'Europe de l'Ouest. Dans ces zones, les densités varient de 0,001 à 2,8 individus/km<sup>2</sup> avec une moyenne de 0,21 (Bartoń et Zalewski 2007).

En Grande-Bretagne, après une augmentation des populations depuis les années 60, une stabilisation semble observée entre 1990 et 2009 (Battersby 2005, Sainsbury *et al.* 2019). Certaines données semblent indiquer une baisse récente en Angleterre, en particulier depuis 2008 (Harris *et al.* 2018, Sainsbury *et al.* 2019) sans que les causes en soient identifiées, mais une baisse significative des populations de lapins en Angleterre, Ecosse et Pays de Galles a été observée parallèlement (Harris *et al.* 2018). D'autre part, des épisodes de gale sarcoptique ont été documentés en zones urbaines (Soulsbury *et al.* 2007), au pays de Galles (Harris *et al.* 2018) et en Suisse (Fischer 2008, Pisano *et al.* 2019).

L'estimation moyenne de densité en Angleterre est de  $1,65 \pm 0,19$  renards/km<sup>2</sup> (Roos *et al.* 2018), en excluant les zones urbaines ou périurbaines. La gamme des densités estimées dans d'autres études au Royaume-Uni varie de 0,2 à 5,15 renards/km<sup>2</sup>. On retrouve une gamme comparable dans les autres pays d'Europe de l'Ouest, avec des densités comprises entre 0,3 et 4 renards/km<sup>2</sup> (Tableau 3). Dans les régions méditerranéennes, les densités sont plus faibles, le renard restant généralement le mésoprédateur sauvage le plus abondant (Pita *et al.* 2009).

**Tableau 3 Estimations de densités dans différents pays d'Europe de l'Ouest entre 1996 et 2016 (hors milieux urbains)**

Pays	Période	Estimation de densité (renards/km <sup>2</sup> )	Méthode	Référence
Angleterre	2000 à 2006	0,26 à 5,15 0,26 à 1,99	Comptages aux phares (hiver) et Distance sampling	Trewby <i>et al.</i> (2008)
Angleterre	2013	1,75	Synthèse	The Mammal Society (2013) in Roos <i>et al.</i> (2018)
Angleterre	1995 à 1997	0,2 à 1,0	Comptages aux phares (hiver) et Distance sampling	Heydon et Reynolds (2000)
Grande Bretagne	1999 et 2000	0,1 à 2,23	Comptages fèces	Webbon, Baker et Harris (2004)
Angleterre et Pays de Galles	2006	1 à 4	Transects réalisés à pied (printemps)	Parrott <i>et al.</i> (2012)
Angleterre		$1,65 \pm 0,19$	Synthèse	Roos <i>et al.</i> (2018)
Pays de Galles		$1,33 \pm 0,68$	Synthèse	Roos <i>et al.</i> (2018)
Ecosse		$0,15 \pm 0,06$	Synthèse	Roos <i>et al.</i> (2018)
Irlande du nord		0,15 à 0,50	Comptages aux phares (hiver)	Reid, McDonald et Montgomery (2007)
Espagne	1992 à 2006	IKA 10,70/ 100 km	Comptages aux phares (hiver) 59 communes de zones agricoles en Espagne (Aragon)	Sobrino <i>et al.</i> (2009)
France (12 sites grand quart Nord-Est)	1999/2000 et 2000/2001	0,4 à 3,5	Comptages aux phares (hiver) et Distance sampling	Ruette, Stahl et Albaret (2003a)
France (Ardennes)	2003/2004 à 2005/2006	3 à 4	Comptages aux phares (hiver) et Distance sampling	Guislain <i>et al.</i> (2007)
France	2004-2013	0,45 à 1,49	Comptages aux phares (hiver) et Distance sampling (moyenne 0.97 sur 166 territoires)	Ruette <i>et al.</i> (2016)
Portugal	2005-2007	$0,62 \pm 0,17$	Piégeage photo	Sarmiento <i>et al.</i> (2009)

Les chiffres pour la France sont discutés *infra*.

### 2.1.5.2 Les principaux facteurs de variations des densités de renards (hors impacts des prélèvements par l'Homme)

Au niveau de l'Eurasie, la présence de lynx et les hivers rigoureux influencent négativement les densités de renards (Bartoń et Zalewski 2007, Pasanen-Mortensen, Pyykönen et Elmhagen 2013), alors que la présence du loup ne semble pas avoir d'effet. L'impact du retour des grands prédateurs (lynx et loup) en France n'a pas été étudié mais pourrait influencer négativement les densités de renards, de même que la présence d'autres espèces charognardes (par exemple les vautours, Morales-Reyes *et al.* (2017)). Cependant, Pasanen-Mortensen *et al.* (2017) ont montré que l'augmentation des densités de lynx ne pourrait limiter l'augmentation de densités de mésoprédateurs comme le renard, pour lesquels le changement climatique et le changement d'occupation des sols ont eu des effets favorables très importants. En dehors des zones de présence du lynx, les densités sont plus fortes lorsque les températures en été, la densité humaine et la productivité primaire du milieu (mesurée par l'activité photosynthétique de la végétation) sont plus fortes, des paramètres qui reflètent une plus forte abondance de nourriture (Pasanen-Mortensen, Pyykönen et Elmhagen 2013).

Une étude en Angleterre montre que dans les zones où des abattages intensifs de blaireaux ont eu lieu dans le cadre de la lutte contre la TB, des augmentations des densités de renards importantes (de + 1,6 à 2,3 renards / km<sup>2</sup> par rapport aux densités initiales) ont été observées par rapport à des zones sans abattage intensif (Trewby *et al.* 2008).

En zones rurales, l'accès à des sources de nourriture liées aux activités humaines, élevage et rongeurs commensaux, semble se traduire par une augmentation des densités de renards (Panek et Bresiński 2002). Roos *et al.* (2018) expliquent les densités plus importantes de mésoprédateurs en Grande Bretagne (renards, corvidés *Corvus corone* et *C. cornix*) par la présence de milieux très favorables à ces espèces : paysages ruraux d'agriculture extensive ou intensive, où la couverture forestière est suffisante pour abriter des gîtes, où la production primaire est forte, et en l'absence de grands prédateurs. A cela, il faut ajouter les lâchers de gibiers (plus de 40 millions de faisans et perdrix rouges lâchés annuellement, Pringle *et al.* (2019)) qui offre une nourriture supplémentaire. Logiquement, il a également été montré que dans des zones de gestion du petit gibier (*via* les lâchers, mais également l'aménagement de l'habitat et la destruction de prédateurs), l'abondance de prédateurs généralistes comme le renard augmente lorsque les espèces gibier et les proies augmentent (Beja *et al.* 2009).

Toutes ces caractéristiques sont également rencontrées dans de nombreuses régions en France (entre 14 et 17 millions d'oiseaux lâchés en France en 1995, Arroyo et Beja (2002)). Dans les zones méditerranéennes comme dans les paysages ruraux d'Europe de l'Ouest, le renard semble plus abondant dans les paysages en mosaïque (Güthlin, Storch et Küchenhoff 2013), rassemblant zones de culture, zone de couvert arborescent et haies et au voisinage des habitats humains (Pita *et al.* 2009).

En tant que prédateur de rongeurs, l'exposition des renards aux rodenticides est de mieux en mieux documentée en Europe (Jacquot *et al.* 2013, Seljetun *et al.* 2019) mais les effets sur les populations le sont moins souvent. L'empoisonnement secondaire par les appâts à la bromadiolone a durablement réduit la population de renards dans le Jura (Raoul *et al.* 2003). Les populations de renards sont en outre exposées à diverses maladies, en particulier la gale (Pisano *et al.* 2019) et la maladie de Carré (Nouvellet *et al.* 2013) qui peuvent avoir des effets, au moins temporaires, sur les densités locales.

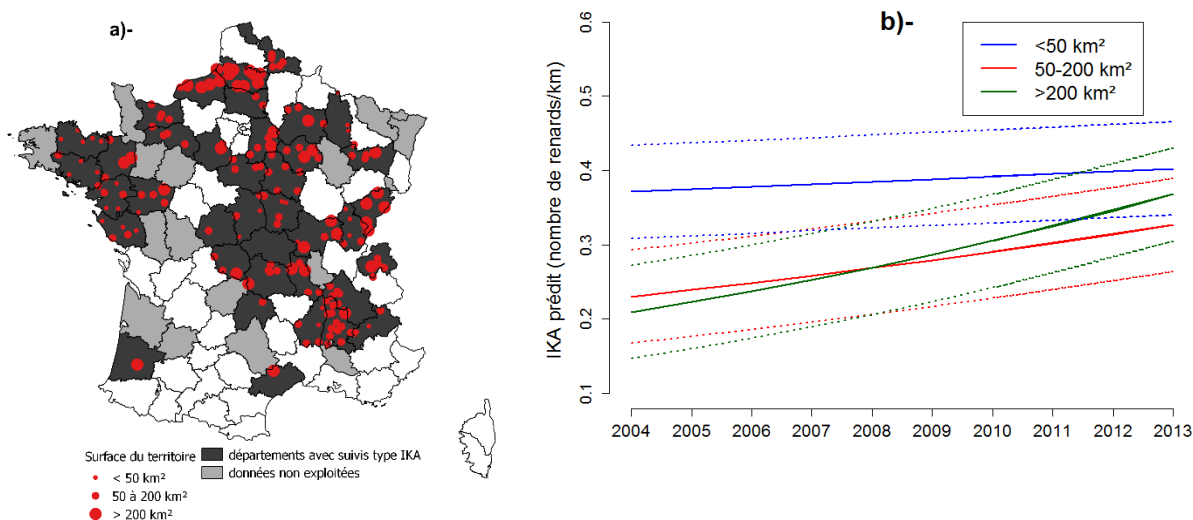
En France, la prédation des chiens et des grands rapaces et grands carnivores sur les renards, principalement les renardeaux, a été observée (Fischer communication personnelle pour des chiens). Son impact sur les populations est probablement faible, mais aucune étude n'a quantifié cet impact sur les densités de renards.



### 2.1.5.3 Suivis et densités de renards en France

En France, les suivis des populations de renards par comptages nocturnes à l'aide de phares sont souvent utilisés comme des indicateurs de l'évolution des populations à l'échelle départementale ou d'un territoire d'étude (Stahl 1990a, b), en construisant un indice kilométrique d'abondance ou IKA (nombre de renards observés de nuit ramené au nombre de kilomètres parcourus). Ces comptages sont réalisés en hiver, entre décembre et mars, alors que les populations ne comprennent que des adultes. Entre 1997 et 2000, une première étude a permis de mettre au point un outil d'estimation des densités, en appliquant la méthode 'distance sampling' à ce type de comptage (Ruelle, Stahl et Albaret 2003a). En 2003, des comptages nocturnes aux phares réalisés à dix ans d'intervalle dans neuf territoires du quart nord-est de la France concluaient à une augmentation des effectifs sur l'ensemble des sites prospectés (Ruelle, Stahl et Albaret 2003b). En 2013, une enquête nationale, réalisée auprès des Fédérations départementales des chasseurs (FDC), en collaboration avec la FNC, a permis de rassembler les suivis hivernaux de renards par comptages nocturnes aux phares sur un ensemble de 185 territoires français, collectés auprès de 54 FDC (Figure 2a, Ruelle *et al.* (2016)). Au total, sur 166 territoires répartis dans 38 départements, l'IKA est en moyenne de  $0,43 \pm 0,39$  renard/km parcouru, avec de grandes variations d'un territoire à l'autre et d'une année à l'autre. L'analyse a tenu compte de la surface moyenne des territoires suivis, très variable, en regroupant les territoires entre 50 et 200 km<sup>2</sup> (n = 85), taille habituellement recommandée pour le suivi des populations de renards (Ruelle, Stahl et Albaret 2003a). La tendance d'évolution moyenne de l'IKA entre 2004 et 2013 est à l'augmentation significative sur les territoires de plus de 50 km<sup>2</sup> et à la stabilité sur ceux de moins de 50 km<sup>2</sup> (Figure 2b).

L'augmentation estimée sur les territoires de plus de 50 km<sup>2</sup> reste néanmoins très faible sur dix ans (2004-2013) et conduit à conclure à une **stabilité moyenne des densités de renards**. Un travail complémentaire utilisant la méthode « distance sampling » a permis d'estimer qu'à l'IKA moyen de 0,43 correspond une densité d'environ 0,97 renard adulte/km<sup>2</sup>. En 2013, 50 % des IKA étaient compris entre 0,20 et 0,66 et le maximum était de 2,99, soit une gamme de densités allant de 0,4 à 1,49 et un maximum de 6,7 renards/km<sup>2</sup>. Ces estimations de densités concernent les populations adultes (en hiver) alors que les prélèvements exercés sur l'espèce (environ 0,9 renard prélevé/km<sup>2</sup>/an) comprennent les jeunes de l'année, qui représentent toujours une forte proportion des prélèvements. En outre, ces valeurs globales masquent une grande hétérogénéité spatiale des densités comme des prélèvements. Cependant, ces estimations donnent une idée des gammes de densités de renards soumis à des prélèvements importants en France.



**Figure 2 a- Répartition des territoires suivis et b- Évolution moyenne de l'IKA prédit par le modèle linéaire généralisé mixte retenu pour un parcours de 41 km (valeur médiane sur les 166 territoires) en fonction de la superficie du territoire**

Les seuls départements où des blaireaux se sont révélés infectés par *M. bovis* et pour lesquels des suivis hivernaux de renards par comptages nocturnes aux phares ont été transmis dans le

cadre de cette enquête, concernant les Landes et la Seine-Maritime. Dans les zones d'étude de ces départements, en Seine-Maritime, les IKA ont varié entre 0,26 et 0,63 renard/km parcouru sur cinq territoires de 200 à 300 km<sup>2</sup> (IKA moyen 0,63 ± 0,20 ET [écart type], entre 2008 et 2013). Les IKA étaient beaucoup plus faibles dans les quatre zones d'étude des Landes, avec des valeurs comprises entre 0,02 et 0,17 renard/km parcouru entre 2008 et 2013 (moyenne 0,07 ± 0,05 ET), les surfaces de ces zones étant particulièrement grandes (de 580 à 3910 km<sup>2</sup>).

## 2.1.6 Interactions avec les bovins et les autres espèces sauvages sensibles à *M. bovis*

La fréquence et la nature des interactions entre le renard et les autres espèces réceptives à la TB sont des éléments comportementaux importants à prendre en compte dans la mesure où ils peuvent conditionner les modalités de transmission au sein de la communauté d'hôtes de *M. bovis* (infection du renard à partir d'autres hôtes ou contamination de l'environnement par le renard pouvant conduire à transmettre la bactérie à d'autres hôtes réceptifs).

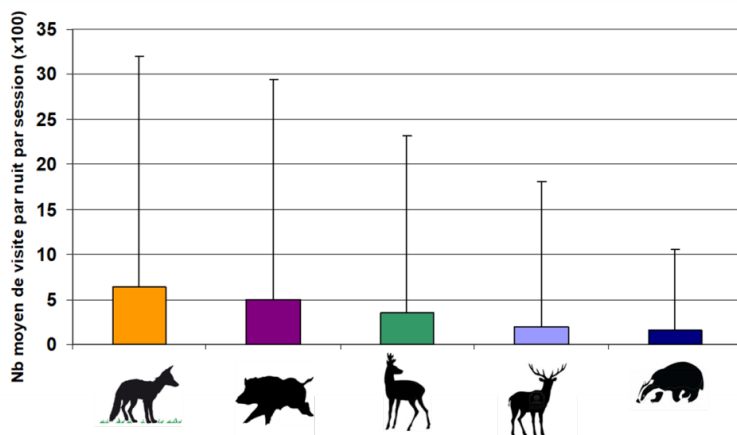
### 2.1.6.1 Interactions avec les bovins

Les interactions entre renards et bovins ont été étudiées en Espagne, en Angleterre et en France au moyen de pièges photographiques disposés au niveau des infrastructures d'élevages (points d'abreuvement ou d'alimentation dans les pâtures, bâtiments, réserves d'aliments).

Dans le centre de l'Espagne où la TB est enzootique, les renards ont été observés principalement au niveau des points d'eau et d'alimentation à hauteur de 16 % des jours (24 h) d'observation, moins fréquemment que les cerfs élaphe (36 %) et les sangliers (28 %) (Carrasco-Garcia 2016).

Dans le sud-ouest de l'Angleterre, Tolhurst, Ward et Delahay (2011) rapportent 422 visites de renards sur 537 nuits caméras, et au moins une visite au cours de 26 % de nuits de surveillance mises en œuvre dans six fermes. Les visites ont été plus fréquentes en l'absence de bovins dans les bâtiments, et positivement corrélées aux températures. Les comportements les plus fréquemment adoptés par les renards ont été la recherche de nourriture (en chassant ou en explorant et furetant/fouinant) tandis que la défécation/marquage (sur les aliments) et les interactions directes avec les bovins ont été peu fréquentes (observées dans 6 % et 2 % des visites respectivement). Ce protocole ayant également permis de récolter des données sur les visites de blaireaux dans les mêmes fermes (Tolhurst *et al.* 2009), il en ressort que les interactions renards-bovins sont moitié moins fréquentes que les interactions blaireaux-bovins, et que les contacts directs (nez à nez) avec les bovins sont plus fréquents pour les blaireaux que pour les renards. Tolhurst, Ward et Delahay (2011) ont estimé la probabilité de contacts renards-bovins en pâture à 42 % de la probabilité de contact blaireaux-bovins. En outre, Villar *et al.* (2013) ont montré, sur un dispositif expérimental, que l'activité des renards sur les pâtures et la densité des campagnols diminuait lorsque la densité de bétail présent sur ces pâtures augmentait.

En France, la surveillance de 101 points supposés attractifs pour la faune sauvage (points d'eau et d'alimentation en pâture, stabulations et réserves d'aliments en bâtiment d'élevage) répartis sur 25 fermes en Côte d'Or a révélé le renard comme espèce la plus fréquente parmi les espèces du système multihôtes sauvage, avec 6,4 visites pour 100 nuits de surveillance (cinq visites de sangliers, 3,5 de chevreuils, 1,9 de cerfs élaphe et 1,6 de blaireaux) (Figure 3). Les renards sont venus davantage en été. Ils ont fréquenté tous les types de points, y compris dans les bâtiments d'élevage, et ont le plus souvent été vus passant ou recherchant de la nourriture. Sur une visite, deux renardeaux ont été observés déféquant sur un point d'alimentation. Aucun contact direct n'a été observé entre renards et bovins (dans cette étude, le seul contact direct a été observé entre un bovin et un blaireau) (Payne 2014, Payne *et al.* 2016).



**Figure 3 Distribution du nombre moyen de visites par nuit et par session (barres d'erreur : écart-type à la moyenne) par espèce sensible à *M. bovis* observées en élevage (pâtures et bâtiments) par vidéosurveillance en Côte d'Or (Payne 2014)**

Dans les zones étudiées, il apparaît donc que les interactions renards-bovins sont plus fréquentes en France qu'en Angleterre et en Espagne, et que ces interactions prédominent sur celles que les autres espèces sensibles à *M. bovis* peuvent avoir avec les bovins. En outre, les analyses n'ont pas mis en évidence de différence de fréquence de visite entre les différentes infrastructures surveillées (points d'alimentation et d'abreuvement en pâture et bâtiment d'élevage).

#### 2.1.6.2 Interactions avec les autres espèces sauvages sensibles à *M. bovis*

Les interactions entre blaireaux et renards ont fait l'objet d'une étude en Angleterre où six terriers et un site de nourrissage (artificiel) ont été surveillés par vidéosurveillance pendant deux ans et quatre mois respectivement. Un total de 135 interactions (concomitance des deux espèces sur la vidéo) a été détecté, la grande majorité (107/135) sur le site d'alimentation. Sur le plan comportemental, les interactions sont apparues majoritairement non agressives (les individus s'ignorant), sauf pour quelques interactions ayant eu lieu au niveau du point d'alimentation, où les charges venaient toujours des blaireaux (Macdonald *et al.* 2004).

En France, la surveillance de souilles et de sites d'agraine en Côte d'Or a montré la présence des renards sur ces sites également très fréquentés par d'autres espèces sauvages : sangliers, cerfs, chevreuils et blaireaux, indiquant que ce type de sites peut être une interface importante au sein du système multihôtes, et notamment entre le renard et les autres espèces (Payne *et al.* 2017).

Des suivis de la fréquentation de terriers de blaireaux appâtés avec l'appât candidat pour la vaccination des blaireaux contre la TB ont été réalisés en Angleterre et en France. Alors qu'en Angleterre, une étude rapporte très peu de renards observés (0,4 % de l'ensemble des observations) (Robertson *et al.* 2015), en France, le renard a représenté 12,3 % du nombre total de visites toutes espèces confondues (Payne *et al.* 2019). Les renards ont parfois semblé occuper les terriers (observation de sortie ou d'entrée dans les gueules) laissés provisoirement vacants par les blaireaux, et une interaction agressive a été observée.

### 2.1.7 Conclusion

Le renard roux est une espèce au comportement très plastique, capable de s'adapter à des milieux très variés. Il vit de façon solitaire ou en « groupes spatiaux » de deux à quatre adultes en général, plus ou moins stables au cours du temps, et occupant un espace variable en surface, notamment selon les disponibilités alimentaires.

Dans les milieux agricoles, ce carnivore généraliste et opportuniste s'intéresse aux secteurs de pâtures pour exploiter certains micromammifères, les lombrics et les insectes présents dans les bouses. Au niveau des bâtiments agricoles et d'élevage, les renards sont attirés par certains



micromammifères commensaux de l'homme, les tas de fumier, la nourriture destinée aux animaux domestiques et les animaux de basse-cour. Le renard est également un charognard facultatif qui consomme les cadavres d'animaux issus de la chasse (viscères laissés sur place ou animaux morts suite à blessures) ou de mort naturelle ou accidentelle.

Les paramètres démographiques des populations de renards traduisent une dynamique de population relativement rapide (reproduction dès la première année, taille des portées assez importante), en particulier plus rapide que celle des blaireaux. Cette dynamique est d'autant plus rapide dans les populations exploitées (chassées, détruites ou piégées), ce qui est le cas dans la plupart des régions de France. Au niveau national, le renard est l'espèce de carnivore la plus abondamment prélevée avec environ 0,9 renard prélevé/km<sup>2</sup> et par an (principalement des jeunes de l'année) depuis plus d'une vingtaine d'années. Les niveaux de prélèvements réalisés sur le renard n'entraînent pas de baisse de densité car les prélèvements sont rapidement compensés. Sur 166 territoires répartis dans 38 départements de France, les densités de renard sont apparues globalement stables ou légèrement en hausse entre 2004 et 2013. Elles variaient entre 0,4 et 1,49 renard (adulte)/km<sup>2</sup>.

Les renards fréquentent les bâtiments d'élevage (réserves d'aliments), les stabulations, ainsi que les points d'eau et d'alimentation en pâture, qui constituent ainsi des points d'interface avec les bovins. Les interactions avec d'autres espèces sauvages du système multihôtes sont possibles *via* la nécrophagie ou *via* les points d'agraineage, les points d'eau et les terriers (blaireau).

## 2.2 Données d'infection par *M. bovis* chez le renard roux (*Vulpes vulpes*)

### 2.2.1 Préambule : méthodes de dépistage et de diagnostic de l'infection à *M. bovis* chez les renards

Les données d'infection par *M. bovis* chez les renards se basent sur la détection de cette mycobactérie sur des matrices par différentes méthodes *in natura* et expérimentales qu'il apparaît utile de présenter avant d'envisager les données bibliographiques. Ces méthodes sont similaires à celles utilisées chez les blaireaux, et sont détaillées dans le rapport de l'Anses relatif à la gestion de la TB et des blaireaux (Anses 2019).

La détection de l'infection à *M. bovis* chez les renards peut être réalisée, sur animal mort, sur tissus et organes, voire sur des lésions si celles-ci sont présentes. La recherche directe de *M. bovis* peut être réalisée par :

- bactériologie après mise en culture de ces échantillons pendant six semaines minimum. La spécificité de la culture est de 100 % et permet de typer les souches de *M. bovis* pour notamment identifier les chaînes de transmission ;
- biologie moléculaire (PCR en temps réel et outils de génotypage). Cette méthode permet une détection plus rapide et plus sensible que la culture, mais n'apporte pas la preuve de la viabilité de la bactérie, donc du caractère contagieux de l'animal. La spécificité du diagnostic moléculaire est proche de 100 %.

Ces méthodes peuvent aussi être mises en œuvre sur des excréta et sécrétions (urines, fèces, mucus trachéal) pour alors caractériser l'excrétion.

Ces méthodes ont intrinsèquement une bonne sensibilité. Néanmoins, la sensibilité du dépistage est rendue plus faible, notamment dans les fèces, du fait de la nécessité d'éliminer les autres bactéries présentes, par le biais d'une étape de décontamination acide ou basique. Cette opération conduit en effet à la destruction d'une partie non négligeable des mycobactéries. La sensibilité est également diminuée sur des prélèvements d'animaux sauvages de moindre qualité, car effectués sur le terrain (dégradation et contamination inévitables des échantillons sur ces animaux). De plus, le regroupement en pools des échantillons d'un même animal entraîne une dilution des bactéries et réduit les chances de les détecter. L'ensemble de ces facteurs conduit à estimer que la sensibilité de la culture appliquée sur des échantillons de la faune sauvage, et donc

sur ceux de renards, est diminuée de 30-40 % par rapport à des échantillons de bovins (donc une sensibilité proche de 50 %), et que la sensibilité du test PCR appliquée sur ce même type d'échantillons de la faune sauvage est diminuée d'environ 10-20 % par rapport à des échantillons de bovins (donc une sensibilité entre 70 à 80 %) (Boschioli communication personnelle). Ainsi, quels que soient les tests utilisés, la prévalence réelle est sous-estimée du fait notamment des limites de la sensibilité des tests de culture ou de PCR (Anses 2019). **Tout renard (comme les autres espèces en France) présentant un résultat positif sur tissu et/ou organe par diagnostic moléculaire (PCR) ou par culture est considéré comme infecté par *M. bovis*.**

La détection indirecte de l'infection par *M. bovis* par sérologie ELISA n'est pas une méthode validée pour le diagnostic chez le renard. L'utilisation de ce type de tests – il s'agit de tests commerciaux notamment employés pour le dépistage de bovins et adaptés pour le renard avec un conjugué canin – est en revanche utile pour le suivi immunologique lors d'infections expérimentales.

## 2.2.2 Données bibliographiques d'infection

Les données publiées de recherche de lésions et/ou d'infection dues à *M. bovis* chez les renards sont relativement peu nombreuses au regard de celles publiées chez les blaireaux et les ongulés, et concernent un nombre faible, voire très faible, d'animaux, d'où des estimations peu précises. Les échantillons étudiés ont été prélevés soit de manière opportuniste (sans choix particulier), soit dans des zones géographiques où la TB a été détectée chez d'autres espèces domestiques et/ou sauvages. Dans les deux cas, la représentativité des échantillons n'est pas assurée.

Enfin, les études les plus anciennes référencées par la suite sont basées sur des méthodes de recherche de la bactérie par culture, éventuellement sur les organes porteurs de lésions. Comme indiqué en préambule ci-dessus, cette méthode sous-estime très probablement la prévalence réelle.

Les données disponibles sont présentées ci-après sur la base de la revue bibliographique effectuée par Sabatier (2018) et actualisée. Les données en Europe sont résumées dans le Tableau 4.

### 2.2.2.1 Aux Etats-Unis d'Amérique

Dans l'Etat du Michigan, entre 1996 et 1997, cinq renards roux ont été prélevés à proximité d'un troupeau d'élan (*Alces alces*) captifs infectés par *M. bovis*. Les résultats des analyses par culture bactérienne sur pool de NL crâniens<sup>5</sup>, bronchiaux, médiastinaux et mésentériques étaient négatifs (Bruning-Fann *et al.* 1998). Ensuite, jusqu'en juin 1999 et sur une zone plus étendue, *M. bovis* a été isolé par culture bactérienne sur pool de NL (parotidiens, mandibulaires, rétropharyngiens, bronchiques, médiastinaux et mésentériques) chez un renard roux mâle adulte parmi cinq analysés (sur six prélevés, dont trois adultes) (Bruning-Fann *et al.* 2001). La souche isolée sur ce renard roux n'a pas été caractérisée.

Dans le cadre du *Michigan Bovine Tuberculosis Eradication Project*, trois renard roux ont été diagnostiqués positifs à *M. bovis* entre 1996 et 2002 (nombre d'individus analysés non disponible) (Michigan Department of Agriculture 2005).

### 2.2.2.2 Au Canada

Dans le Parc national du Mont-Riding, où *M. bovis* est régulièrement détecté chez le wapiti (*Cervus canadensis*) et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) (Fitzgerald et Kaneene 2012), aucune lésion évocatrice de TB n'a été mise en évidence chez 14 renards roux collectés dans le

---

<sup>5</sup> Le terme « NL crâniens » regroupe les NL parotidiens, mandibulaires et rétropharyngiens médiaux

cadre d'une étude multi-espèces (Bergeson communication personnelle 2008, dans Wobeser (2009)).

Dans le Wood Buffalo National Park, où l'infection à *M. bovis* est enzootique chez le bison des bois (*Bison bison athabasca*) (Wobeser 2009), aucun des 37 renards roux autopsiés ne présentait de lésions évocatrices de TB. Une recherche de mycobactéries par culture bactériologique n'étant effectuée que sur les organes présentant des lésions, aucune mise en culture n'a été effectuée ici (Tessaro 1988).

### 2.2.2.3 En Europe (hors France)

- **En Angleterre**

En 1982, Little *et al.* (1982) ont détecté un renard infecté par *M. bovis* (par culture bactérienne sur pool de NL) parmi sept capturés dans des zones où, soit des blaireaux ont été trouvés infectés, soit des troupeaux bovins infectés ont pâture.

Ensuite, dans une étude menée par le *Ministry of Agriculture, Fisheries and Food* (MAFF) chez 27 espèces sauvages entre 1976 et 1996, une prévalence d'infection par *M. bovis* (culture bactérienne) de 1,2 % (0,6 – 2,1 %) a été trouvée chez les renards roux (Delahay, Cheeseman et Clifton-Hadley 2001, Delahay *et al.* 2002). Dans cette étude, un total de 993 renards a été prélevé dans le Sud de l'Angleterre et au Pays de Galles, ce qui en fait l'espèce la plus représentée de l'étude. Des prévalences plus importantes ont été enregistrées chez d'autres espèces (chevreuil *Capreolus capreolus*, muntjac *Muntiacus reevesii*, chat domestique *Felis catus*), mais les tailles d'échantillons étaient faibles. Il convient de noter que l'échantillonnage concernait des zones où l'incidence de la TB était importante en élevage bovin.

Dans une autre étude conduite uniquement dans le Sud-Ouest de l'Angleterre, une prévalence apparente de 3,2 % (2,0 – 4,7 %) a été trouvée chez les renards (n = 756) (Delahay *et al.* 2007). Les prélèvements ont été réalisés dans les « zones à fort risque pour les bovins », lieu d'abattage des blaireaux, et proche de Woodchester Park, et les protocoles d'examen *post mortem* ont concerné davantage d'organes que lors de la précédente étude (culture bactérienne sur pool de NL rétropharyngiens, trachéobronchiques, médiastinaux et mésentériques, échantillons de poumon, de rate et lésions macroscopiques). Cette étude n'a pas mis en évidence de différence de taux d'infection entre juvéniles (2/81) et adultes (21/651) (p-value = 0,98). En revanche, la prévalence apparente était plus élevée chez les femelles (4,9 %, 16/326) que chez les mâles (1,9 %, 8/427) (p-value = 0,04). Concernant les lésions, un seul des renards ayant permis de mettre en évidence *M. bovis* par culture bactérienne (n = 25) présentait des lésions (hypertrophie des NL mésentériques avec abcès de 0,5 mm de diamètre).

- **En Espagne**

Des analyses bactériologiques de carnivores trouvés morts entre 1997 et 1998 ont été effectuées dans le Parc National de Doñana où l'infection est présente chez le sanglier (*Sus scrofa*) (León-Vizcaíno *et al.* 1990), le daim européen (*Dama dama*) et le lynx ibérique (*Lynx pardinus*) (Briones *et al.* 2000, Pérez *et al.* 2001). Ces analyses ont mis en évidence, pour la première fois en Espagne, l'infection par *M. bovis* chez un renard adulte (n = 7) par culture bactérienne sur NL rétropharyngiens (Martín-Atance *et al.* 2005).

En 2006, l'analyse du statut sérologique des renards envers l'infection à *M. bovis*, par recherche des anticorps anti-protéine MPB70 par une méthode ELISA, a permis d'estimer une séroprévalence de 4 % (n = 118) (Martín-Atance *et al.* 2006). Les auteurs précisent que cette méthode n'ayant jamais été validée chez les carnivores, la séroprévalence évaluée est vraisemblablement sous-estimée, le test ELISA utilisé ici étant peu sensible.

En 2008, un renard capturé dans le cadre d'une étude écologique, âgé et très faible, est mort au cours d'une anesthésie. Les examens microbiologiques effectués sur des échantillons de NL sous-mandibulaires, rétropharyngiens, médiastinaux, axillaires, mésentériques et poplités prélevés lors de l'autopsie ont mis en évidence la présence de *M. bovis* (Millán *et al.* 2008).

### • Au Portugal

Deux études ont été menées dans la région Centre-Est du pays, concernée par une forte prévalence de la TB chez les animaux sauvages (Santos *et al.* 2009, Vieira-Pinto *et al.* 2011). La première étude concernait 49 renards tués sur les routes entre 2009 et 2012. Des bactéries du complexe MTBC ont été mises en évidence par PCR chez 10 individus (20,4 %) (sept mâles adultes, deux mâles juvéniles et une femelle adulte) ; la culture bactérienne à *M. bovis* était positive chez trois de ces individus (6,1 %) (Matos *et al.* 2014). Dans la seconde étude, sur 52 renards roux trouvés morts entre 2009 et 2013 et analysés par culture bactérienne et PCR, une prévalence d'infection par *M. bovis* de 26,9 % (16,8 – 40,2 %) a été trouvée (Matos *et al.* 2016). Selon les auteurs, cette prévalence élevée est en partie expliquée par le fait qu'un animal était considéré infecté en cas de résultat positif par PCR et/ou culture bactérienne, augmentant le nombre d'individus trouvés infectés par rapport à l'usage de la culture bactérienne seule, et par l'important nombre de prélèvements testés par animal prélevé. La nature des échantillons trouvés infectés n'est pas précisée. Dans cette seconde étude, sur les 14 renards avec résultats positifs (en culture et/ou PCR), un seul, avec résultat positif en PCR et négatif en culture, présentait des lésions visibles, la localisation des lésions n'étant pas précisée.

**Tableau 4 Données bibliographiques d'infection et d'exposition à *M. bovis* chez le renard roux en Europe**

Pays	Méthode	Données chez le Renard roux	Zones d'étude, avec données chez autres espèces		Source
Royaume-Uni	Culture bactérienne sur animaux capturés	1 positif sur 7 capturés	Captures près de terriers ou de pâtures d'une ferme de 1 200 ha dans le sud du Dorset suite à la découverte de l'infection chez les bovins et les blaireaux (12 positifs / 20)		Little <i>et al.</i> (1982)
	Culture bactérienne sur animaux capturés	12/993 (1,2 %) de 1971 à 1997	Sud de l'Angleterre et au Pays de Galles, dans des zones d'incidence TB importante en élevage bovin		Article de Review. Delahay, Cheeseman et Clifton-Hadley (2001)
	Culture bactérienne sur animaux capturés	24/756 (3,2 %) en 2007	Sud-Ouest de l'Angleterre, avec prélèvements réalisés dans « zones à fort risque pour les bovins » (lieu d'abattage des blaireaux dans le cadre du RBCT) et de Woodchester Park		Delahay <i>et al.</i> (2007)
Espagne	Culture bactérienne sur animaux trouvés morts	1/7	Parc National de Doñana (DNP) Dans Barasona <i>et al.</i> (2014) : incidence élevée de la TB chez les bovins dans le DNP (9,23 % par an en moyenne), prévalence de la TB élevée chez les sangliers (45 – 52 %), les cerfs et les daims (14 – 19 %)		Martín-Atance <i>et al.</i> (2005)
	Sérologie ELISA MPB70	5/118 (4 %)			Martín-Atance <i>et al.</i> (2006)
	Culture bactérienne	1 (animal capturé pour étude biologique, mort lors de l'anesthésie)			Millán <i>et al.</i> (2008)
Portugal	PCR MTBC et culture bactérienne <i>M. bovis</i> sur animaux trouvés morts sur les routes de 2009 à 2012	10/49 (20,6 %) / 3/49 (6,1 %)	Idanha-a-Nova et Penamacor, Castelo Branco, centre-ouest du Portugal	Zones B et C de Santos <i>et al.</i> (2009) : prévalence sangliers de 6,2 % (0,8 – 20,8) et 22,3 % (6,4 – 47,6)	Matos <i>et al.</i> (2014)
	PCR/ culture bactérienne <i>M. bovis</i> sur animaux trouvés morts de 2009 à 2013	14/52 (26,9 %)			Matos <i>et al.</i> (2016)

Les données d'infection rapportées chez les renards en Grande-Bretagne et en Espagne ont été obtenues par culture bactérienne, alors que celles rapportées au Portugal se basent sur l'utilisation de la PCR sur organes et NL, de sensibilité plus grande que la culture, et de très bonne spécificité, ce qui peut en partie expliquer les taux d'infection importants rapportés au Portugal. Quel que soit le pays en revanche, l'hypothèse que les renards se sont infectés par consommation de cadavres d'ongulés infectés (cervidés ou sangliers selon la zone), voire de blaireaux (en Grande-Bretagne) est présentée comme la plus probable (Delahay *et al.* 2007, Matos *et al.* 2016, Millán *et al.* 2008). Par ailleurs, en Grande-Bretagne, l'infection par un environnement contaminé est aussi évoquée du fait que les renards peuvent habiter des terriers de blaireaux désaffectés ou des parties inoccupées de terriers occupés.

### 2.2.3 Données épidémiologiques en France

#### 2.2.3.1 Etudes de prévalence entre 2001 et 2015

- En **forêt de Brotonne-Mauny**, en Haute-Normandie, *M. bovis* a été mis en évidence pour la première fois dans la faune sauvage non captive en France chez trois cerfs élaphe tués à la chasse en 2001 (Hars *et al.* 2004). L'enquête épidémiologique conduite suite à la découverte de ces cas a révélé un taux apparent d'infection de 14 % chez les cerfs et de 28 % chez les sangliers (culture bactérienne) (Hars *et al.* 2006, Zanella, Duvauchelle, *et al.* 2008). Alors que, malgré les mesures de lutte, l'infection s'était amplifiée chez les cerfs (23 % d'infection) et les sangliers (37 %) (Hars *et al.* 2006, Zanella, Durand, *et al.* 2008), lors de l'enquête 2005-2006, *M. bovis* fut également isolé par culture bactérienne sur NL chez **un renard** (n = 49) ne présentant pas de lésion macroscopique (Zanella, Duvauchelle, *et al.* 2008). Ensuite, à partir de 2007, la surveillance chez le renard a été basée uniquement sur la recherche de lésions évocatrices lors de l'inspection des cadavres de renards tirés à la chasse par un vétérinaire spécialement formé (il n'y avait pas de diagnostic bactériologique systématique des renards prélevés, mais uniquement sur animaux à lésions). Ainsi, entre 2001 et 2012, sur un total de 164 renards inspectés, aucun ne présentait de lésions évocatrices de TB (Hars *et al.* (2012), DDPP76). Depuis 2007, aucune analyse bactériologique n'a été pratiquée sur des prélèvements de renards. Le seul renard diagnostiqué tuberculeux en forêt de Brotonne-Mauny est resté celui de 2005.

- En **Côte d'Or**, le renard faisait partie des espèces prélevées dans le cadre de la surveillance programmée, entre 2005 et 2008, avec un nombre d'animaux analysés toutefois faible. Durant cette période, dix renards ont été analysés par culture bactérienne sur pool de NL (céphaliques, trachéobronchiques et médiastinaux) et lésions éventuelles. A partir de 2009, l'échantillon de renards était constitué de renards trouvés morts sur la route, collectés *via* le réseau SAGIR ou piégés accidentellement dans le cadre du piégeage de blaireaux pour la lutte contre la TB. La méthode d'analyse a évolué : les matrices analysées étaient inchangées, mais la culture bactérienne était doublée d'une PCR. Au total, entre 2005 et 2012, **trois renards** sur 69 prélevés en 2009 et 2010 ont fourni des résultats positifs à *M. bovis* par culture bactérienne et PCR (Payne (2014), d'après les données de la DDPP21 ; avant 2008 les analyses étaient réalisées seulement par bactériologie). Les génotypes des souches isolées chez ces trois renards étaient tous identiques à ceux des souches isolées dans les foyers bovins présents à proximité : génotype spoligotype SB0120 - MLVA (*Multi-Locus Variable number tandem repeats Analysis*) 5 5 4 3 11 4 5 6 (Payne 2014). En 2014, **un renard** sur 33 prélevés en 2013-2014 en marge de la surveillance programmée prévue par le dispositif Sylvatub dans le département a fourni un résultat positif à *M. bovis* (génotype : spoligotype SB0120 - MLVA 5 5 4 3 11 4 5 6) par culture bactérienne et PCR.



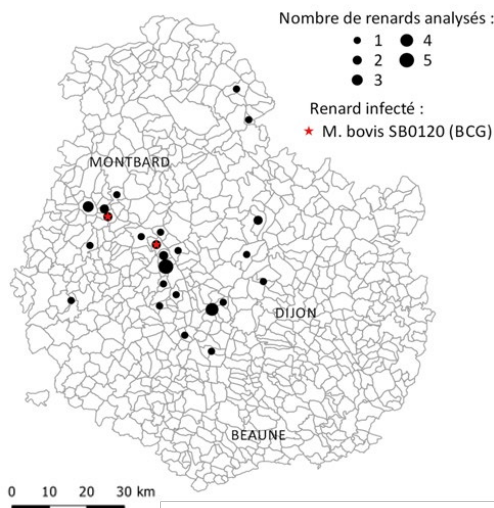


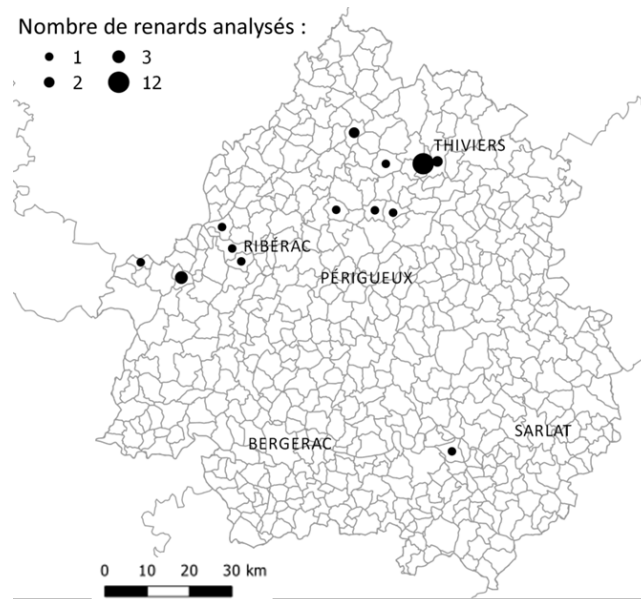
Figure 4 Répartition géographique des renards prélevés pour analyse et des renards infectés par *M. bovis* en Côte-d'Or entre 2005 et 2014 (source des données : DDCSPP21)

- En **Dordogne**, la recrudescence de la TB, observée depuis 2004 dans les cheptels bovins du département, a motivé la mise en place, à partir de 2005, d'enquêtes épidémiologiques dans la faune sauvage. En 2005, **22 renards**, prélevés dans la zone de plus forte incidence bovine, ont été autopsiés et analysés par culture bactérienne et PCR, **aucun** n'a été trouvé infecté par *M. bovis* (Réveillaud 2011). L'incidence élevée de foyers de TB chez les bovins, associée à la découverte d'un cerf tuberculeux en janvier 2010 (Hars, Richomme et Boschiroli 2010), a motivé la mise en place d'une nouvelle enquête épidémiologique dans la faune sauvage pendant la saison cynégétique 2010-2011. Durant cette enquête, **13 renards** ont été analysés par PCR IS6110 (recherche de bactérie du complexe MTBC) sur pool de NL préscapulaires, rétropharyngiens, trachéobronchiques, médiastinaux et mésentériques, puis culture bactérienne, mais **aucun** renard n'a été trouvé infecté (Réveillaud 2011). L'enquête s'est poursuivie en 2011, avec **15 renards** supplémentaires analysés et, les années suivantes, **cinq renards** ont été analysés au LDAR24<sup>6</sup> ; **aucun** n'a été trouvé infecté.

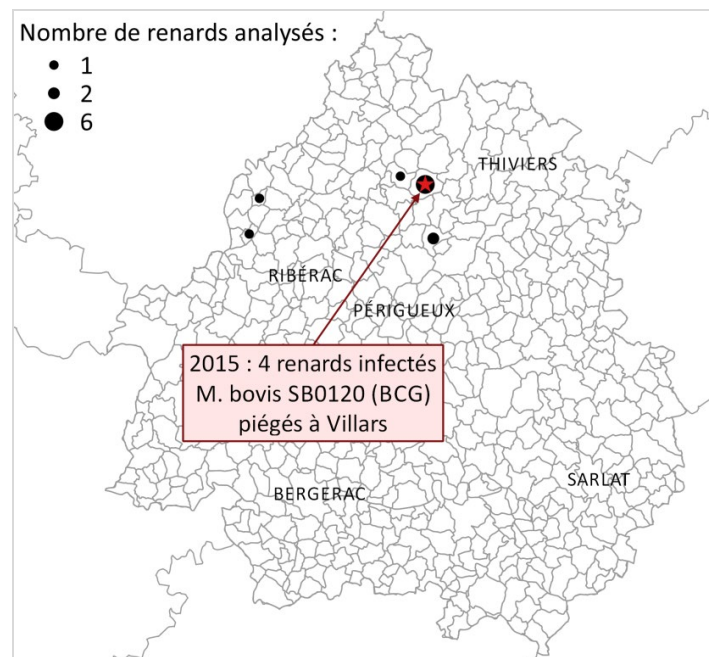
En **2015**, **sur six renards** déposés dans le congélateur du point de collecte Sylvatub de la commune de **Villars** dans la zone infectée Nord du département suite à un appel à prélèvement de renards en 2012-2013 (en marge de la thèse d'Ariane Payne, Payne (2014)), **quatre se sont révélés positifs** à *M. bovis*, par culture bactérienne sur pool de NL rétropharyngiens, trachéobronchiques, médiastinaux, et mésentériques. Le génotype spoligotype SB0120- MLVA 5 3 5 3 9 4 5 6, était identique à celui des foyers bovins et des autres animaux sauvages infectés de la zone (blaireaux, sangliers, cerfs et chevreuils) (Michelet *et al.* 2018). Les fèces des quatre renards infectés présentaient des bacilles du complexe MTBC (dont un *M. bovis* spoligotype SB0120, suggérant une excrétion possible de bacilles par voie fécale. Un des individus infectés présentait également une PCR *M. bovis* positive sur urine et sur un écouvillon trachéal (résultat positif au complexe MTBC) (Michelet *et al.* 2018).

La découverte de ces premiers renards à résultats positifs détectés en Dordogne, prélevés dans une commune de la zone infectée nord du département, où d'autres espèces sauvages et des bovins sont régulièrement trouvés infectés, a motivé la mise en place d'une première étude pour déterminer le rôle épidémiologique du renard roux dans la circulation de *M. bovis* dans cette zone (voir ci-après « étude 1 Dordogne »).

<sup>6</sup> Laboratoire départemental d'analyse et de recherche de Dordogne



**Figure 5 Répartition géographique des renards prélevés pour analyse lors de l'enquête menée en Dordogne en 2010 et 2011 (n = 28) (source des données : DDCSPP24)**



**Figure 6 Répartition géographique des renards prélevés pour analyse en Dordogne entre 2012 et 2015 (source des données : DDCSPP24)**

### 2.2.3.2 Etudes de prévalence récentes (2016-2019)

Suite à la découverte des renards infectés en 2015 à Villars, une première étude de prévalence chez les renards a été menée au cœur de la zone d'enzootie de Dordogne (« étude 1 » dans la suite de ce rapport) en 2016-2018. Suite aux résultats de cette étude 1, une deuxième étude a été mise en œuvre en 2018-2019 (« étude 2 »), toujours en Dordogne, mais sur une plus large zone pour savoir si, en dehors des 25 communes ciblées par l'étude 1, l'infection était présente chez les renards dans le reste de la zone infectée au nord du département et, dans l'affirmative, pour en estimer la prévalence. Enfin, toujours suite aux résultats de l'étude 1, et en parallèle de l'étude 2, une troisième étude a été mise en œuvre en 2019 pour estimer la prévalence de l'infection chez les renards dans des zones de superficie comparable à la zone d'étude 1 (environ 500 km<sup>2</sup>) mais

dans d'autres départements concernés par une infection multihôtes (bovins, blaireaux, sangliers) comparable, au cœur des zones infectées des Landes, de la Charente et de la Côte d'Or.

Ces trois études ont été financées dans le cadre d'un appel à projet du RFSA (Réseau Français pour la Santé Animale) et de la DGAL, initié en 2016. Les modalités de ces études et leurs résultats détaillés sont présentés dans les annexes 2, 3 et 4. Les études 1 et 3 ont fait l'objet d'une publication commune (Richomme *et al.* 2020).

En résumé,

- L'étude 1 mise en œuvre à l'échelle de 25 communes (525 km<sup>2</sup>) autour des renards trouvés infectés en Dordogne en 2015 met en évidence 13 renards infectés sur les 184 analysés, soit une prévalence apparente de 7,1 % (IC<sub>95%</sub> 3,8 – 11,8%). La prévalence chez les blaireaux dans la même zone durant la même période (2017 - 2018) était de 12,1 % (IC<sub>95%</sub> : 5,7 – 21,8 ; n = 74). Si l'on considère les quatre années avant l'étude (2014 – 2018), cette prévalence était chez les blaireaux de 10,6 % (6, 4 – 15,9 ; n = 180) et, chez les sangliers, de 3,4 % (1,8 – 7,4 ; n = 228) (données Sylvatub). Le nombre d'élevages bovins foyers dans la zone était de 12 en 2017 et 9 en 2018 (sur 180 élevages). Le génotype des souches de *M. bovis* identifiées chez les renards, les bovins et les autres espèces sauvages infectés de la zone est le même (spoligotype SB0120 - MLVA 5 3 5 3 9 4 5 6).

Sur le plan spatial, sept des 13 renards trouvés infectés par *M. bovis* lors de l'étude 1 provenaient de deux zones qui concentrent la majorité des foyers bovins recensés au cours des cinq années précédant l'étude et le plus grand nombre d'animaux sauvages trouvés infectés depuis la mise en place de Sylvatub. De plus, cinq des 13 renards trouvés infectés en 2017-2018 ont été piégés sur ou en limite des pâtures de bovins d'exploitations trouvées infectées en 2016 ou 2017, et cinq renards à moins de 300 m des pâtures des exploitations bovines trouvées infectées entre 2016 et 2019. Les trois autres renards infectés ont été piégés à environ 1 km d'une pâture d'élevage foyer (maximum = 1064 m). La médiane de la distance entre le site d'échantillonnage des renards et le centre des parcelles pâturées par les bovins d'un élevage infecté entre 2015 et 2019 est de 301 m pour les renards infectés et de 643 m pour les renards testés négatifs, les renards infectés tendent donc à être observés plus près des parcelles d'élevages infectés que les renards non infectés, bien que cette différence ne soit pas significative ( $p = 0,07$ ).

- Au cours de l'étude 2, 142 renards ont été prélevés dans 59 des 198 communes ciblées (Figure 17, annexe 2) et les prélèvements ont pu être analysés (une quarantaine d'autres renards avaient été prélevés et acheminés au LDAR24 mais les prélèvements ont été détruits lors de l'incendie du LDAR24 en décembre 2018). Quatre renards ont été trouvés infectés par *M. bovis* indiquant une prévalence de 2,8 % (IC<sub>95%</sub> : 0,1 - 5,8 %).
- Les résultats obtenus en Côte d'Or, en Charente et dans les Landes lors de l'étude 3 sont présentés sur la Figure 19, la Figure 20 et la Figure 21 de l'annexe 4, et dans le Tableau 5 ci-dessous, qui reprend aussi les données de l'étude 1 (issus de Richomme *et al.* (2020)).

**Tableau 5 Résultats de l'étude de l'infection chez les renards en zones infectées de trois départements de la région Nouvelle Aquitaine et en zone infectée de Côte d'Or (issus de Richomme *et al.* (2020))**

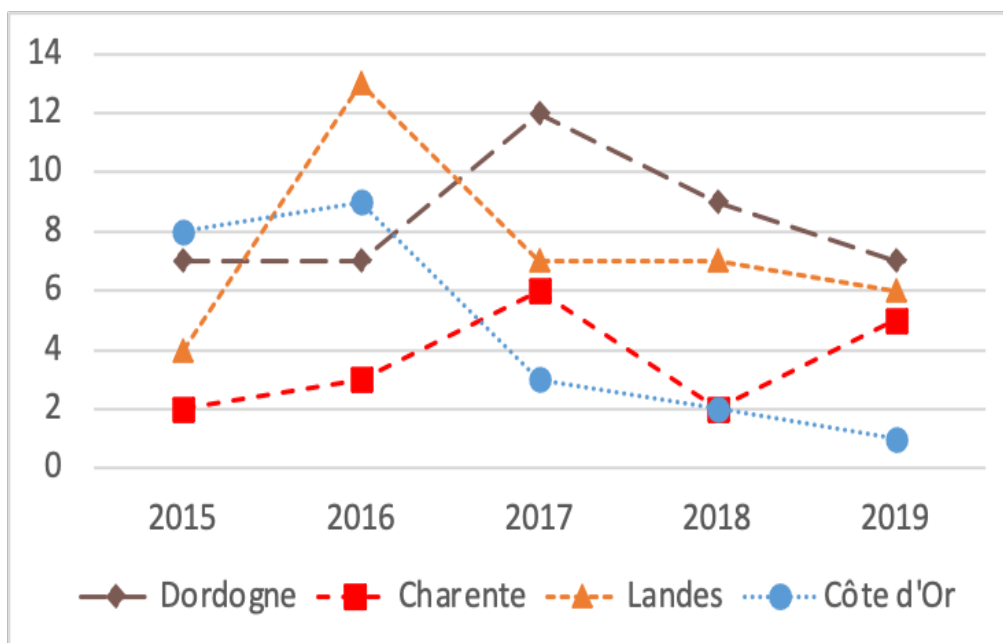
	Renards analysés	Renards infectés	Prévalence (en %)	Intervalle de confiance à 95 %	
Dordogne (étude 1)	184	13	7,1	3,8	- 11,8
Charente (étude 3)	98	9	9,2	4,3	- 16,7
Landes (étude 3)	140	7	5,0	2,0	- 10,0
Nouvelle-Aquitaine*	422	29	6,9	4,6	- 9,7
Côte d'Or (étude 3)	146	0	-	0	- 2,5

\* Les prévalences dans les trois départements n'étant pas statistiquement différentes (Chi<sup>2</sup>, p-value = 0,4239), une prévalence chez les renards des trois zones étudiées en Nouvelle-Aquitaine a été calculée



Aucun renard n'a été trouvé infecté en Côte d'Or. En parallèle, on observe que, depuis 2012, la situation sanitaire en Côte d'Or s'améliore simultanément chez les bovins et les espèces sauvages surveillées (diminution du nombre de foyers bovins y compris dans la zone ciblée par l'étude 3, diminution de la prévalence apparente chez les blaireaux et les sangliers) (Anses 2019).

A *contrario*, dans les trois départements de Nouvelle-Aquitaine étudiés (Landes, Charente et Dordogne), et où la prévalence moyenne est de 6,9 % chez les renards (Richomme *et al.* 2020), la prévalence chez les blaireaux a augmenté, de même que le nombre de foyers bovins (Anses 2019). En 2019, année de l'étude 3, le nombre de foyers bovins dans les zones d'environ 500 km<sup>2</sup> étudiées était plus élevé en Charente et dans les Landes (5 - 7) qu'en Côte d'Or (1, Figure 7).



**Figure 7 Evolution du nombre de foyers bovins dans les zones de provenance des renards analysés lors de l'étude 1a en Dordogne et l'étude 3 en Charente, Landes et Côte d'Or**

Dans les quatre zones de superficies comparables étudiées, où *M. bovis* circule dans un système multihôtes bovin-espèces sauvages (Dordogne, Charente, Landes et Côte d'Or), la prévalence d'infection observée chez les renards est comparable dans les trois zones de Nouvelle-Aquitaine (6,9 % en moyenne), et du même ordre de grandeur que celles observées chez les blaireaux dans ces zones. Aucun renard infecté n'est mis en évidence en Côte d'Or, département où la situation sanitaire au regard de la TB s'améliore sur la période d'étude, à la fois chez les bovins et les animaux sauvages, contrairement aux territoires infectés de Nouvelle-Aquitaine, où le nombre de foyers bovins et la prévalence chez les blaireaux sont en augmentation ces dernières années.

### 2.2.3.3 Etude de la localisation de l'infection chez le renard et de l'excrétion de *M. bovis*

#### 2.2.3.3.1 *Données obtenues en milieu naturel*

Aucun des renards trouvés infectés dans les études 1, 2 et 3 ne présentait de lésion évocatrice de TB.

Concernant la localisation de l'infection, des données ont pu être obtenues lors de l'étude 1 en Dordogne et de l'étude 3 en Charente et dans les Landes. Ces données sont consignées dans le Tableau 6 ci-dessous (issues de Richomme *et al.* (2020)).

**Tableau 6 Résultats de la détection de *M. bovis* dans différents tissus de renards trouvés infectés en Nouvelle-Aquitaine (issus de Richomme *et al.* (2020))**

Tissus analysés	Détection de <i>M. bovis</i>		
	Total analysés	Culture positive <sup>(2)</sup>	PCR positive
Nœuds lymphatiques (NL) mésentériques	41	4	28
Pool de NL rétropharyngiens et respiratoires <sup>(1)</sup>	29	2	26
NL rétropharyngiens séparément	12	3	1
NL respiratoires séparément	12	1	8
Fèces	12	0	5 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Parmi les 41 renards analysés, les analyses sur NL rétropharyngiens et respiratoires ont été réalisées séparément pour 12 renards ou en pool pour les 29 autres renards

<sup>(2)</sup> Tous les tissus positifs en culture bactérienne étaient positifs en PCR à l'exception de 2 NL rétropharyngiens

<sup>(3)</sup> Pour quatre des cinq renards, *M. bovis* a été détecté dans le NL mésentérique

L'infection à *M. bovis* au niveau des NL rétropharyngiens peut être due à une contamination par l'ingestion ou l'inhalation de matière infectée. En revanche, l'infection au niveau mésentérique, telle qu'observée ici dans près de 70 % des cas, révèle plus probablement une exposition de l'animal par voie digestive. L'infection par voie respiratoire est aussi attestée (infection seulement des NL pulmonaires). Pour les renards chez lesquels *M. bovis* a été détecté dans le pool de NL rétropharyngiens et respiratoires, il n'a pas été possible de déterminer si un seul type de NL ou les deux étaient infectés, et donc de savoir quelle voie d'exposition avait entraîné l'infection. Concernant les NL analysés séparément (n = 12), chez un renard, *M. bovis* a été détecté par PCR dans les NL rétropharyngiens, mais pas dans les NL respiratoires, ce qui peut également être le résultat d'une infection orale lors de la mastication d'aliments infectés. Chez huit autres renards, *M. bovis* était présent dans les NL respiratoires (résultats PCR positifs dont un résultat positif aussi en culture bactérienne), ce qui pourrait être le résultat d'une infection par des aérosols produits par un animal ou une source infectée (sol dans les terriers ou sur les pâtures, ou aliments pour bétail dans les exploitations agricoles).

En ce qui concerne l'excrétion, l'analyse d'échantillons de fèces de 12 renards infectés de Dordogne (étude 1) a montré que cinq présentaient de l'ADN de *M. bovis*, dont quatre étaient infectés dans les NL mésentériques (Richomme *et al.* 2020). Ces résultats révèlent une excrétion fécale probable de *M. bovis*, même si la présence de bactéries vivantes n'a pas pu être confirmée par culture. L'urine, ou les reins si l'urine n'était pas disponible, et les prélèvements trachéaux de ces animaux ont tous fourni des résultats négatifs par PCR. Lors de l'étude 2, les fèces et urines de trois des quatre renards trouvés infectés ont pu être analysés : l'ADN de *M. bovis* a été détecté dans les fèces de l'un d'entre eux.

L'infection des nœuds lymphatiques mésentériques observée en milieu naturel chez plus de deux tiers des renards infectés, ainsi que l'infection des nœuds lymphatiques rétropharyngiens, parfois concomitantes, indiquent le plus vraisemblablement une exposition digestive prépondérante. Pour certains renards en revanche, on observe une infection des nœuds lymphatiques pulmonaires à mettre en rapport avec une exposition par voie respiratoire. Sur le plan de l'excrétion, le fait que certains renards trouvés infectés au niveau des nœuds lymphatiques mésentériques présentaient de l'ADN de *M. bovis* dans les fèces indique une probable excrétion de bacilles par voie fécale.

#### 2.2.3.3.2 Données de l'étude expérimentale

L'excrétion de *M. bovis* par un individu infecté a longtemps été considérée comme associée à la présence de lésions (Corner 2006). Or, Michelet *et al.* (2018) ont mis en évidence de l'ADN de bactéries du complexe MTBC dans les fèces des quatre renards infectés en 2015 en Dordogne qui ne présentaient pas de lésions macroscopiques. Un de ces individus présentait également une réaction positive en PCR à partir des urines et des sécrétions oropharyngées. Même si

l'identification complète de l'espèce bactérienne présente dans ces excréta n'a été possible que pour un individu, l'infection par *M. bovis* de ces excréta de renards, trouvés infectés par ailleurs par *M. bovis* dans des NL, est très probable. Aussi, en plus des études de l'infection en milieu naturel décrites précédemment, il apparaissait nécessaire de mieux connaître le déroulement de l'infection à *M. bovis* chez les renards, ce qui n'avait jamais été fait précédemment.

Une infection expérimentale de 12 renards d'élevage captifs a été conduite dans l'objectif d'établir un protocole d'infection expérimentale et de suivre l'excrétion bactérienne (oropharyngée, fécale et urinaire) pendant les 12 semaines de l'étude. Elle a été réalisée par administration par voie orale d'une dose de *M. bovis* compatible avec une exposition en conditions naturelles et avec une souche circulant en Dordogne. Les matériels et méthodes détaillés, ainsi que les résultats bruts de cette étude, sont présentés dans l'annexe 5. L'interprétation de ces résultats, non encore publiés à la date de validation du rapport, est en cours en vue de leur publication.

En résumé ici,

- La voie d'inoculation a été digestive (ingestion d'un morceau de viande infecté artificiellement), avec l'objectif de reproduire une infection similaire à celle observée lors de l'étude de l'infection naturelle en Dordogne, dont les premières données orientaient vers une voie d'exposition majoritairement digestive.
- Les renards ont fait l'objet d'un suivi clinique, immunologique, ainsi que d'un suivi de l'excrétion bactérienne pendant 12 semaines, puis d'un examen nécropsique et d'analyses *post mortem*.
- Aucun signe clinique n'a été observé pendant les 12 semaines de l'expérience. Tous les renards ont fourni des résultats positifs au test Interféron gamma sur sang total pendant l'expérience, dix ont fourni des résultats sérologiques positifs pendant l'expérience, et neuf au dernier point, suggérant une réponse immunitaire assez comparable à celle observée chez les blaireaux lors d'études expérimentales.
- Lors de l'autopsie, seules quelques très petites lésions macroscopiques ont été observées chez deux renards. A l'histologie, de petits granulomes ont été observés dans les NL infectés, les amygdales, le foie et les poumons de sept renards, avec la présence de bacilles peu nombreux.
- Pour chacun des 12 renards, au moins trois échantillons *post mortem* (sur les 28 testés par renard) ont fourni des résultats positifs en PCR. Pour 11 des renards, au moins, un tissu était positif en culture bactérienne. Le renard dont les résultats en culture étaient négatifs présentait des résultats positifs en PCR dans les NL rétropharyngiens et mésentériques. Ceci n'est pas différent des autres animaux où les NL rétropharyngiens, les amygdales et les NL mésentériques ont été les tissus les plus fréquemment infectés (infection constatée respectivement chez 11 animaux sur 12, 10 sur 12 et 6 sur 12).
- *M. bovis* a été détecté par PCR dans la vessie de trois renards et les reins d'un renard 12 semaines après l'infection. Au cours de l'expérience, *M. bovis* a été détecté par PCR dans les fèces de neuf renards (à J25 et à J53) et dans le mucus oropharyngé de trois individus (à J25 et à J53). Parmi les neuf échantillons de fèces positifs en PCR, deux ont également été trouvés positifs par culture bactériologique à J25.

L'infection expérimentale par ingestion de viande infectée a permis de reproduire le patron d'infection observé chez la majeure partie des renards trouvés naturellement infectés par *M. bovis* (cf. étude 1), avec des lésions macroscopiques quasi absentes et la présence des bacilles tuberculeux au niveau des nœuds lymphatiques rétropharyngiens et mésentériques. Cette étude expérimentale d'une durée de trois mois confirme, qu'au moins dans les premiers temps suivant une infection orale à une dose compatible avec une exposition en milieu naturel, l'excrétion par voie fécale de *M. bovis* vivants par des renards infectés est observée.

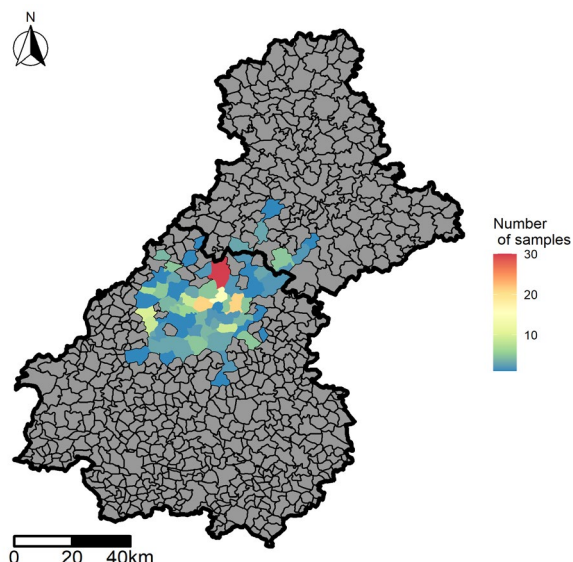
#### 2.2.3.4 Séquençage des génomes de souches de *M. bovis* isolées chez des renards et analyse phylogénétique

Le génotypage de *M. bovis* utilisant des techniques classiques, le spoligotypage (Zhang *et al.* 2010) et le typage MLVA (Skuce *et al.* 2005), en association avec les données épidémiologiques, permet de relier entre eux un grand nombre de foyers de TB, afin de proposer des schémas explicatifs en termes de chaînes de transmission (*i.e.* de source et de mode d'infection), qui peuvent inclure une éventuelle transmission inter-espèces. Cependant, dans les zones où l'incidence de la maladie est la plus forte, des profils génotypiques dominants sont partagés par la quasi-totalité des isolats, ce qui rend la reconstitution de ces chaînes de transmission impossible. Il devient alors nécessaire d'utiliser des techniques moléculaires à très fine résolution pour être à même de différencier les isolats entre eux, particulièrement au sein d'une zone géographique de taille réduite. Le séquençage complet du génome de la bactérie, qui permet de détecter des changements génomiques à très petite échelle, est à ce jour la technique la plus adaptée. Cette technique a été notamment utilisée afin de mieux comprendre les mécanismes de transmission interhumaine de différentes mycobactéries, telle que *M. leprae* (Turankar *et al.* 2014) ou *M. tuberculosis* (Roetzer *et al.* 2013). Les données produites peuvent être utilisées pour reconstituer des scénarii de transmission de l'infection. La combinaison de ces données génomiques à un modèle mathématique permet d'étudier l'épidémiologie de certains virus à évolution rapide (Mollentze *et al.* 2014), mais reste peu employée pour les bactéries, en particulier les mycobactéries à croissance lente, pour lesquelles l'intervalle entre la date de contamination d'un individu et la collecte d'échantillons infectés est inconnu mais probablement long, et pour lesquelles le taux d'évolution est très faible (Biek *et al.* 2012).

Ce type d'approche novateur, dont les résultats n'étaient pas encore disponibles pour la précédente saisine sur le rôle du blaireau, a été récemment utilisé dans une zone de forte endémicité en Dordogne qui inclut notamment la commune de Villars où des cas groupés d'infection chez les renards avaient précédemment été décrits (Michelet *et al.* 2018). Les objectifs de ce travail étaient de déterminer au sein d'une même zone géographique de Dordogne, et grâce à l'analyse des séquences génomiques complètes des souches de *M. bovis* isolées dans la zone, les liens (i) entre troupeaux bovins infectés et (ii) entre troupeaux bovins infectés et faune sauvage infectée. Cette étude, conduite en collaboration entre le LNR et l'Unité d'Epidémiologie du laboratoire de santé animale de Maisons Alfort de l'Anses, cherchait par ailleurs à différencier, dans les foyers bovins, la résurgence d'une infection ancienne d'une infection nouvelle, et à apporter des éléments de compréhension quant au rôle de la faune sauvage dans la circulation de l'infection au sein de la zone. Les résultats présentés ci-dessous sont détaillés dans (Modenesi 2019).

##### 2.2.3.4.1 *Choix de la zone et sélection des souches*

La zone d'étude chevauchait le nord de la Dordogne et le sud de la Haute Vienne (Figure 8), en couvrant un ensemble de 78 communes limitrophes choisies de façon à ce que (i) le nombre d'isolats issus de la zone d'étude soit le plus élevé possible, le plus varié possible (en termes d'espèces hôtes), tout en ayant un intervalle de temps entre la date d'isolement du premier et du dernier le plus large possible, et (ii) les relations susceptibles d'avoir transmis l'infection soient majoritairement internes (*i.e.* que le système épidémiologique puisse être considéré comme relativement clos), qu'il s'agisse de relations entre les foyers bovins (voisinage de pâtures, commerce des bovins), entre les cas d'infection dans la faune sauvage (localisation des haies et zones boisées entre elles), et entre foyers bovins et cas d'infection dans la faune sauvage (localisations relatives des haies, zones boisées des pâtures). La zone d'étude incluait notamment la commune de Villars, d'où les souches précédemment décrites dans l'article de Michelet *et al.* (2018) étaient issues, et celle de Saint-Saud-Lacoussière, commune avec le plus grand nombre de foyers de TB du département ces trois dernières années.



**Figure 8 Localisation de la zone d'étude et des individus domestiques et sauvages qui y ont été détectés infectés par une souche de *M. bovis* du génotype étudié entre 2001 et 2017**

Ainsi, au sein de cette zone, toutes les souches issues d'animaux sauvages disponibles au LNR ont été séquencées et un tirage au sort a été effectué pour les souches bovines (au maximum trois souches par cheptel et par an). Elles présentaient toutes le même génotype, ou des génotypes très proches, caractérisés par le même spoligotype (SB0120) et le même profil MLVA (5 3 5 3 9 4 5 6), profil majoritaire de la région et identifié chez des bovins et dans la faune sauvage.

Au total, le panel se compose de 310 souches, dont 244 issues de foyers bovins collectées depuis 2001, et 66 souches issues de la faune sauvage collectées après 2010, année de la mise en place du réseau Sylvatub ( cf. Tableau 7).

**Tableau 7 Panel de souches étudiées entre 2001 et 2017**

	2001-2009	2010-2013	2014-2017	Total
Bovin	74	57	113	244
Blaireau		14	27	41
Cerf		1	1	2
Chevreuril		1		1
Renard			5	5
Sanglier		8	9	17
<b>Total</b>	74	81	155	310

**2.2.3.4.2 Analyse phylogénétique**

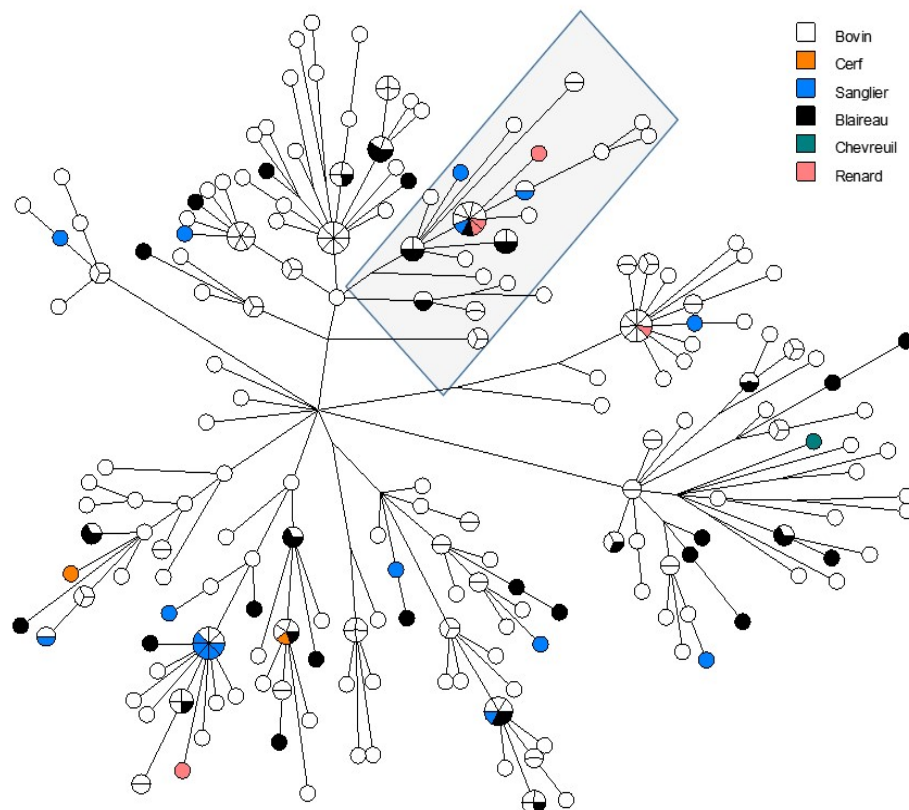
Le séquençage complet du génome de ces souches a été réalisé avec la méthode Illumina. Dix génomes de bovins sur les 310 séquencés ont été écartés de l'analyse car ils ne répondaient pas aux critères techniques de qualité de données brutes issues du séquençage (pour différentes

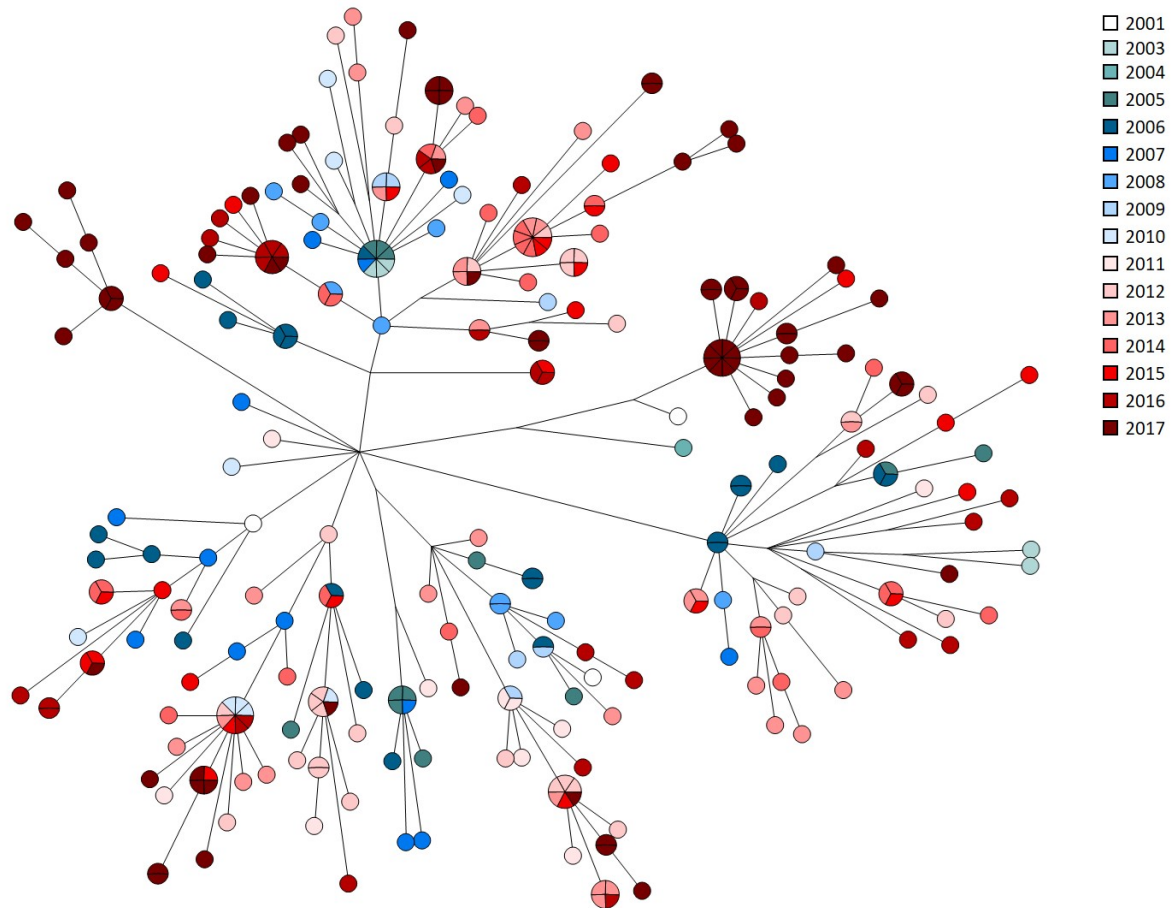


raisons, par exemple mélange de souches, ADN dégradé, etc.). L'analyse des polymorphismes nucléotidiques (SNP single nucleotide polymorphism) et la construction d'un arbre phylogénétique, sur le principe de maximisation de la parcimonie, permettent de visualiser les relations de proximité génétique entre les souches en fonction des espèces ou du troupeau.

**Cet arbre ne doit pas être interprété comme un arbre de transmission, il reflète simplement la similarité génétique entre les souches.**

Les « reads » (fragments de 250 pb – paires de bases – produits par le séquençage) des 300 génomes exploitables ont été assemblés par rapport au génome de référence de la souche *M. bovis* AF2122, ce qui a permis d'identifier 366 SNPs, utilisés ensuite pour construire des arbres phylogénétiques. La méthode utilisée a bien permis de différencier les souches, et l'arbre phylogénétique obtenu montre clairement qu'il existe une réelle diversité génétique entre des souches qui partagent le même profil spoligotype et MLVA. La Figure 9 illustre la proximité génétique des souches issues des différentes espèces animales incluses dans l'étude (1<sup>er</sup> arbre - Figure 9), ou selon l'année de collecte (2<sup>ème</sup> arbre - Figure 9). Sur ces figures, chaque nœud de l'arbre représente un ensemble d'isolats présentant des séquences identiques, et les liens, dont la longueur représente la distance génétique, relient entre eux les nœuds sur la base de la proximité des séquences. La taille des nœuds est proportionnelle au nombre d'isolats présentant la même séquence, et la répartition de ces isolats par espèce hôte (1<sup>er</sup> arbre - Figure 9) et par année d'isolement (2<sup>ème</sup> arbre - Figure 9) est représentée sous la forme de diagrammes en secteurs, formant des rosaces.





**Figure 9 Arbre phylogénétique maximisant la parcimonie des 300 souches de *M. bovis*. Les différentes couleurs désignent l'espèce animale (1<sup>er</sup> arbre) et les années de collecte (2<sup>ème</sup> arbre)  
Logiciel Bionumerics version 7.2 (Applied Maths)**

Le 1<sup>er</sup> arbre de la Figure 9 matérialise la complexité de la dynamique de transmission : faune sauvage et bovins semblent importants dans la zone d'étude pour la diffusion de *M. bovis*, et une transmission dans un système multihôtes semble bien établie. Ainsi, des isolats présentant des séquences identiques ont été observés chez des espèces différentes : à titre d'exemple, la plus grande des rosaces de l'encadré du 1<sup>er</sup> arbre de la Figure 9 montre qu'une même séquence été observée chez cinq isolats de bovins, deux isolats de renard, un isolat de blaireau et un de sanglier.

Par ailleurs, on peut observer que certaines souches perdurent dans le temps (et apparaissent sous forme de rosaces dans le 2<sup>ème</sup> arbre de la Figure 9), alors que d'autres évoluent avec des mutations au cours du temps.



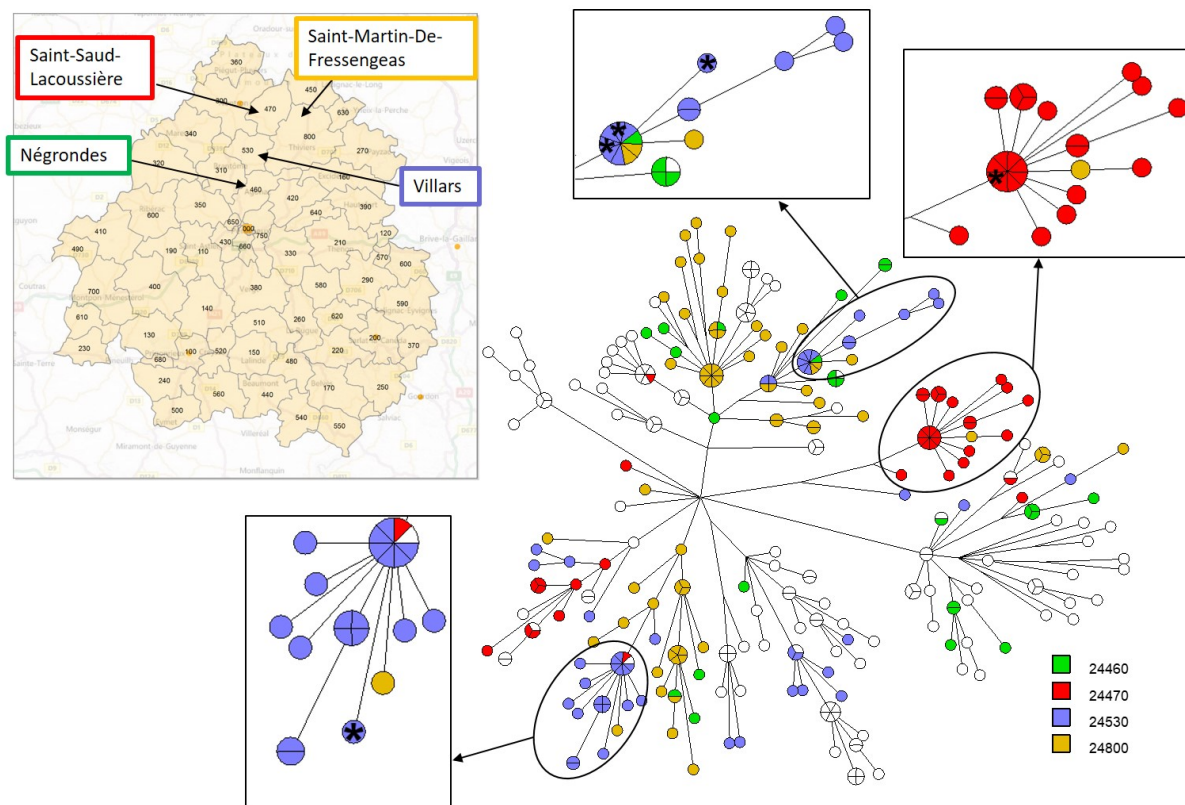


Figure 10 Arbre phylogénétique des 300 souches de *M. bovis*

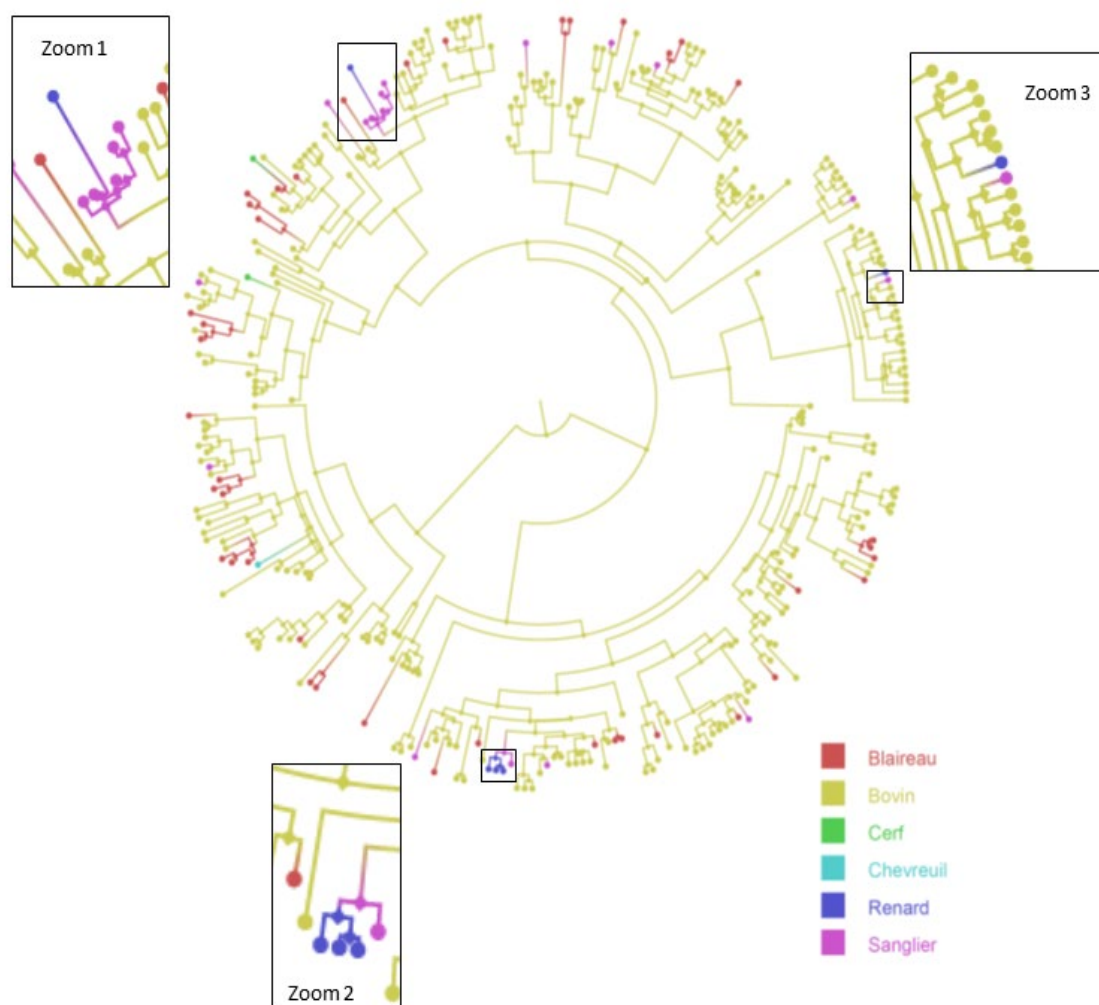
Les différentes couleurs désignent la commune dont les animaux infectés sont issus (les astérisques noirs signalent les souches issues de renards)

Dans la Figure 10, les souches situées sur la même branche sont proches génétiquement, et également souvent issues de la même commune. Cependant, ce n'est pas toujours le cas. Dans le cas des bovins (pour lesquels la localisation de souches correspond à la localisation du siège de l'élevage), ceci peut s'expliquer par la fragmentation du parcellaire des élevages qui peut couvrir plusieurs communes, sans qu'on sache sur quelle parcelle les animaux infectés, dont sont issues les souches, ont pâturé. Dans le cas de la faune sauvage (pour laquelle la localisation des souches correspond à l'endroit où les animaux ont été piégés/abattus), un même domaine vital peut recouvrir plusieurs communes sans qu'on sache sur laquelle l'animal s'est infecté. Les souches de renards sont indiquées par des astérisques, et leur position dans l'arbre confirme assez bien le caractère local de la transmission de l'infection pour cette espèce.

#### 2.2.3.4.3 Inférence phylogénétique

Même s'ils ne doivent pas être interprétés comme des arbres de transmission, les arbres produits grâce à ce type d'analyse sont orientés dans le temps, les nœuds les plus internes étant les plus anciens et les plus périphériques les plus récents. Les feuilles correspondent aux 300 isolats étudiés. La distance d'une feuille par rapport au centre de l'arbre est inversement proportionnelle à son ancienneté. Selon l'espèce hôte échantillonnée, les isolats ont été assignés soit à un bovin, soit à la faune sauvage. Sur la base d'un modèle de transmission inter-espèces symétrique (*i.e.* pour chaque paire d'espèces A et B, les probabilités de transmission de A vers B et de B vers A sont identiques), l'analyse a ensuite permis d'associer à chaque nœud interne de l'arbre l'hôte le plus probable, les nœuds les plus centraux représentant ainsi les sources les plus probables d'infection dans la population échantillonnée de *M. bovis*, et l'espèce qui leur est associée l'hôte ancestral commun des 300 souches. Ces aspects méthodologiques sont développés dans (Michelet *et al.* 2019).

L'arbre phylogénétique obtenu prend donc en compte les données génétiques des souches, en y ajoutant une dimension temporelle (en se fondant sur les années de collecte), ainsi qu'une dimension de contexte épidémiologique avec l'analyse de l'espèce chez laquelle a été isolée la souche. L'arbre présenté dans la Figure 11 illustre ces résultats en incluant la source d'infection la plus probable à chaque embranchement. L'analyse de la relation statistique entre la distance géographique et la distance génétique suggère à nouveau le caractère local des événements de transmission. Les souches issues de renards sont positionnées à trois emplacements distincts dans l'arbre, suggérant trois événements de transmission distincts vers cette espèce.



**Figure 11** Arbre du maximum de vraisemblance réalisé avec le logiciel BEAST et mis en forme avec le logiciel Figtree. Chaque rond à l'extrémité d'une branche représente une souche, coloré en fonction de l'espèce animale chez laquelle la souche a été isolée. A chaque nœud de l'arbre, l'espèce animale la plus probable comme source d'infection est identifiée avec le même code couleur

**La forte prédominance des bovins parmi les nœuds ancestraux de l'arbre est difficile à interpréter du fait de l'absence de souches de la faune sauvage avant 2010.** Cependant, dans le cas de souches de renards, les zooms 1 et 2 mettent en évidence une proximité génétique avec des souches isolées chez des sangliers.

Le zoom 2 suggère de plus que les renards peuvent transmettre l'infection à d'autres renards. Le zoom 3 montre que les souches isolées des renards peuvent également être génétiquement proches de souches isolées des bovins.

La proximité des souches de renards avec des souches isolées chez les sangliers peut suggérer une contamination de ces deux espèces à partir d'une même source environnementale (en supposant l'absence de contact direct entre sangliers et renards), par exemple par la consommation, par l'une ou l'autre espèce, de cadavres ou de viscères infectés qui n'auraient pas été ramassés après la chasse. La contamination entre bovins et renards peut s'expliquer par des contacts indirects plus fréquents entre ces deux espèces, *via* un substrat environnemental partagé ou des contacts directs.

L'absence de nœuds ancestraux attribués aux renards dans l'arbre est difficile à interpréter, et peut à la fois être expliqué par le très faible nombre de souches considérées, le caractère très récent des souches vulpines, ou par le fait que le renard ne transmettrait pas l'infection à des animaux d'autres espèces, ce qui expliquerait qu'aucun événement de transmission du renard vers une autre espèce, en particulier le blaireau, n'ait été identifié.

La principale limite de cette étude, induisant un biais de sous-estimation de la transmission de/vers la faune sauvage est la non-exhaustivité des souches étudiées par rapport à celles circulant dans la faune sauvage. C'est en particulier le cas pour le renard ( $n = 5$ ) et pour les années les plus anciennes. Une autre limite est liée au tirage au sort réalisé pour les bovins (pour des raisons de coût, il n'était pas envisageable de séquencer l'ensemble des souches disponibles au LNR). La constitution de la collection du LNR dépend d'une part des tests de dépistage, dont l'imperfection ne permet pas de détecter tous les bovins infectés et donc d'isoler toutes les souches impliquées dans les cycles de transmission. D'autre part, le biais d'échantillonnage intrinsèque au système de surveillance de la faune sauvage Sylvatub explique le manque d'exhaustivité concernant la faune sauvage, accentué par le manque de sensibilité de la bactériologie pour isoler les souches. Quelques maillons dans la chaîne ont certainement échappé aux systèmes de surveillance. Dans le futur, le séquençage d'un plus grand nombre de souches permettra d'aboutir à des arbres phylogénétiques plus complets et à des inférences sur la transmission plus certaines. Enfin, le modèle utilisé fait l'hypothèse de probabilités de transmission symétriques entre les espèces étudiées (par exemple, la probabilité de transmission du sanglier au renard est supposée identique à la probabilité de transmission du renard au sanglier). Le choix de cette hypothèse simplificatrice a été guidé par le faible nombre de séquences disponibles pour certaines espèces étudiées (ce nombre étant particulièrement faible pour le renard). Là encore, un séquençage plus exhaustif des souches isolées ou collectées par le LNR pourra permettre dans le futur de relaxer cette hypothèse, et d'affiner les résultats obtenus.

Les résultats présentés ici doivent donc être considérés comme préliminaires, et des études plus approfondies sont nécessaires afin de déterminer quel modèle reflète au mieux la réalité.

## 2.2.4 Synthèse sur les données d'infection par *M. bovis* chez les renards

Les données publiées de recherche de lésions et/ou d'infection dues à *M. bovis* chez les renards sont relativement peu nombreuses au regard de celles publiées chez les blaireaux et les ongulés, et concernent des travaux dans lesquels l'infection par *M. bovis* a été détectée chez d'autres espèces domestiques et/ou sauvages.

En Europe, les prévalences d'infection estimées par culture bactérienne en Angleterre sont comprises entre 1,2 % et 3,2 %, sans lésions visibles à l'exception d'un renard. En Espagne, l'infection a été relevée chez quelques individus, mais la détermination de la prévalence n'a pas fait l'objet d'études. Enfin au Portugal, les deux études menées dans une région concernée par une forte prévalence chez les ongulés sauvages indiquent des prévalences de 6,1 % par culture bactérienne et 26,9 % par culture bactérienne et PCR, avec un seul renard présentant des lésions.

En France, avant 2015, des données ont été produites en forêt de Brotonne–Mauny, en Haute Normandie (un individu infecté, ne présentant pas de lésion macroscopique, sur 49 analysés par culture bactérienne en 2005-2006), en Côte d'Or (trois individus infectés sur 69 analysés par culture bactérienne et PCR entre 2005 et 2012, et un sur 33 en 2014), et en Dordogne (aucun

individu trouvé infecté par culture bactérienne et PCR sur les 55 analysés au total entre 2005 et 2014).

La découverte en 2015 de quatre renards infectés sur six analysés et provenant d'une même commune de la zone infectée Nord du département de la Dordogne, où d'autres espèces sauvages et des bovins sont régulièrement trouvés infectés, a motivé la mise en place d'une première étude du rôle épidémiologique du Renard roux dans la circulation de *M. bovis* dans cette zone. Ensuite, l'étude a été élargie à l'ensemble de la zone infectée du Nord de Dordogne ainsi qu'à trois autres aires d'études des zones infectées de Charente, des Landes et de Côte d'Or. Ces études montrent que les prévalences d'infection chez les renards sont comparables dans les trois zones de Nouvelle-Aquitaine – Dordogne, Charente et Landes - (6,9 % en moyenne), et du même ordre de grandeur que celles observées chez les blaireaux dans ces zones. Aucun renard n'a été trouvé infecté en Côte d'Or, département où la situation sanitaire au regard de la TB s'améliore sur la période d'étude à la fois chez les bovins et les animaux sauvages, contrairement aux territoires infectés de Nouvelle-Aquitaine, où le nombre de foyers bovins et la prévalence chez les blaireaux sont en augmentation ces dernières années.

Dans ces études en milieu naturel, aucun renard infecté ne présentait de lésions visibles, alors que l'infection des NL mésentériques a été observée chez plus de deux tiers des renards infectés, avec une infection des NL rétropharyngiens parfois concomitante, indiquant le plus vraisemblablement une exposition digestive prépondérante. Pour certains renards en revanche, on a observé une infection des NL pulmonaires à mettre en rapport avec une exposition par voie respiratoire. Sur le plan de l'excrétion, le fait que certains renards trouvés infectés au niveau des NL mésentériques présentaient de l'ADN de *M. bovis* dans les fèces indique une probable excrétion de bacilles par voie fécale.

Parallèlement à ces études en milieu naturel, une infection expérimentale par ingestion de viande infectée a été conduite pendant trois mois et a permis de reproduire le patron d'infection observé chez une majeure partie des renards trouvés naturellement infectés par *M. bovis*. Dans cette étude expérimentale, les lésions macroscopiques sont quasi absentes, et la présence de *M. bovis* a été détectée au niveau des NL rétropharyngiens et mésentériques. Elle confirme par ailleurs qu'au moins dans les premiers temps de l'infection, l'excrétion par voie fécale de *M. bovis* par des renards infectés est possible.

Enfin, une étude a été réalisée sur les données de séquençage de génomes de souches de *M. bovis* isolées chez des renards depuis 2015 en Dordogne et Haute-Vienne. Leur analyse phylogénétique a étudié leur proximité génétique avec des souches isolées dans ces zones chez des bovins (depuis 2001) et d'autres espèces sauvages (blaireau, sanglier, cerf, chevreuil) (depuis 2010). Ces études ont permis d'obtenir des premières informations en termes de transmission de *M. bovis* au sein de la communauté d'hôtes. Cette analyse a mis en évidence une proximité génétique des souches de renards avec des souches isolées (1) chez des sangliers (pouvant d'ailleurs résulter d'une contamination de ces deux espèces à partir d'une même source environnementale) (2) d'autres renards et (3) des bovins, suggérant ainsi trois événements distincts de transmission intra- et interspécifiques. Du fait de la non-exhaustivité de la collection de souches disponibles séquencées pour la faune sauvage par rapport aux souches circulant dans la faune sauvage, en particulier pour le renard, ces résultats doivent être considérés comme préliminaires.



### 3 Rôle épidémiologique du renard dans la TB

#### 3.1 Circulation de *Mycobacterium bovis*, un système multihôtes domestique et sauvage

Comme détaillé dans le rapport de l'Anses relatif à la gestion de la TB et des blaireaux (Anses 2019), *M. bovis* est une bactérie ubiquiste dont l'hôte historique principal est le bovin. Cet agent pathogène peut aussi infecter une grande variété d'autres mammifères domestiques (petits ruminants, chiens, chats) et sauvages (sangliers, cervidés, blaireaux, renard, etc.). Dans certaines situations, *M. bovis* peut circuler et se maintenir au sein d'une communauté de populations réceptives à *M. bovis*, mais ayant des rôles épidémiologiques variés (hôte de maintien, de liaison ou cul-de-sac épidémiologique), connectées entre elles directement et/ou indirectement *via* l'environnement : on parle alors de système multihôtes. Dans le cas de la TB, l'environnement (sol, aliments, sources d'eau) est également impliqué dans ce système multihôtes, du fait de la persistance possiblement prolongée de *M. bovis* sur ces supports, après contamination par des excréta issus d'animaux infectés, domestiques ou sauvages.

Les facteurs conditionnant la capacité d'une population d'hôtes, une fois infectée, à maintenir et à transmettre *M. bovis* (hôtes de maintien) sont à la fois la sensibilité des hôtes (organes infectés et excrétion de bacilles, proportion d'individus infectés, durée d'infection pré-symptomatique, survie et comportement des individus infectés, etc.) et leur écologie/éthologie (comportement territorial, social et alimentaire, espérance de vie, densité et dynamique de population, etc.) qui conditionnent les contacts intraspécifiques et les interactions avec les populations d'autres espèces sensibles.

La capacité d'une communauté d'hôtes à maintenir l'infection résulte quant à elle des espèces présentes, de l'assemblage des capacités intrinsèques de chacune des populations, mais aussi de la nature et de l'intensité des interactions entre elles et de l'environnement. Ainsi, des populations, prises séparément, peuvent jouer un rôle d'hôtes de liaison, mais peuvent permettre à *M. bovis* de se maintenir lorsqu'elles sont en interaction. Le rôle des densités et de l'interface entre les populations est alors déterminant. Enfin, il convient de souligner que les taux d'infection ne permettent pas de conclure à eux seuls sur le rôle épidémiologique d'une espèce dans le système multihôtes de la TB : le fait qu'une espèce soit infectée traduit sa réceptivité à *M. bovis*, mais ne laisse pas préjuger de sa capacité à maintenir l'infection et à transmettre ensuite *M. bovis* à d'autres espèces (cf. Tableau 8).

La transmission et le maintien de l'infection à *M. bovis* s'inscrivent ainsi dans un système multihôtes complexe incluant à la fois plusieurs populations d'espèces hôtes et l'environnement. Par conséquent, en présence d'un foyer de TB, il est nécessaire de considérer ce système multihôtes dans son ensemble, et non une espèce en particulier, pour évaluer la situation épidémiologique.

**Tableau 8 Taux de prévalence chez les renards, blaireaux et sangliers dans les zones étudiées des zones infectées de trois départements de la région Nouvelle Aquitaine et en zone infectée de Côte d'Or (source : Richomme et al. (2020))**

Taux de prévalence	Renards	Blaireaux (2015-2018)	Sangliers (2015-2018)
Charentes	9,2 % (n = 98, juin 2018-nov 2019)	9 % (n = 321)	8 % (n = 255)
Dordogne	7,1 % (n = 184, mars 2017-aout 2018)	11 % (n = 135)	4 % (n = 185)
Landes	5,0 % (n = 140, juin 2018-nov 2019)	13 % (n = 152)	18 % (n = 39)
Côte d'Or	0 (n = 146, juin 2018-nov 2019)	6 % (n = 432)	2 % (269)

## 3.2 Place du renard dans le système multihôtes

### 3.2.1 Réceptivité et sensibilité des renards

Au vu des données obtenues en milieu naturel et sur animaux captifs, le renard apparaît comme réceptif à *M. bovis*. L'étude expérimentale avec ingestion de boulettes de viandes inoculées a montré qu'une prise unique avec une charge bactérienne certes élevée, mais compatible avec la consommation des tissus les plus infectés d'un cadavre d'animal tuberculeux, résultait en l'infection de tous les renards (n = 12), neuf d'entre eux présentant une excrétion de *M. bovis* par voie fécale un ou deux mois post-infection, et deux renards présentant des petites lésions visibles. Les études de prévalence conduites dans quatre zones d'enzootie corroborent ces résultats, avec une prédominance de la voie d'infection digestive (*M. bovis* ayant été retrouvé au niveau des NL mésentériques dans 60 % des cas lors de l'étude en Dordogne) et mise en évidence d'une excrétion fécale probable par certains renards et, dans tous les cas, l'absence de lésions macroscopiques (Richomme *et al.* 2020). Comme pour d'autres espèces (blaireau et bovins), il n'apparaît donc pas de relation directe entre présence de lésions macroscopiques et excrétion. Par ailleurs, d'après les éléments ci-dessus, la voie d'infection principale semble être orale et digestive, correspondant à une exposition à *M. bovis* par l'ingestion de matières contaminées.

Il est à noter toutefois que l'infection des NL céphaliques et respiratoires a également été mise en évidence, dans une moindre mesure, chez les renards infectés expérimentalement (uniquement les NL céphaliques) et naturellement, certaines de ces infections obtenues expérimentalement s'accompagnant d'une excrétion oropharyngée très probable. L'exposition à *M. bovis* par ingestion peut donc conduire à l'infection des NL céphaliques, comme montré expérimentalement, et à une excrétion oropharyngée, quoique de façon moins fréquente, semble-t-il, que l'excrétion fécale. L'atteinte au niveau des NL respiratoires d'individus infectés naturellement indique que la voie d'exposition respiratoire est possible.

Si la capacité à excréter *M. bovis* est avérée (résultats des tests PCR et bactériologiques positifs) par ces études, il est difficile d'en connaître pour autant la mesure, la temporalité longue et détaillée, le lien avec la dose infectante et avec le statut physiologique (chez le blaireau, par exemple, l'excrétion peut être intermittente et déclenchée par des stress physiologiques, tels que reproduction ou disette (Delahay *et al.* 2013, Gormley et Corner 2017)). Neuf des 12 renards infectés expérimentalement par administration par voie orale d'une dose unique élevée excrétaient par voie fécale quatre semaines après infection, puis un à huit semaines et aucun à 12 semaines. L'euthanasie des 12 renards à 12 semaines n'a pas permis de suivre plus longtemps l'excrétion. Dans les conditions d'infection naturelle, d'après l'étude réalisée en Dordogne, cinq des 13 renards ayant fourni un résultat positif excrétaient très vraisemblablement des bactéries par voie fécale.

Sur la base des données épidémiologiques et expérimentales acquises récemment en France, le renard apparaît réceptif, avec une voie d'infection principalement orale et digestive qui n'exclut pas pour autant la voie respiratoire. La capacité d'un renard infecté à excréter est avérée, surtout par voie fécale, en concordance avec la voie d'infection principale, mais la quantité et la temporalité de cette excrétion ne sont pas connues, de même que le lien avec la dose infectante. Le renard semble très peu sensible à l'infection à *M. bovis*, avec le plus souvent une absence de lésions macroscopiques.

### 3.2.2 Transmission interspécifique

De par son comportement alimentaire carnivore et opportuniste, le renard est observé dans les élevages, que ce soit au niveau des pâtures (activité de mulotage et attractivité pour les lombrics, les aliments pour bétail et les délivrances de vache) ou dans les bâtiments (ensilage, réserves d'aliments, stabulations). En Côte d'Or, c'est l'espèce sauvage hôte de *M. bovis* la plus fréquemment observée au niveau de ces infrastructures d'élevage (Payne *et al.* 2016). Ces interactions indirectes avec les bovins exposent les renards à une infection par voie digestive ou respiratoire si des aliments ou substrats contaminés par les bovins sont ingérés ou inhalés. L'étude phylogénétique conduite en Dordogne fait d'ailleurs état d'une source de contamination

bovine pour certains renards. Dans l'autre sens, connaissant désormais la capacité des renards à excréter *M. bovis*, principalement par voie fécale, la défécation de renards dans des sites accessibles aux bovins pourrait donner lieu à une transmission du bacille des renards aux bovins (le comportement de défécation par des renardeaux dans un nourrisseur a été observé en Côte d'Or - Payne (2014)).

Le renard peut également être nécrophage et se nourrir sur des cadavres de sangliers, cervidés ou même blaireaux, qui, en zone enzootique, pourraient être contaminés. La mise en évidence par l'étude phylogénétique de la proximité génétique entre souches issues de sangliers et de renards étaye l'hypothèse d'un mode de contamination des renards à partir de consommation de cadavres de sangliers infectés. Le ramassage des viscères en zones infectées (et donc dans la zone où a été réalisée l'étude phylogénétique) est une des mesures de gestion mises en œuvre et les animaux chassés ne doivent pas être laissés en nature, mais il est possible que cette mesure ne soit pas parfaitement appliquée. D'autre part, les mortalités de sangliers peuvent survenir hors action de chasse. Inversement, des interactions sangliers-renards, le plus souvent indirectes, peuvent également avoir lieu lors de consommation par des sangliers de cadavres de renards infectés ou sur des points d'agrégation (agrainage - réglementairement interdit en zone d'infection de tuberculose - ou point d'eau).

Les renards occupent fréquemment les terriers de blaireaux, le plus souvent en l'absence de ceux-ci, mais parfois de façon concomitante. Ils occupent des chambres séparées de celles des blaireaux, mais accessibles par une gueule et un couloir d'accès communs. Connaissant la capacité des blaireaux à excréter *M. bovis* et la persistance environnementale possible de la bactérie dans les terriers, la contamination des renards à partir des blaireaux (dont les niveaux d'infection dépassent 10 % dans certaines zones infectées de Nouvelle-Aquitaine) semble être une hypothèse plausible. Cependant, l'étude phylogénétique n'étaye pas cette hypothèse puisque, dans les arbres obtenus, la souche ancestrale n'était associée au blaireau pour aucune des cinq souches issues de renard. Il faut toutefois rappeler la limite de cette étude basée sur un échantillon de souches vulpines très petit et sur un pas de temps court. Ces résultats ne peuvent donc pas permettre d'exclure que des blaireaux puissent transmettre *M. bovis* à des renards. En Angleterre, il peut paraître surprenant que la prévalence chez les renards ne soit pas plus élevée, connaissant leurs interactions avec les terriers de blaireaux, qui sont fortement infectés dans les zones d'études, avec des taux de prévalence compris entre 10 et 30 % (Bourne *et al.* 2007). Ainsi, la transmission entre renard et blaireau est envisageable compte tenu de ces partages de terriers et de la capacité d'excrétion du renard, mais elle n'a pas été démontrée. Dans la mesure où les renards semblent excréter principalement par voie fécale donc hors de terriers, qu'ils n'ont pas une occupation permanente de ces terriers et qu'elle est plus souvent non concomitante avec celle des blaireaux, la probabilité d'une transmission de renard à blaireau pourrait être faible.

Concernant les cervidés, les experts ne disposent pas d'éléments probants pour déterminer leur contribution à l'infection des renards en France. On peut supposer, comme pour le sanglier, que le renard peut s'infecter sur un cadavre de cervidé tuberculeux par nécrophagie, ou par contact indirect sur un site partagé. Cependant la prévalence chez ces espèces étant faible en France, le risque de transmission aux renards est également faible.

En Côte d'Or, alors que 4 % de renards avaient été trouvés infectés entre 2005 et 2014 (n = 102, Richomme *et al.* (2020)), aucun ne l'a été depuis. En parallèle, la circulation de l'infection dans le système multihôtes domestique et sauvage est devenue moins active. De plus, les renards avaient été trouvés infectés uniquement en zone nord, où se trouvent plus de bovins et moins de faune sauvage. En zone sud, même si l'échantillon est plus faible (24 renards en zone sud de 2005 à 2012, Payne (2014)), on peut noter qu'il y a moins de bovins et plus de faune sauvage infectée, notamment des sangliers : cette observation serait compatible avec une contamination des renards plutôt à partir des bovins qu'à partir de la faune sauvage. Elle suggère également que, dans ces zones, les renards ne seraient pas à même de maintenir l'infection à *M. bovis* dès lors que la pression d'infection diminue dans leur environnement. Cette hypothèse doit néanmoins être



considérée avec une grande prudence du fait du manque de recul et du peu de données disponibles actuellement sur la TB chez le renard.

### 3.2.3 Transmission intraspécifique

Les renards vivent en petits groupes stables sur un territoire avec peu de contacts avec les autres groupes en dehors d'individus « satellites », lors du rut, de la dispersion ou lors de visites sur des sites où les ressources alimentaires sont particulièrement riches (milieu urbain/anthropisé). Ils recherchent leur nourriture en solitaire et n'occupent pas, contrairement au blaireau, un terrier unique sur de longues périodes de l'année. Les contacts intraspécifiques et le confinement dans un même terrier, propices à la transmission de *M. bovis*, sont donc moins importants que chez le blaireau. D'autre part, les populations de renards en France sont fortement prélevées et leur dynamique de population rapide entraîne un fort taux de renouvellement des populations. L'exposition à *M. bovis* et l'émission de bacilles en cas d'individus infectés et excréteurs sont donc, à l'échelle d'une population, moins prolongées que pour d'autres espèces plus longévives et avec un renouvellement de population moins rapide.

Ces éléments écologiques ne sont donc pas en faveur d'une capacité des populations de renards à maintenir l'infection sans source extérieure. En outre, les études de prévalence réalisées dans les différents territoires infectés en France suggèrent que les populations de renards sont infectées à des taux de 7 à 10 % lorsque la circulation de *M. bovis* dans le système multihôtes est active (incidence bovine en augmentation, prévalence blaireaux autour de 10 % et sanglier autour de 3% en Charente et dans la zone de Villars en Dordogne). En revanche en Côte d'Or, où la lutte contre la TB dans la faune sauvage a été mise en place plus tôt et où les taux d'infection dans le système multihôtes ont nettement baissé depuis 2010 (nombre foyers bovins : 45 en 2010 vs 3 en 2018 ; 8,1 % en 2013 - 2014 vs 4,2 % en 2016 - 2017 chez le blaireau (Réveillaud *et al.* 2018)), la prévalence détectée chez les renards prélevés dans cette zone historiquement infectée est inférieure à 2,5 % (vs 5,3 % sur la période 2005 - 2014), confortant l'hypothèse d'une incapacité de cet hôte à maintenir l'infection sans source extérieure de contamination.

Cette hypothèse n'exclut pas la possibilité d'une transmission entre renards comme suggéré par l'analyse phylogénétique (Figure 11, zoom 2), la dynamique de l'infection au sein des groupes et entre groupes restant à explorer.

## 3.3 Conclusion sur le rôle épidémiologique du renard dans le système multihôtes

Etant une espèce réceptive, le renard peut s'infecter à des taux non négligeables dans les zones où la circulation de *M. bovis* est active et, étant donné sa capacité d'excrétion, la transmission retour à d'autres hôtes est possible. Ainsi, le renard pourrait davantage contribuer à la circulation de l'infection autour d'un élevage en cas de circulation active de *M. bovis* dans le système multihôtes domestique et sauvage. Etant donné que le taux de renouvellement des populations de renards est rapide, les individus infectés ne resteraient pas, à l'échelle populationnelle, une source pérenne de *M. bovis* ni pour leurs congénères, ni pour les autres hôtes comme les bovins. Sur cette base, le renard peut être qualifié d'hôte de liaison, mais avec une contribution mineure à la circulation de *M. bovis* au sein du système multihôtes. Notamment, le renard semble moins apte que le blaireau à faire persister localement l'infection, moins apte que le sanglier à véhiculer l'infection sur de longues distances, et moins apte que les bovins, hôtes de maintien principal, à maintenir l'infection dans le temps et dans l'espace.

Dans tous les cas, le renard n'apparaît pas comme un hôte de maintien de la TB.

## 4 Evaluation du risque de transmission de *M. bovis* des renards vers les bovins

Cette évaluation du risque a été réalisée pour la France dans le cadre de la situation épidémiologique actuelle de la TB. Elle prend donc en compte les mesures de surveillance et de lutte en vigueur chez les bovins et chez les espèces sauvages.

Compte tenu des données disponibles chez le renard, le GT a choisi d'appliquer la méthode d'évaluation de risque (ER) qualitative de l'Afssa (2008), qui consiste à :

- Estimer la probabilité de survenue de l'infection par *M. bovis* dans un élevage à partir du renard. Cette probabilité résulte du croisement de (1) la probabilité d'émission de *M. bovis* par les renards et (2) la probabilité d'exposition des bovins ;
- Apprécier les conséquences (en termes de gravité) de l'infection tuberculeuse d'un élevage ;
- Évaluer le risque en combinant la probabilité de survenue du danger avec l'appréciation des conséquences.

Il convient toutefois de noter qu'en ce qui concerne la TB, la méthode Afssa (2008) d'appréciation des conséquences (pour un élevage et pour le statut sanitaire de la région) n'est pas applicable. En effet, créée historiquement pour évaluer les conséquences de l'introduction d'une maladie émergente, essentiellement épizootique, cette appréciation des conséquences ne s'inscrit pas dans la durée (passé et/ou avenir). Elle ne permet donc pas de prendre en compte plus de 50 ans de lutte contre la TB, ayant permis sa maîtrise et la disparition en France des cas humains après consommation de produits bovins (essentiellement lait cru). Elle ne permet pas non plus de considérer les conséquences à moyen terme de l'arrêt des mesures de lutte actuelles, arrêt qui conduirait à la réapparition du problème de santé publique.

Par conséquent, le GT a circonscrit son analyse à l'estimation de la probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* chez les bovins, ce qui est essentiel pour le choix des mesures de lutte.

Une estimation de ce type avait été conduite dans un précédent avis de l'Anses relatif à la tuberculose bovine chez les blaireaux (Anses 2019). Concernant les renards, les connaissances actuellement disponibles sur l'infection à *M. bovis* dans cette espèce étant plus récentes, plus limitées, et associées à davantage d'incertitude (cf. § 2.2), le GT ne disposait pas de données suffisantes pour estimer ces différentes probabilités de manière semi-quantitative (*i.e.* chiffrée sur l'échelle de 0 à 9 de la méthode Afssa 2008). En conséquence, il a conduit une évaluation de risque qualitative. En particulier, d'après les données actuellement disponibles, le renard pourrait jouer un rôle non négligeable dans le système multihôtes de la TB uniquement dans les zones où l'infection à *M. bovis* persiste chez les bovins et dans la faune sauvage, comme certaines zones de Nouvelle-Aquitaine, malgré les mesures de lutte mises en place (gestion des élevages, élimination locale des blaireaux...). Les renards pourraient donc ne constituer un facteur de risque de transmission de *M. bovis* pour les bovins que dans ces zones particulières, ou « points noirs »<sup>7</sup>, à l'échelle de l'élevage (*i.e.* des bâtiments et des pâtures). Par conséquent, l'évaluation de risque a été ciblée dans ces « points noirs », où le renard pourrait contribuer au système multihôtes de la TB. Il s'agit donc d'une estimation de risque maximal pour la France.

A chaque étape de l'ER, le GT a comparé, de manière qualitative, les différentes probabilités chez les renards et chez les blaireaux. Cette comparaison est apparue pertinente compte tenu de la

---

<sup>7</sup> Zone où l'infection à *M. bovis* circule de façon persistante dans le système multihôtes (bovins, faune sauvage, environnement) malgré les mesures de lutte mises en place (gestion des élevages, élimination locale des blaireaux...). Le « point noir » concerne le plus souvent l'échelle d'une ou plusieurs exploitations (bâtiments et pâtures), recouvrant une à quelques communes contiguës. On parlera alors de « circulation active ». Ces termes sont utilisés dans le cadre de cette saisine

difficulté de réaliser une ER purement qualitative, sans références sur lesquelles s'appuyer. Le choix du blaireau repose sur le fait que cette espèce a fait l'objet d'une ER similaire (Anses 2019) qui constitue une référence pour des comparaisons. De plus, en termes d'écologie, il est plus pertinent de comparer le renard avec un autre carnivore qu'avec un omnivore qui se déplace sur des distances beaucoup plus importantes, comme le sanglier.

## 4.1 Probabilité d'émission de *M. bovis* par les renards

Le principe général, pour évaluer la probabilité d'émission de *M. bovis* par une population sauvage locale, consiste à combiner la capacité d'émission par individu infecté d'une part, et le nombre d'animaux infectés de la population locale, d'autre part.

- Capacité d'émission

En l'état actuel des connaissances, l'infection expérimentale de renards (*cf.* § 2.1.2) et les travaux de terrain ont démontré l'excrétion de *M. bovis* par des renards par voie fécale et, dans une moindre mesure par voie respiratoire, orale, voire urinaire, y compris en l'absence de lésion détectable.

Cependant, la dynamique de population, caractérisée notamment par une durée de vie courte des renards, laisse envisager une durée relativement courte d'émission de *M. bovis* par les renards infectés.

Les experts soulignent le niveau d'incertitude élevé quant à l'intensité et la temporalité de l'excrétion. Le délai entre l'infection des renards et l'excrétion de *M. bovis*, le caractère intermittent ou non et la durée de l'excrétion ne sont pas établis. Ces incertitudes sont liées (i) à la petite taille de l'échantillon et à la durée limitée (12 semaines) de la seule expérimentation connue jusqu'à maintenant, (ii) aux données bibliographiques limitées sur l'infection à *M. bovis* chez le renard et (iii) au petit nombre de renards trouvés infectés, et dont l'âge n'est pas connu avec suffisamment de précision, dans les foyers de TB en France (*cf.* § 2.2.3). En outre, *in natura*, la détection de *M. bovis* dans les fèces ou les urines de renards ne permet pas d'inférer l'ancienneté de l'infection chez ces individus, ni la temporalité de l'excrétion.

- Nombre d'infectés

Le nombre d'individus infectés s'entend localement, à l'échelle de l'élevage et des pâtures associées. Il dépend lui-même du nombre local de renards et de la probabilité de chaque renard d'être infecté.

- Le nombre de renards différents en contact avec un élevage est faible et peu dépendant de la densité de la population de renards. En effet, un territoire est occupé par un petit nombre de renards (deux à trois, exceptionnellement quatre adultes) et, du fait de la territorialité, une augmentation de densité ne modifie pas forcément ce nombre. A l'inverse, il n'y a pas lieu de supposer que baisser davantage les densités permettrait de limiter la présence des renards dans ces zones attractives dans et autour des fermes. En effet, les élevages peuvent comporter plusieurs zones attractives pour le renard (réserves d'aliments, abris, pâtures). Lorsque ces zones sont présentes, les renards parviennent à y accéder, quelle que soit la densité de la population locale.
- La probabilité de chaque renard d'être infecté est estimée par la prévalence chez les renards : dans les « points noirs », la prévalence chez les renards peut atteindre le même niveau que chez les blaireaux, mais ne le dépasse pas. Ailleurs, cette prévalence est probablement plus faible.

Du fait du faible nombre de renards autour d'une ferme et de la prévalence relativement faible, le nombre de renards infectés dans une ferme donnée est probablement toujours limité. La probabilité d'émission de *M. bovis* dépend davantage de la présence/absence d'un renard infecté dans une ferme donnée que du niveau d'infection de la population. En

particulier, la source la plus probable d'infection pour un renard résidant dans une ferme, dont le troupeau est infecté, est constituée par les bovins.

Si l'on compare la probabilité d'émission de *M. bovis* entre blaireaux et renards, on tient compte :

- A l'échelle individuelle, d'une capacité d'excrétion de *M. bovis* dans les fèces chez les deux espèces, même en l'absence de lésions visibles (Gavier-Widen *et al.* 2001). La proportion de renards présentant des lésions est moindre que celle des blaireaux. Toutefois, l'excrétion peut avoir lieu en l'absence de lésions macroscopiques (*cf.* § 3.2.1). L'étude expérimentale comme les données de terrain attestent de cette excrétion possible en l'absence de lésions chez le renard. En revanche, elle ne permet pas d'apporter des données en termes de temporalité de l'excrétion de *M. bovis* par les renards (*cf. supra*), alors que chez les blaireaux, l'excrétion est connue comme étant intermittente.
- A l'échelle populationnelle, de traits d'écologie des renards différents de ceux des blaireaux par plusieurs aspects :
  - son comportement est moins social, avec moins de contacts intraspécifiques : la recherche de nourriture est généralement réalisée en solitaire, et les contacts au terrier entre individus d'un même groupe social sont moins nombreux chez le renard que chez le blaireau (*cf.* § 2.1) ;
  - le renouvellement de la population est plus rapide que celui des blaireaux, avec une proportion élevée de jeunes individus (notamment, du fait que le renard est une espèce chassée). Par conséquent, les renards infectés vivraient et excrèteraient possiblement moins longtemps que les blaireaux, dans la mesure où ils auraient moins de temps pour développer la TB, maladie chronique.

Pour ces deux raisons, la transmission intraspécifique pourrait être limitée chez le renard, et de ce fait la rémanence de l'infection serait plus courte dans les populations de renards que dans celles de blaireaux. Les renards seraient ainsi moins à risque de transmission de *M. bovis* pour les bovins que les blaireaux. Ces éléments suggèrent que la probabilité d'émission serait un peu plus faible chez les renards que chez les blaireaux.

L'émission de *M. bovis* par des renards infectés est possible, notamment *via* les fèces, sans exclure les voies respiratoire et/ou orale, voire urinaire. La probabilité de cette émission existe dans des zones très localisées où *M. bovis* circule activement dans le système multihôtes domestique et sauvage (bovins, sangliers, blaireaux, cervidés), à l'échelle de l'élevage, et ne peut être estimée qu'au cas par cas. Elle résulte principalement de la capacité d'excrétion d'un individu et du nombre de renards infectés présents dans et autour de la ferme, probablement faible.

S'il est difficile de conclure sur la comparaison de l'excrétion bactérienne entre renards et blaireaux, la probabilité d'émission pourrait être un peu plus faible chez les renards, du fait de différences de dynamique de population aboutissant à une durée de vie et donc d'excrétion plus limitée, de contact intraspécifiques moins fréquents, ayant pour effet une transmission intraspécifique et une persistance dans la population plus faibles chez les renards que chez les blaireaux.

Le niveau d'incertitudes, liées aux connaissances actuellement limitées et au manque de recul sur l'infection à *M. bovis* chez les renards, conduit toutefois à considérer ces conclusions avec prudence.

## 4.2 Probabilité d'exposition des bovins

L'exposition des bovins à *M. bovis* excrété par le renard dépend essentiellement du taux de contacts entre les bovins et les renards. Ces contacts sont principalement indirects, *via* la contamination de l'environnement par des excréta de renards infectés, en particulier les fèces.

*M. bovis* étant capable de persister longtemps dans l'environnement (Anses 2019), les bovins peuvent ensuite être contaminés.

Le renard est l'espèce sauvage réceptive à *M. bovis* la plus fréquemment observée dans les fermes (cf. § 2.1.6). Les renards sont particulièrement attirés par les points d'alimentation, à la fois en pâture et dans les bâtiments (Payne *et al.* 2016), ainsi que par les réserves de fourrage utilisées comme abris (Fischer communication personnelle). On constate aussi que des familles de renards peuvent s'installer dans des fermes et s'y reproduire.

Dans la mesure où il n'a pas été observé de différence de fréquentation entre ces infrastructures d'élevage (cf. § 2.1.6), la distinction entre élevages allaitants et laitiers ne s'applique pas au cas des renards : les bovins sont ainsi autant exposés aux renards en bâtiment qu'en pâture, alors que l'exposition aux blaireaux, aux sangliers ou aux cerfs a lieu essentiellement en pâture. L'exposition à *M. bovis* en bâtiment peut être plus importante pour les bovins (dépôt de déjections à proximité des bovins et de leurs aliments, persistance plus prolongée) que dans une pâture, d'où une infection éventuellement plus probable en bâtiment qu'en pâture.

**Par comparaison avec les blaireaux**, la probabilité d'exposition des bovins aux renards pourrait, dans certains endroits, être plus élevée du fait de la présence plus fréquente des renards dans les bâtiments d'élevage (cf. supra).

Par conséquent, compte tenu de la variabilité des situations, la probabilité d'exposition pour les bovins ne peut être estimée qu'au cas par cas, en tenant compte de la situation épidémiologique des différents foyers identifiés, des éléments du paysage et des pratiques d'élevage, dont la biosécurité. Elle pourrait être plus élevée que pour les blaireaux.

### 4.3 Probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* pour les bovins

La probabilité de survenue de TB chez des bovins, liée à une infection issue du renard n'est pas nulle même si, à ce jour, aucune transmission du renard vers le bovin n'a été démontrée. Cette probabilité ne peut pas être quantifiée en l'état actuel des connaissances. En tout état de cause, elle relève d'une estimation au cas par cas, en fonction de la présence de renards sur l'élevage, et de l'importance de l'interface avec les bovins (accessibilité aux bâtiments, mesures de biosécurité...).

**Par rapport aux blaireaux**, la probabilité d'émission de *M. bovis* semble moindre chez le renard, mais la probabilité d'exposition des bovins semble plus élevée. Il est cependant difficile d'aller au-delà et d'attribuer un poids plus important à l'une ou l'autre de ces probabilités, et donc de préciser si la probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* chez les bovins, liée à une infection des renards est plus élevée ou plus faible que la probabilité de survenue de cette infection chez les bovins, liée à une infection des blaireaux. Ce risque semble cependant plus localisé aux bâtiments pour le renard que pour le blaireau.

### 4.4 Conclusion

L'évaluation du risque de transmission de *M. bovis* des renards vers les bovins permet de conclure que le risque existe, localement, même si le manque de données actuel sur la TB chez les renards ne permet pas de le quantifier, ni de le caractériser plus précisément.

Les résultats de cette évaluation de risque, associés aux conclusions sur le rôle épidémiologique du renard, justifient ainsi que des mesures de gestion particulières soient mises en œuvre, dans les élevages des « points noirs » où des renards sont trouvés infectés, pour diminuer à la fois la probabilité d'émission (mesures de gestion du renard) et la probabilité d'exposition (mesures de biosécurité).



## 5 Mesures de gestion susceptibles de faire diminuer le risque de transmission de la TB des renards au cheptel bovin/ du cheptel bovin aux renards / de constitution d'un réservoir

### Préambule

Les précédents rapports émis par l'Anses sur « la tuberculose bovine dans la faune sauvage » (Anses 2011) et sur « la gestion de la tuberculose bovine et des blaireaux » (Anses 2019) ont montré que les mesures de surveillance et de lutte contre la tuberculose bovine dans la faune sauvage sont indissociables car les données de surveillance d'une espèce sauvage sont alimentées par les mesures de gestion (données de chasse, de piégeage, de ramassage de cadavres...) et inversement, les mesures de gestion retenues dépendent des résultats de la surveillance.

Il sera donc fait dans un premier temps un rappel des mesures de surveillance actuellement mises en œuvre à l'échelon national dans la faune sauvage, puis seront exposées les mesures de surveillance et de lutte à envisager chez le renard en tenant compte de son rôle épidémiologique. Il est rappelé que l'évaluation des risques de contamination par le renard et les propositions de mesures de surveillance et de lutte sont faites dans l'état actuel des connaissances qui sont entachées d'un certain niveau d'incertitude.

### 5.1 Dispositif de surveillance de la TB chez les animaux sauvages : Sylvatub

Le rapport de l'Anses « Gestion de la TB et des blaireaux » (Anses 2019) détaille Sylvatub, dispositif national de surveillance de la TB chez les animaux sauvages, créé fin 2011, et dont l'animation nationale est assurée dans le cadre de la plateforme ESA (Epidémiosurveillance Santé Animale)<sup>8</sup>. Sylvatub a pour objectif d'harmoniser les procédures d'échantillonnage et les méthodes diagnostiques, de centraliser les données issues des différentes modalités de surveillance et de suivre l'évolution de l'infection chez les principales espèces sauvages considérées comme pouvant jouer un rôle dans la circulation ou le maintien de la TB : le sanglier, le blaireau et le cerf élaphe et, dans une moindre mesure, le chevreuil. Le renard ne fait actuellement pas partie des espèces ciblées par Sylvatub. Les résultats de la surveillance produits par ce dispositif sont publics, mis en ligne sur le centre de ressources internet de la plateforme ESA et actualisés périodiquement.

L'animation dans les départements de la surveillance est portée par les DDCSPP, la surveillance étant organisée par département selon trois niveaux :

- **Le niveau 1**, appliqué dans tous les départements de la France continentale, dans lesquels aucun foyer de TB, domestique ou sauvage, n'a été rapporté. Il est uniquement basé sur la recherche de TB en cas de lésions suspectes sur des cadavres d'animaux chassés ou collectés par le réseau SAGIR.
- **Le niveau 2**, appliqué pour explorer la présence de TB dans la faune sauvage en cas de détection de foyers bovins considérés à risque (taux d'infection intra-troupeau élevé, présence de lésions de type ouvertes ou disséminées, découverte d'abattoir). Une ou des zones de prospection (ZP) sont alors définies. Ce niveau 2 peut aussi concerner

---

<sup>8</sup> <https://www.plateforme-esa.fr/node/35789>

certaines départements en cas de contiguïté avec une zone classée en niveau 2 ou 3, lorsqu'une continuité de zone de surveillance est nécessaire.

- **Le niveau 3**, appliqué aux départements dans lesquels la TB a été mise en évidence dans des foyers bovins puis dans la faune sauvage. Dans ces départements, une ou des zones à risque (ZR) est(sont) définie(s) comme des surfaces de 1 à 10 km de rayon autour de chaque cas de blaireau, cerf ou sanglier infecté, et/ou des élevages de ruminants éventuellement déclarés infectés et leur parcellaire. La coalescence des différentes sous-zones identifiées aboutit le plus souvent à la création d'une ZR de grande surface. De plus, en cas d'apparition d'un foyer bovin sporadique en dehors de la ZR définie annuellement, une ou des zones de prospection (ZP) peuvent être définies en urgence, par un rayon de 500 m à 2 km autour des sources potentielles d'infection.

Les modalités de surveillance en fonction des niveaux de surveillance, détaillées dans le rapport Anses (2019), sont résumées dans le Tableau 9.

**Tableau 9 Types et modalités de surveillance appliquées à l'échelle départementale ou au sein de zones délimitées en fonction des niveaux de surveillance prédéfinis**  
(extrait de l'IT DGAL/SDSPA/2018-708)

Type de surveillance	Modalité de surveillance	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Événementielle	Recherche de lésions suspectes chez les cervidés et sangliers lors de l'examen de carcasse dans le cadre d'une pratique de chasse habituelle	X	X	X
	Recherche de lésions évocatrices de tuberculose chez les sangliers, cervidés et blaireaux collectés dans le cadre du réseau Sagir (animaux morts ou mourants) dans son fonctionnement normal	X	X	X
Événementielle renforcée	Recherche analytique systématique de tuberculose chez les sangliers, cerfs et blaireaux collectés dans le cadre du renforcement du réseau Sagir		X	X
	Recherche analytique systématique de tuberculose chez les cadavres de blaireaux collectés sur les routes dans le cadre du renforcement réseau Sagir. Ce renforcement des analyses doit s'accompagner d'un renfort de collecte sur l'ensemble des zones de prospection et des zones tampon.		X	X
Programmée	Recherche systématique de tuberculose sur un échantillon de blaireaux prélevés dans les zones infectées de la zone à risque ou en zone de prospection		X	X
	Recherche systématique de tuberculose sur un échantillon de sangliers prélevés sur l'ensemble de la zone à risque.			X

La surveillance de la TB dans la faune sauvage est un prérequis indispensable à la mise en place de mesures de lutte, dans la mesure où elle permet de réaliser un état des lieux de chaque situation (contexte épidémiologique, faisabilité de différentes mesures) et d'adapter dans le temps les mesures de lutte au contexte local. Les niveaux de surveillance sont réévalués chaque année pour prendre en compte l'évolution de la situation sanitaire de la TB. Au total, au 19 juin 2020, 67 départements sont classés en niveau 1, 14 en niveau 2 et 17 en niveau 3 (cf. Figure 12).



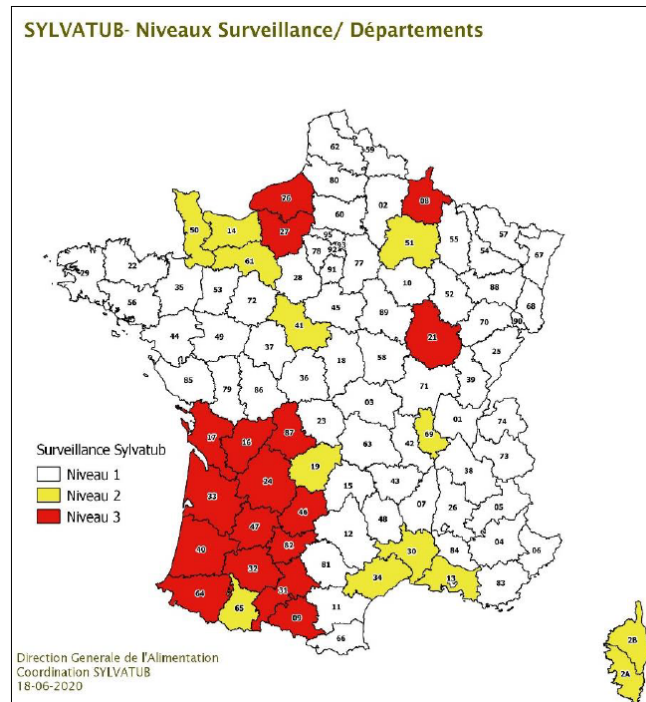


Figure 12 Carte synthétique représentant les niveaux de surveillance départementaux du dispositif Sylvatub, mise à jour au vu des résultats de surveillance en 2019/2020 (source : Plateforme ESA)

## 5.2 Surveillance et lutte chez le renard

### 5.2.1 Rappel des éléments épidémiologiques pris en compte pour proposer des mesures de surveillance et de lutte

- Le comportement alimentaire du renard (exploration à la recherche de nourriture, régime alimentaire opportuniste, nécrophagie) l'expose à des contaminations par ingestion de matières infectées par d'autres hôtes ou de cadavres ou viscères d'animaux tuberculeux.
- Le renard n'a jusqu'alors été trouvé infecté que dans des zones où la circulation de *M. bovis* est, ou était, très active chez les espèces domestiques et sauvages (actuellement en Nouvelle Aquitaine et, entre 2005 et 2014, en Côte d'Or) (cf. introduction § 4).
- Dans ces zones, son comportement exploratoire sur les sites d'élevage et sa capacité d'excrétion (principalement fécale) génèrent un risque de contamination des autres espèces, en particulier des bovins.
- Dans ces zones toujours, le renard pourrait jouer un rôle non négligeable dans le système multihôtes de la TB. Il ne semble pas avoir un rôle majeur au-delà de cette échelle locale, par comparaison au blaireau par exemple.
- Il apparaît comme une moins bonne sentinelle épidémiologique que le sanglier et le blaireau, qui, par leur réceptivité et leur comportement alimentaire, constituent de meilleurs indicateurs de la contamination de l'environnement par *M. bovis*.
- Une population de renards ne semble pas capable de maintenir l'infection sans source extérieure de contamination et donc de constituer un réservoir (hôte de maintien) de TB, mais localement le renard apparaît comme un hôte de liaison possible.

## 5.2.2 Mesures de surveillance et de lutte proposées

### 5.2.2.1 Principes généraux

Dans les départements où la TB n'a pas été détectée (correspondant au niveau 1 du dispositif Sylvatub), la surveillance est aujourd'hui basée sur la détection de lésions tuberculeuses par le réseau SAGIR sur les cadavres de sangliers, cervidés et blaireaux. Les renards infectés ne présentent que très rarement des lésions macroscopiques. En outre, au vu des arguments épidémiologiques développés précédemment (cas vulpins détectés uniquement dans des zones d'infection active multi-espèces, pas de rôle sentinelle ni d'hôte de maintien du renard), il n'apparaît pas pertinent de mettre en place des mesures chez les renards dans ces départements, ni d'intégrer le renard à la liste des espèces surveillées.

Dans les départements où la TB a été détectée chez les espèces domestiques et/ou sauvages (correspondant aux niveaux 2 et 3 du dispositif Sylvatub), plusieurs éléments sont à considérer : dans la plupart des départements, le renard est abondamment chassé et piégé (cf. § 2.1.5). De plus, le renard est une espèce capable de compenser rapidement les pertes démographiques (cf. § 2.1.4.2). Enfin, la fréquence des visites des exploitations, notamment des bâtiments d'élevage, où il existe des zones très attractives pour les renards, est indépendante des densités. Par conséquent, il n'apparaît pas nécessaire de mettre en œuvre une gestion par des réductions d'effectif des populations de renards à l'échelle des zones à risque (ZR) comme cela est fait pour les blaireaux, sangliers et cervidés.

Il conviendrait par contre d'exercer une surveillance et une élimination des renards à une échelle très locale, c'est-à-dire dans et à proximité immédiate des fermes infectées (cf. § 5.2.2.2).

### 5.2.2.2 Élimination de renards à l'échelle de l'élevage infecté

Dans une exploitation bovine infectée (en niveau 2 ou 3 de Sylvatub), parallèlement à la gestion des terriers de blaireaux, il conviendrait d'éliminer, de manière ciblée, les renards fréquentant les bâtiments et leur proximité immédiate (par tirs de destruction ou piégeage), et de les analyser (recherche de *M. bovis* par PCR). Ceci aurait pour objectif d'éviter l'infection de renard auprès d'excrétas de bovins infectés, d'éliminer une source de contamination pour les bovins et donc d'éviter la rémanence de l'infection tuberculeuse dans et autour des élevages infectés puis assainis. Si ces opérations révèlent l'infection d'un ou plusieurs renards, les efforts de chasse et de piégeage devraient être maintenus afin d'éviter la fréquentation du site d'exploitation par des renards et poursuivies tant que l'infection est détectée dans l'exploitation, quelle que soit l'espèce considérée. La mise en place de ces mesures relèverait du cas par cas, après analyse de la topologie de l'exploitation considérée (et le cas échéant d'exploitations voisines très proches) et du niveau de fréquentation du site par des renards.

Compte tenu des incertitudes liées aux données encore peu nombreuses sur la TB chez le renard, le GT souligne que ces préconisations pourraient être reconsidérées en fonction de l'évolution des connaissances et de la situation épidémiologique de la TB chez le renard.

### 5.2.2.3 Ramassage et destruction de cadavres

Le ramassage et la destruction des cadavres de renards (éliminés ou morts naturellement) seraient à envisager de manière différenciée en fonction de l'échelle spatiale considérée.

- **Au sein de l'exploitation** (bâtiments et pâtures)  
Les cadavres de renards devraient être ramassés et analysés.
- **A l'échelle d'un « point noir »**  
Pour rappel, ce terme, utilisé dans le cadre de la présente saisine et défini dans le glossaire, correspond à une zone où l'infection à *M. bovis* circule de façon persistante dans le système multihôtes (bovins, faune sauvage, environnement), malgré les mesures de lutte mises en place (gestion des élevages, élimination locale des blaireaux...). Le « point noir » concerne le plus souvent l'échelle d'une ou plusieurs exploitations (bâtiments et pâtures), recouvrant une à quelques communes contiguës.

A l'échelle d'un « point noir », il conviendrait de réaliser le ramassage et la destruction systématiques de tout cadavre de renard mort naturellement, piégé, chassé ou prélevé pour quelque raison que ce soit (indépendamment de toute forme de surveillance). Cette mesure participe à l'élimination de toute source de contamination de l'environnement, au même titre que la collecte des viscères de sangliers et de cervidés. Afin d'évaluer le risque lié à ces cadavres dans ces « points noirs », l'analyse de tout ou partie des cadavres de renards ramassés serait souhaitable.

- **A plus large échelle (dans tout un département de niveau 3 ou dans une grande zone infectée)**

En l'état actuel des connaissances, le ramassage et, *a fortiori*, l'analyse des cadavres de renards n'apparaissent pas justifiés contrairement à celui des cadavres et des viscères de sangliers et de cervidés chassés, dont les domaines vitaux sont plus larges.

### 5.3 Mesures de biosécurité

Le renard est l'espèce sauvage la plus observée dans et à proximité des bâtiments d'élevage, du fait notamment de la présence abondante de rongeurs dans les bâtiments et les ensilages (cf. § 2.1.2). De plus, un renard infecté peut excréter *M. bovis*, particulièrement par voie fécale. Aussi, dans les exploitations qui se trouvent dans un « point noir », il est indispensable de compléter les mesures de lutte préconisées plus haut par un renforcement des mesures de biosécurité externe, qui se définit comme la protection de l'élevage vis-à-vis des risques de contamination venant de l'extérieur. Ces mesures de biosécurité visent à limiter, voire empêcher les contacts contaminants entre le renard et les bovins dans les bâtiments et sur les points d'alimentation et d'abreuvement, soit en empêchant leur accès aux renards, soit en limitant leur attractivité, ou encore en réduisant la contamination de l'environnement ou des infrastructures partagées (pour plus de détails, voir le guide des bonnes pratiques pour se protéger de la tuberculose bovine<sup>9</sup>).

*A priori*, la plupart des mesures de biosécurité déjà mises en place vis-à-vis du blaireau sont applicables au renard. Il est important que **les bâtiments d'élevage et, plus spécifiquement les réserves d'aliments, soient protégés contre l'intrusion des renards**. Cette protection peut passer par des installations permanentes telles que des portes ou des panneaux occultant l'entrée des stocks d'aliment jusqu'au sol ou des installations non permanentes telles que des clôtures électriques plus adaptées à la protection des stocks de foin et de l'ensilage.

Il convient d'être particulièrement attentif aux points d'alimentation, très attractifs pour les renards, mais également pour les micromammifères (souris, campagnols, mulots, etc.), qui constituent des proies pour les renards. Il convient donc de maintenir, voire de renforcer les **mesures de lutte contre les micromammifères**, notamment dans et autour de ces points, afin de rompre cette chaîne alimentaire point d'alimentation / micromammifère / renard.

Afin de réduire la contamination de l'environnement par *M. bovis*, il faudrait, dans la mesure du possible, **éliminer les déjections de renards sur les points d'alimentation**, les ensilages, ainsi que dans les zones de marquage préférentielles pour les renards (zones de croisement, de passage, etc.).

Il faut également **être attentif à la présence de portées de renardeaux** dans ou à proximité directe des bâtiments ou stocks de foin, qui augmente le niveau de présence des renards et de leurs déjections.

La **présence de chiens** dans l'exploitation aura également un effet dissuasif sur sa fréquentation par des renards.

---

<sup>9</sup> <https://www.gdsfrance.org/la-biosecurite-pour-se-protger-de-la-tuberculose/>

## 6 Incertitudes

Les incertitudes liées aux réponses aux questions de la saisine sont principalement associées aux connaissances scientifiques actuellement limitées sur l'infection à *M. bovis* chez le renard, aux données épidémiologiques peu nombreuses chez le renard en France, et au faible nombre de publications scientifiques sur ce sujet, rarement étudié en France comme à l'étranger. Ces connaissances limitées résultent de la détection très récente de cas d'infection à *M. bovis* chez le renard.

Les principales incertitudes sur le rôle épidémiologique du renard portent sur :

- L'épidémiologie de l'infection à *M. bovis* chez le renard
  - La durée de l'excrétion de *M. bovis* par un renard infecté, son éventuel caractère intermittent, la question de l'excrétion de *M. bovis* par voie respiratoire (*i.e.* celle de savoir si l'infection des NL respiratoires infectés peut être associée à une excrétion par voie respiratoire) ;
  - La sensibilité à *M. bovis* des jeunes renards, actuellement peu documentée, et le rôle épidémiologique des jeunes par rapport aux adultes, l'impact de cette infection des jeunes dans la transmission de *M. bovis* n'ayant pas encore été estimé ;
- La transmission intraspécifique et interspécifique de *M. bovis*
  - La dynamique d'infection dans un groupe et entre groupes de renards, prenant en compte le taux de transmission, ainsi que les particularités écologiques de cette espèce qui conditionnent les contacts interindividuels.
  - Le réel facteur de risque d'infection par nécrophagie, associé au non-ramassage d'une carcasse de renard infecté inter et intra espèce.
  - Le sens de la transmission entre renards et autres espèces hôtes, du fait du faible nombre de souches vulpines étudiées par phylogénie et du caractère récent de leur collecte.
  - Les sources de contamination pour les renards, notamment les bovins vs la faune sauvage. Plus précisément, l'importance de la nécrophagie chez les renards, l'importance de la fréquentation des terriers de blaireaux, et dans quelle mesure ces terriers de blaireaux constituent une source de contamination pour les renards, sont mal connus.
  - L'association spatiale entre renards infectés et autres espèces hôtes trouvées infectées.
  - Le manque de connaissances sur la possibilité d'infection des renards en dehors des zones où les autres espèces de la faune sauvage sont infectées (les études n'ont à ce jour révélé de cas de renards infectés que dans des zones de circulation active de *M. bovis* dans le système multihôtes, mais des études complémentaires dans d'autres zones infectées de contexte épidémiologique différent seraient utiles).

Ces incertitudes conduisent à considérer les conclusions sur le rôle épidémiologique du renard et sur les mesures de surveillance et de gestion proposées avec la prudence requise. A ce titre, le GT a souligné que ses conclusions pourraient être reconsidérées à la lumière de connaissances futures et de l'évolution de la situation sanitaire de la TB dans le système multihôtes en France.

## 7 Conclusions et recommandations du groupe de travail

### 7.1 Conclusions - réponses aux questions

#### 7.1.1 « *Quel est le risque de transmission de la TB aux élevages de bovins par des renards compte tenu des éléments actuellement connus ? Quel est le risque de création d'un réservoir de la maladie dans la faune sauvage en intégrant le rôle joué par cette espèce ?* »

Concernant le risque de transmission des renards aux bovins, un renard peut s'infecter, puis excréter *M. bovis*, bien que présentant très peu ou pas de lésions macroscopiques. L'évaluation de risque conduite par le GT a permis de conclure que le risque existait, localement, sans pouvoir le quantifier réellement, ni le caractériser pleinement, du fait du manque de données actuelles sur la TB chez les renards. Par rapport aux blaireaux, la probabilité d'émission de *M. bovis* semble moindre chez le renard, mais la probabilité d'exposition des bovins semble localement plus élevée. Il est cependant difficile d'aller au-delà et de préciser si la probabilité de survenue de l'infection à *M. bovis* chez les bovins, liée à une infection des renards est plus élevée ou plus faible que la probabilité de survenue de cette infection chez les bovins, liée à une infection des blaireaux.

A l'issue de l'analyse, le renard n'apparaît pas comme un hôte de maintien, c'est-à-dire ne constitue pas à lui seul un réservoir de *M. bovis*. La présence de renards infectés ne constitue donc pas un risque majeur de création d'un réservoir dans la faune sauvage. Il pourrait néanmoins apporter une contribution à la circulation de *M. bovis* dans le système multihôtes, mais sans doute moindre que les autres hôtes sauvages (sangliers, blaireaux). Il jouerait alors un rôle d'hôte de liaison dans des zones de circulation active de l'infection chez les bovins et dans la faune sauvage, notamment très localement autour des fermes infectées.

Du fait de son comportement social, alimentaire et de sa dynamique de population (dynamique populationnelle rapide, espèce largement chassée, durée de vie courte), le renard semble moins apte à faire persister localement l'infection que le blaireau.

#### 7.1.2 « *Quelles mesures de gestion (contrôle des densités de renard par la chasse, ramassage des cadavres, etc.) seraient susceptibles de faire diminuer ce risque ?* »

Le rôle épidémiologique du renard et les résultats de l'évaluation de risque justifient la mise en place de mesures de gestion suivantes :

- En niveau 1 de Sylvatub, de par sa moindre réceptivité et son incapacité à maintenir l'infection sur le long-terme, le renard apparaît comme une moins bonne sentinelle épidémiologique que le sanglier ou le blaireau. Par conséquent, les experts ne recommandent pas de surveillance ni de mesure pour les renards.
- En niveaux 2 et 3 de Sylvatub, en l'état actuel des connaissances, les mesures de gestion locale suivantes pourraient être mises en place au cas par cas, après évaluation de chaque situation :
  - Dans une exploitation bovine infectée, il conviendrait d'éliminer, de manière ciblée, les renards fréquentant les bâtiments et leur proximité immédiate, et de les analyser. Tout cadavre de renard devrait également être ramassé pour être analysé.
  - Dans les « points noirs », il conviendrait de ramasser et éliminer tout cadavre de renard, du fait du risque de contamination de l'environnement par ces cadavres. En fonction de leur nombre, tout ou partie de ces renards devrait être analysé.

Il conviendrait de renforcer les mesures de biosécurité dans les exploitations, des points noirs notamment, protéger les bâtiments d'élevage (réserves d'aliments) contre l'intrusion des renards, renforcer les mesures de lutte contre les micromammifères, éliminer les déjections de renards sur les points d'alimentation, être attentif à la présence de portées de renardeaux ou recourir à la présence de chiens.

- A large échelle (dans tout un département ou dans toute une large zone infectée), actuellement, le ramassage, et a fortiori l'analyse, des cadavres de renards n'apparaît pas justifié.

Les experts soulignent qu'en dehors des exploitations infectées, le ramassage de cadavres ne signifie pas qu'il faut abattre davantage de renards, espèce déjà largement chassée. Il n'y a pas de justification à abattre des renards pour baisser les densités, du fait du comportement et de la dynamique de population de renards (renouvellement rapide) qui conduiront à une compensation très rapide des populations.

**En particulier, en dehors des exploitations infectées, et a fortiori des zones infectées de tuberculose bovine, l'élimination préventive des renards ne peut en aucun cas être justifiée au motif de la lutte contre la tuberculose bovine.**

Compte tenu du manque de recul et de connaissances sur la TB chez le renard par rapport aux autres espèces et des incertitudes qui y sont associées, les préconisations du rapport pourront être modulées en fonction de l'évolution des connaissances. Ce besoin de connaissances a également amené le GT à formuler les recommandations ci-dessous.

## 7.2 Recommandations

Des besoins de recherches sont ressortis pour répondre aux principales incertitudes liées aux connaissances scientifiques actuellement limitées sur l'infection à *M. bovis* chez le renard, et aux données épidémiologiques peu nombreuses en France comparées à d'autres espèces comme le blaireau ou le sanglier, et confirmer certaines hypothèses faites dans ce rapport. Il conviendrait ainsi :

- D'analyser l'association spatiale entre bovins infectés et renards infectés au sein des points noirs afin de mieux circonscrire la zone de gestion de cette espèce,
- De confirmer les hypothèses concernant le sens de transmission entre renards et autres espèces par l'isolement et l'analyse phylogénétique systématiques des souches de renards trouvés infectés et par phylodynamie,
- Concernant les sources de contamination pour les renards,
  - D'étudier les comportements de nécrophagie au sein du système multihôtes (cadavres de renards, de sangliers...),
  - De documenter la fréquentation des terriers de blaireaux, et dans quelle mesure ces terriers de blaireaux constituent une source de contamination pour les renards,
  - D'affiner les connaissances sur la fréquentation d'élevages par les renards, notamment par des études cas/témoins (élevages infectés vs élevages témoin/ biosécurité) et de vidéosurveillance,
- Concernant l'infection par *M. bovis* chez le renard et au sein des populations de renards, d'acquérir ou affiner les connaissances sur :
  - La durée et le niveau d'excrétion par les voies fécale et urinaire, ainsi que son intermittence éventuelle, et sur la possibilité d'excrétion par voie respiratoire,
  - L'agrégation spatiale de l'infection dans une population de renards,
  - La sensibilité à *M. bovis* des jeunes renards et leur rôle épidémiologique par rapport celui des adultes.

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail : 08 12 2020**



## 8 Bibliographie

### 8.1 Publications

- Afssa. 2008. Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animale. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT-Ra-MethodeRisque.pdf>.
- Albaret, M., S. Ruelle et M. Guinot-Ghestem. 2014. "Nouvelle enquête sur les prélèvements par destruction au cours des saisons 2011/2012 et 2012/2013 en France." *Faune Sauvage* (305 ):10-16.
- Anses. 2011. Tuberculose bovine et faune sauvage. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2010sa0154Ra.pdf>.
- Anses. 2019. Gestion de la tuberculose bovine et des blaireaux. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise révisé. (saisine 2016-SA-0200). Maisons-Alfort : Anses, 198 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0200Ra.pdf>.
- Arroyo, B. et P. Beja. 2002. "Impact of hunting management practices on biodiversity. In J. Viñuela (Ed.), Reconciling gamebird hunting and biodiversity (REGHAB). Ciudad Real, Spain: Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos."
- Artois, M. 1989. *Le renard roux*. Traduit par. Edité. Vol. 3, *Encyclopédie des Carnivores de France, SFPEM*.
- Artois, M., M. Aubert et P. Stahl. 1990. "Organisation spatiale du renard roux (*Vulpes vulpes* L., 1758) en zone d'enzootie de rage en Lorraine." *Revue d'écologie* 45:113-134.
- Artois, M. et A. Le Gall. 1988. *Le renard. Hatier*. Traduit par. Edité.
- Aubry, P., L. Anstett, Y. Ferrand, F. Reitz, F. Klein, S. Ruelle, M. Sarasa, JP. Arnauduc et P. Migot. 2016. "Enquête nationale sur les tableaux de chasse à tir Saison 2013-2014. Résultats nationaux." *Faune Sauvage* (310, supplément janvier-mars):1-8.
- Baker, Philip J., Charles P. J. Robertson, Stephan M. Funk et Stephen Harris. 1998. "Potential fitness benefits of group living in the red fox, *Vulpes vulpes*." *Animal Behaviour* 56 (6):1411-1424. doi: <https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0950>.
- Baker, P.J., S.M. Funk, M.W. Bruford et S. Harris. 2004. "Polygynandry in a red fox population: implications for the evolution of group living in canids?" *Behavioral Ecology* 15 (5):766-778. doi: 10.1093/beheco/arh077.
- Baker, P.J., S.M. Funk, S. Harris et P.C.L. White. 2000. "Flexible spatial organization of urban foxes, *Vulpes vulpes*, before and during an outbreak of sarcoptic mange." *Animal Behaviour* 59 (1):127-146. doi: <https://doi.org/10.1006/anbe.1999.1285>.
- Barasona, Jose A., M. Cecilia Latham, Pelayo Acevedo, Jose A. Armenteros, A. David M. Latham, Christian Gortazar, Francisco Carro, Ramon C. Soriguer et Joaquin Vicente. 2014. "Spatiotemporal interactions between wild boar and cattle: implications for cross-species disease transmission." *Veterinary Research* 45 (1):122. doi: 10.1186/s13567-014-0122-7.
- Barrull, J., I. Mate, M. Salicrú, J. Palet, J. G. Casanovas, J. Gosàlbez et J. Ruiz-Olmo. 2014. "Differential response of a carnivore community to predator control: a spatio-temporal observational study." *Italian Journal of Zoology* 81 (2):271-279. doi: 10.1080/11250003.2014.893378.
- Bartoń, Kamil A. et Andrzej Zalewski. 2007. "Winter severity limits red fox populations in Eurasia." *Global Ecology and Biogeography* 16 (3):281-289. doi: 10.1111/j.1466-8238.2007.00299.x.
- Battersby, J. 2005. "UK mammals: species status and population trends. Tracking Mammals Partnership Report 1: 1–116 p."
- Beja, Pedro, Luís Gordinho, Luís Reino, Filipa Loureiro, Margarida Santos-Reis et Rui Borralho. 2009. "Predator abundance in relation to small game management in southern Portugal: conservation implications." *European Journal of Wildlife Research* 55 (3):227-238. doi: 10.1007/s10344-008-0236-1.
- Biek, R., A. O'Hare, D. Wright, T. Mallon, C. McCormick, R. J. Orton, S. McDowell, H. Trewby, R. A. Skuce et R. R. Kao. 2012. "Whole genome sequencing reveals local transmission patterns of *Mycobacterium bovis* in sympatric cattle and badger populations." *PLoS Pathog* 8 (11):e1003008. doi: 10.1371/journal.ppat.1003008.
- Bourne, F. J., D.R. Cox, C.A. Donnelly, G. Gettinby, J. P. McInerney, W.I. Morrison et R. Woodroffe. 2007. Bovine tuberculosis: the scientific evidence. A Science Base for a Sustainable Policy to Control TB in Cattle. An Epidemiological Investigation into Bovine Tuberculosis. Final report of the independent scientific group (ISG) on cattle TB. DEFRA London.
- Breitenmoser, U., U. Mueller, A. Kappeler et R.G. Zanoni. 2000. "Die Endphase der Tollwut in der Schweiz." *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* (147):447-453.



- Briones, V., L. de Juan, C. Sánchez, A. I. Vela, M. Galka, Montero, J. Goyache, A. Aranaz et L. Domínguez. 2000. "Bovine tuberculosis and the endangered Iberian lynx." *Emerg Infect Dis* 6 (2):189-91. doi: 10.3201/eid0602.000214.
- Bruning-Fann, C. S., S. M. Schmitt, S. D. Fitzgerald, J. S. Fierke, P. D. Friedrich, J. B. Kaneene, K. A. Clarke, K. L. Butler, J. B. Payeur, D. L. Whipple, T. M. Cooley, J. M. Miller et D. P. Muzo. 2001. "Bovine tuberculosis in free-ranging carnivores from Michigan." *J Wildl Dis* 37 (1):58-64. doi: 10.7589/0090-3558-37.1.58.
- Bruning-Fann, C. S., S. M. Schmitt, S. D. Fitzgerald, J. B. Payeur, D. L. Whipple, T. M. Cooley, T. Carlson et P. Friedrich. 1998. "Mycobacterium bovis in coyotes from Michigan." *J Wildl Dis* 34 (3):632-6. doi: 10.7589/0090-3558-47.632.636.
- Buckland, S., T. Anderson, DR. Burnham et KP. Laake. 1993. *Distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Traduit par. Edité.
- Carrasco-Garcia, R.; Barasona, J. A.; Gortazar, C.; Montoro, V.; Sanchez-Vizcaino, J. M.; Vicente, J. 2016. "Wildlife and livestock use of extensive farm resources in South Central Spain: implications for disease transmission." *European Journal of Wildlife Research* 62 (1):65-78. doi: 10.1007/s10344-015-0974-9.
- Cavallini, P. 1996. "Variation in the social system of the red fox." *Ethology Ecology & Evolution* 8 (4):323-342. doi: 10.1080/08927014.1996.9522906.
- Cavallini, P. et T. Volpi. 1996. "Variation in the diet of the red fox in a Mediterranean area." *Revue d'écologie* 51 (2):173-189.
- Chautan, M., D. Pontier et M. Artois. 2000. "Role of rabies in recent demographic changes in red fox (*Vulpes vulpes*) populations in Europe." *Mammalia* 64 (4):391-410.
- Comte, S., G. Umhang, V. Raton, F. Raoul, P. Giraudoux, B. Combes et F. Boué. 2017. "Echinococcus multilocularis management by fox culling: An inappropriate paradigm." *Preventive Veterinary Medicine* 147:178-185. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.09.010>.
- Corner, L. A. 2006. "The role of wild animal populations in the epidemiology of tuberculosis in domestic animals: how to assess the risk." *Vet Microbiol* 112 (2-4):303-12. doi: 10.1016/j.vetmic.2005.11.015.
- Curveira-Santos, Gonçalo, Nuno M. Pedroso, Ana Luísa Barros et Margarida Santos-Reis. 2019. "Mesocarnivore community structure under predator control: Unintended patterns in a conservation context." *PLoS One* 14 (1):e0210661. doi: 10.1371/journal.pone.0210661.
- Delahay, R. J., C. L. Cheeseman et R. S. Clifton-Hadley. 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. doi: 10.1054/tube.2000.0266.
- Delahay, R. J., A. N. De Leeuw, A. M. Barlow, R. S. Clifton-hadley et C. L. Cheeseman. 2002. "The status of *Mycobacterium bovis* infection in UK wild mammals: a review." *Vet J* 164 (2):90-105. doi: 10.1053/tvjl.2001.0667.
- Delahay, R. J., G. C. Smith, A. M. Barlow, N. Walker, A. Harris, R. S. Clifton-Hadley et C. L. Cheeseman. 2007. "Bovine tuberculosis infection in wild mammals in the South-West region of England: a survey of prevalence and a semi-quantitative assessment of the relative risks to cattle." *Vet J* 173 (2):287-301. doi: 10.1016/j.tvjl.2005.11.011.
- Delahay, R. J., N. Walker, G. C. Smith, D. Wilkinson, R. S. Clifton-Hadley, C. L. Cheeseman, A. J. Tomlinson et M. A. Chambers. 2013. "Long-term temporal trends and estimated transmission rates for *Mycobacterium bovis* infection in an undisturbed high-density badger (*Meles meles*) population." *Epidemiol Infect* 141 (7):1445-56. doi: 10.1017/s0950268813000721.
- Devenish-Nelson, ES., S. Harris, CD. Soulsbury, SA. Richards et PA. Stephens. 2013. "Demography of a carnivore, the red fox, *Vulpes vulpes*: what have we learnt from 70 years of published studies?" *Oikos* 122 (5):705-716. doi: 10.1111/j.1600-0706.2012.20706.x.
- Doncaster, CP. et DW. Macdonald. 1991. "Drifting Territoriality in the Red Fox *Vulpes vulpes*." *Journal of Animal Ecology* 60 (2):423-439. doi: 10.2307/5288.
- Dorning, J. et S. Harris. 2019a. "Individual and seasonal variation in contact rate, connectivity and centrality in red fox (*Vulpes vulpes*) social groups." *Scientific Reports* 9 (1):20095. doi: 10.1038/s41598-019-56713-3.
- Dorning, J. et S. Harris. 2019b. "Understanding the intricacy of canid social systems: Structure and temporal stability of red fox (*Vulpes vulpes*) groups." *PLoS One* 14 (9):e0220792. doi: 10.1371/journal.pone.0220792.
- Ferrari, N. et J.M. Weber. 1995. "Influence of the abundance of food resources on the feeding habits of the red fox, *Vulpes vulpes*, in western Switzerland." *Journal of Zoology* 236 (1):117-129. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1995.tb01788.x>.

- Fischer, C. 2008. "Effets of sarcoptic mange on the behavior of the red fox and influence on other fox-borne zoonoses in Geneva, Switzerland." PhD Doctorat ès sciences de la vie, Faculté de biologie et de médecine, Lausanne.
- Fitzgerald, S. D. et J. B. Kaneene. 2012. "Wildlife Reservoirs of Bovine Tuberculosis Worldwide: Hosts, Pathology, Surveillance, and Control." *Veterinary Pathology* 50 (3):488-499. doi: 10.1177/0300985812467472.
- Gachot-Neveu, H., P. Lefevre, J.J. Roeder, C. Henry et M.L. Poulle. 2009. "Genetic Detection of Sex-Biased and Age-Biased Dispersal in a Population of Wild Carnivore, the Red Fox, *Vulpes vulpes*." *Zoological Science* 26 (2):145-152, 8.
- Gavier-Widen, D., M. A. Chambers, N. Palmer, D. G. Newell et R. G. Hewinson. 2001. "Pathology of natural *Mycobacterium bovis* infection in European badgers (*Meles meles*) and its relationship with bacterial excretion." *Vet Rec* 148 (10):299-304. doi: 10.1136/vr.148.10.299.
- Goddard, H.N. et J.C. Reynolds. 1993. "Age determination in the red fox (*Vulpes vulpes* L.) from tooth cementum lines." *Gibier Faune Sauvage* (10):173-187.
- Goldyn, Bartłomiej., Martin. Hromada, Adrian. Surmacki et Piotr. Tryjanowski. 2003. "Habitat use and diet of the red fox *Vulpes vulpes* in an agricultural landscape in Poland." *Zeitschrift für Jagdwissenschaften* 49:191-200. doi: 10.1007/BF02189737.
- Gormley, E. et L. A. L. Corner. 2017. "Pathogenesis of *Mycobacterium bovis* Infection: the Badger Model As a Paradigm for Understanding Tuberculosis in Animals." *Front Vet Sci* 4:247. doi: 10.3389/fvets.2017.00247.
- Gortázar, Chr, R. Villafuerte, J. C. Blanco et D. Fernández-De-Luco. 1998. "Enzootic sarcoptic mange in red foxes in Spain." *Zeitschrift für Jagdwissenschaften* 44 (4):251-256. doi: 10.1007/BF02242030.
- Gortázar, Christian, Pablo Ferreras, Rafael Villafuerte, María Martín et Juan Carlos Blanco. 2003. "Habitat related differences in age structure and reproductive parameters of red foxes." *Acta Theriologica* 48 (1):93-100. doi: 10.1007/BF03194269.
- Gosselink, Todd E., Kimberly A. Piccolo, Timothy R. van Deelen, Richard E. Warner et Phil C. Mankin. 2010. "Natal Dispersal and Philopatry of Red Foxes in Urban and Agricultural Areas of Illinois." *Journal of Wildlife Management* 74 (6):1204-1217, 14.
- Guislain, M. H., F. Raoul, M. L. Poulle et P. Giraudoux. 2007. "Fox faeces and vole distribution on a local range: ecological data in a parasitological perspective for *Echinococcus multilocularis*." *Parasite* 14 (4):299-308. doi: 10.1051/parasite/2007144299.
- Güthlin, D., I. Storch et H. Küchenhoff. 2014a. "Is it possible to individually identify red foxes from photographs?" *Wildlife Society Bulletin* 38 (1):205-210.
- Güthlin, D., I. Storch et H. Küchenhoff. 2014b. "Toward Reliable Estimates of Abundance: Comparing Index Methods to Assess the Abundance of a Mammalian Predator." *PLoS One* 9 (4):e94537. doi: 10.1371/journal.pone.0094537.
- Güthlin, Denise, Ilse Storch et Helmut Küchenhoff. 2013. "Landscape variables associated with relative abundance of generalist mesopredators." *Landscape Ecology* 28 (9):1687-1696. doi: 10.1007/s10980-013-9911-z.
- Harris, S. et P. Baker. 2001. *Urban foxes*. Traduit par. Edité par New edition.
- Harris, S. et G. C. Smith. 1987. "Demography of Two Urban Fox (*Vulpes vulpes*) Populations." *Journal of Applied Ecology* 24 (1):75-86. doi: 10.2307/2403788.
- Harris, S. et W. J. Trehwella. 1988. "An Analysis of Some of the Factors Affecting Dispersal in an Urban Fox (*Vulpes vulpes*) Population." *Journal of Applied Ecology* 25 (2):409-422. doi: 10.2307/2403833.
- Harris, S.J., D. Massimino, S. Gillings, M.A. Eaton, D.G. Noble, D.E. Balmer, D. Procter, J.W. Pearce-Higgins et P. Woodcock. 2018. The Breeding Bird Survey 2017. BTO Research Report 706 British Trust for Ornithology, Thetford. [www.bto.org/bbs-report](http://www.bto.org/bbs-report).
- Hars, J., M.L. Boschioli, P. Belli, J. Vardon, E. Coquatrix, B. Garin-Bastuji et M.F. Thorel. 2004. "Découverte du premier foyer de tuberculose sur les ongulés sauvages en France." *Faune Sauvage* (261):29-34.
- Hars, J., M.L. Boschioli, A. Duvauchelle et B. Garin-Bastuji. 2006. "La tuberculose à *Mycobacterium bovis* chez le Cerf et le Sanglier en France. Émergence et risque pour l'élevage bovin." *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*:393-401. doi: <https://doi.org/10.4267/2042/58198>.
- Hars, J., C. Richomme et M.L. Boschioli. 2010. "La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France." *Bulletin épidémiologique hebdomadaire de l'Anses*:28-31.
- Hars, J., C. Richomme, J. Rivière, E. Faure et M.L. Boschioli. 2012. "Dix années de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage française et perspectives." *Bulletin épidémiologique santé animale - alimentation*:2-6.

- Heydon, Matthew J. et Jonathan C. Reynolds. 2000. "Fox (*Vulpes vulpes*) management in three contrasting regions of Britain, in relation to agricultural and sporting interests." *Journal of Zoology* 251 (2):237-252. doi: 10.1111/j.1469-7998.2000.tb00607.x.
- Hofmeester, T. R., P. A. Jansen, H. J. Wijnen, E. C. Coipan, M. Fonville, H. H. T. Prins, H. Sprong et S. E. van Wieren. 2017. "Cascading effects of predator activity on tick-borne disease risk." *Proceedings Biological sciences* 284 (1859). doi: 10.1098/rspb.2017.0453.
- Iossa, Graziella, Carl D. Soulsbury, Philip J. Baker, Keith J. Edwards et Stephen Vaughan Harris. 2009. "Behavioral changes associated with a population density decline in the facultatively social red fox." *Proceedings Biological sciences* 284 (1859). doi: 10.1098/rspb.2017.0453.
- Jacquier, Mickaël, Laurent Simon, Sandrine Ruet, Jean-Michel Vandell, Arzhela Hemery et Sébastien Devillard. 2020. "Isotopic evidence of individual specialization toward free-ranging chickens in a rural population of red foxes." *European Journal of Wildlife Research* 66 (1):15. doi: 10.1007/s10344-019-1352-9.
- Jacquot, M., M. Coeurdassier, G. Couval, R. Renaude, D. Pleydell, D. Truchetet, F. Raoul et P. Giraudoux. 2013. "Using long-term monitoring of red fox populations to assess changes in rodent control practices." *Journal of Applied Ecology* 50 (6):1406-1414. doi: 10.1111/1365-2664.12151.
- Jimenez, Jose, Richard Chandler, Jorge Tobajas, Esther Descalzo, Rafael Mateo et Pablo Ferreras. 2019. "Generalized spatial mark-resight models with incomplete identification: An application to red fox density estimates." *Ecology and Evolution* 9 (8):4739-4748. doi: 10.1002/ece3.5077.
- Jiménez, José, Juan Carlos Nuñez-Arjona, Carmen Rueda, Luis Mariano González, Francisco García-Domínguez, Jaime Muñoz-Igualada et José Vicente López-Bao. 2017. "Estimating carnivore community structures." *Scientific Reports* 7 (1):41036. doi: 10.1038/srep41036.
- Kidawa, Dorota et Rafał Kowalczyk. 2011. "The effects of sex, age, season and habitat on diet of the red fox *Vulpes vulpes* in northeastern Poland." *Acta Theriologica* 56 (3):209-218. doi: 10.1007/s13364-011-0031-3.
- Leckie, F. M., S. J. Thirgood, R. May et S. M. Redpath. 1998. "Variation in the diet of red foxes on Scottish moorland in relation to prey abundance." *Ecography* 21 (6):599-604. doi: 10.1111/j.1600-0587.1998.tb00552.x.
- León-Vizcaíno, L., A. Bernabe, A. Contreras, M.J. Cubero, S. Gómez et R. Astorga. 1990. "Outbreak of tuberculosis caused by *Mycobacterium bovis* in wild boars (*Sus scrofa*)." *Proceedings : 32 Internationalen Symposiums Erkrankungen der Zoound Wildtiere*. Eskilsruna. Akademie-Verlag, Berlin
- Lieury, N. 2015. "Vers une gestion intégrative des populations animales : l'importance d'intégrer l'immigration à la compréhension de leur dynamique et à l'évaluation scientifique des actions de régulation et de conservation." PhD, UFR Sciences - IMBE, Aix-Marseille.
- Lieury, N., N. Drouet-Hoguet, S. Ruet, S. Devillard, M. Albaret et A. Millon. 2017. "Rural populations of the red fox *Vulpes vulpes* show little evidence of reproductive senescence." *Mammalian Biology* 87:146-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.08.008>.
- Lieury, N., S. Ruet, S. Albaret, F. Drouyer, B. Baudoux, J. Letty, C. Urbaniac, S. Devillard et A. Millon. 2016. "Les prélèvements de renards limitent-ils leur densité ? La compensation par immigration, un concept-clé pour comprendre l'impact des prélèvements sur les populations de renards." *Faune Sauvage* (310):10-16.
- Lieury, Nicolas, Sandrine Ruet, Sébastien Devillard, Michel Albaret, Franck Drouyer, Bruno Baudoux et Alexandre Millon. 2015. "Compensatory immigration challenges predator control: An experimental evidence-based approach improves management." *The Journal of Wildlife Management* 79 (3):425-434. doi: 10.1002/jwmg.850.
- Lindström, Erik R., Henrik Andrén, Per Angelstam, Goran Cederlund, Birger Hörnfeldt, Lars Jäderberg, Per-Arne Lemnell, Berit Martinsson, Kent Sköld et John E. Swenson. 1994. "Disease Reveals the Predator: Sarcoptic Mange, Red Fox Predation, and Prey Populations." *Ecology* 75 (4):1042-1049. doi: 10.2307/1939428.
- Little, T. W., C. Swan, H. V. Thompson et J. W. Wilesmith. 1982. "Bovine tuberculosis in domestic and wild mammals in an area of Dorset. III. The prevalence of tuberculosis in mammals other than badgers and cattle." *J Hyg (Lond)* 89 (2):225-34. doi: 10.1017/s0022172400070753.
- Macdonald, D., C. Buesching, P. Stopka, J. Henderson, S. A. Ellwood et S. Baker. 2004. "Encounters between two sympatric carnivores: Red foxes (*Vulpes vulpes*) and European badgers (*Meles meles*)." *Journal of Zoology* 263:385-392. doi: 10.1017/S0952836904005400.
- Macdonald, DW. 1983. "The ecology of carnivore social behaviour." *Nature* 301 (5899):379-384. doi: 10.1038/301379a0.
- Martín-Atance, P., L. León-Vizcaíno, F. Palomares, E. Revilla, M. González-Candela, J. Calzada, M. J. Cubero-Pablo et M. Delibes. 2006. "Antibodies to *Mycobacterium bovis* in wild carnivores from Doñana National Park (Spain)." *J Wildl Dis* 42 (3):704-8. doi: 10.7589/0090-3558-42.3.704.

- Martín-Atance, P., F. Palomares, M. González-Candela, E. Revilla, M. J. Cubero, J. Calzada et L. León-Vizcaíno. 2005. "Bovine tuberculosis in a free ranging red fox (*Vulpes vulpes*) from Doñana National Park (Spain)." *J Wildl Dis* 41 (2):435-6. doi: 10.7589/0090-3558-41.2.435.
- Matos, A. C., L. Figueira, M. H. Martins, M. L. Pinto, M. Matos et A. C. Coelho. 2016. "New Insights into *Mycobacterium bovis* Prevalence in Wild Mammals in Portugal." *Transbound Emerg Dis* 63 (5):e313-22. doi: 10.1111/tbed.12306.
- Matos, Ana C., Luis Figueira, Maria H. Martins, Manuela Matos, Márcia Morais, Ana P. Dias, Maria L. Pinto et Ana C. Coelho. 2014. "Disseminated *Mycobacterium bovis* infection in red foxes (*Vulpes vulpes*) with cerebral involvement found in Portugal." *Vector borne and zoonotic diseases (Larchmont, N. Y.)* 14 (7):531-533. doi: 10.1089/vbz.2013.1500.
- McLeod, S. R. et G. R. Saunders. 2001. "Improving management strategies for the red fox by using projection matrix analysis." *Wildlife Research* 28 (4):333-340. doi: <https://doi.org/10.1071/WR00104>.
- Meia, JS. et JM. Weber. 2011. "Home ranges and movements of red foxes in central Europe: Stability despite environmental changes." *Canadian Journal of Zoology* 73:1960-1966. doi: 10.1139/z95-230.
- Michelet, L., A. Courcou, B. Durand et ML. Boschioli. 2019. "Reconstitution Des Scénarios De Transmission De *Mycobacterium Bovis* Entre Animaux Domestiques Et Sauvages." *Epidémiologie et santé animale* (74 ):81-90.
- Michelet, L., K. De Cruz, S. Hénault, J. Tambosco, C. Richomme, É Réveillaud, H. Gares, J. L. Moyen et M. L. Boschioli. 2018. "*Mycobacterium bovis* Infection of Red Fox, France." *Emerg Infect Dis* 24 (6):1150-1153. doi: 10.3201/eid2406.180094.
- Michigan Department of Agriculture. 2005 Bovine Tuberculosis: Michigan's Eradication Project. Activities Report and Scientific Conference Proceedings. Page 6 : Summary of Michigan wildlife bovine tuberculosis surveillance.
- Millán, Javier, María Angeles Jiménez, María Viota, Mónica G. Candela, Laura Peña et Luis León-Vizcaíno. 2008. "Disseminated bovine tuberculosis in a wild red fox (*Vulpes vulpes*) in southern Spain." *J Wildl Dis* 44 (3):701-706. doi: 10.7589/0090-3558-44.3.701.
- Modenesi, G., . . 2019. L'épidémiologie moléculaire de la tuberculose bovine – Rôle de la faune sauvage et de bovins dans la transmission en Dordogne et Haute-Vienne. MASTER 2eme ANNEE Santé publique Paris Sud-Saclay et Santé UPEC Dominante Surveillance épidémiologique des maladies humaines et animales. <http://aeema.vet-alfort.fr/index.php/repository/Enseignements/M%C3%A9moire-de-Master/2019-MODENESIG-Epidemiologie-Moleculaire-Tuberculose/>.
- Mollentze, Nardus, Louis H. Nel, Sunny Townsend, Kevin le Roux, Katie Hampson, Daniel T. Haydon et Samuel Soubeyrand. 2014. "A Bayesian approach for inferring the dynamics of partially observed endemic infectious diseases from space-time-genetic data." *Proceedings. Biological sciences* 281 (1782):20133251-20133251. doi: 10.1098/rspb.2013.3251.
- Morales-Reyes, Z., JA. Sánchez-Zapata, E. Sebastián-González, F. Botella, M. Carrete et M. Moleón. 2017. "Scavenging efficiency and red fox abundance in Mediterranean mountains with and without vultures." *Acta Oecologica* 79:81-88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.12.012>.
- Nouvellet, P., C. A. Donnelly, M. De Nardi, C. J. Rhodes, P. De Benedictis, C. Citterio, F. Obber, M. Lorenzetto, M. D. Pozza, S. Cauchemez et G. Cattoli. 2013. "Rabies and canine distemper virus epidemics in the red fox population of northern Italy (2006-2010)." *PLoS One* 8 (4):e61588. doi: 10.1371/journal.pone.0061588.
- Pandolfi, Massimo, Paolo Forconi et Luca Montecchiari. 1997. "Spatial behaviour of the red fox (*Vulpes vulpes*) in a rural area of central Italy." *Italian Journal of Zoology* 64 (4):351-358. doi: 10.1080/11250009709356222.
- Panek, Marek et Wojciech Bresiński. 2002. "Red fox *Vulpes vulpes* density and habitat use in a rural area of western Poland in the end of 1990s, compared with the turn of 1970s." *Acta Theriologica* 47 (4):433-442. doi: 10.1007/BF03192468.
- Parrott, D., A. Prickett, S. Pietravalle, T. Etherington et M. Fletcher. 2012. "Estimates of regional population densities of badger *Meles meles*, fox *Vulpes vulpes* and hare *Lepus europaeus* using walked distance sampling." *European Journal of Wildlife Research - EUR J WILDL RES* 58. doi: 10.1007/s10344-011-0536-8.
- Pasanen-Mortensen, Marianne, Bodil Elmhagen, Harto Lindén, Roger Bergström, Märtha Wallgren, Ype van der Velde et Sara A.O. Cousins. 2017. "The changing contribution of top-down and bottom-up limitation of mesopredators during 220 years of land use and climate change." *Journal of Animal Ecology* 86 (3):566-576. doi: 10.1111/1365-2656.12633.
- Pasanen-Mortensen, Marianne, Markku Pyykönen et Bodil Elmhagen. 2013. "Where lynx prevail, foxes will fail – limitation of a mesopredator in Eurasia." *Global Ecology and Biogeography* 22 (7):868-877. doi: 10.1111/geb.12051.



- Payne, A. 2014. "Rôle de la faune sauvage dans le cycle épidémiologique de *M. bovis* et risque de transmission entre faune sauvage et bovins. Etude expérimentale en Côte d'Or." Université de Lyon I.
- Payne, A., S. Chappa, J. Hars, B. Dufour et E. Gilot-Fromont. 2016. "Wildlife visits to farm facilities assessed by camera traps in a bovine tuberculosis-infected area in France." *European Journal of Wildlife Research* 62 (1):33-42. doi: 10.1007/s10344-015-0970-0.
- Payne, A., S. Philipon, J. Hars, B. Dufour et E. Gilot-Fromont. 2017. "Wildlife Interactions on Baited Places and Waterholes in a French Area Infected by Bovine Tuberculosis." *Front Vet Sci* 3:122. doi: 10.3389/fvets.2016.00122.
- Payne, A., S. Ruetten, R. Schmidt, J. Duhayer, M. Colombe, S. Lesellier, C. Richomme et S. Rossi. 2019. "Premiers tests de distribution d'appâts en vue de la vaccination orale du blaireau contre la tuberculose bovine en France. Impact des espèces non cibles." *Épidémiol. et santé anim* (75):143-160.
- Pérez, J., J. Calzada, L. León-Vizcaíno, M. J. Cubero, J. Velarde et E. Mozos. 2001. "Tuberculosis in an Iberian lynx (*Lynx pardina*)." *Vet Rec* 148 (13):414-5. doi: 10.1136/vr.148.13.414.
- Pisano, Simone Roberto Rolando, Fridolin Zimmermann, Luca Rossi, Simon Capt, Ezgi Akdesir, Roland Bürki, Florin Kunz, Francesco Carlo Origgi et Marie-Pierre Ryser-Degiorgis. 2019. "Spatiotemporal spread of sarcoptic mange in the red fox (*Vulpes vulpes*) in Switzerland over more than 60 years: lessons learnt from comparative analysis of multiple surveillance tools." *Parasites & Vectors* 12 (1):521. doi: 10.1186/s13071-019-3762-7.
- Pita, Ricardo, António Mira, Francisco Moreira, Rui Morgado et Pedro Beja. 2009. "Influence of landscape characteristics on carnivore diversity and abundance in Mediterranean farmland." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 132 (1):57-65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.02.008>.
- Porteus, Tom A. et Murdoch K. McAllister. 2018. "Quantifying the rate of replacement by immigration during restricted-area control of red fox in different landscapes." *Wildlife Biology* 2018 (1).
- Porteus, Tom A., Jonathan C. Reynolds et Murdoch K. McAllister. 2019. "Population dynamics of foxes during restricted-area culling in Britain: Advancing understanding through state-space modelling of culling records." *PLoS One* 14 (11):e0225201-e0225201. doi: 10.1371/journal.pone.0225201.
- Potts, J. R., S. Harris et L. Giuggioli. 2013. "Quantifying behavioral changes in territorial animals caused by sudden population declines." *Am Nat* 182 (3):E73-82. doi: 10.1086/671260.
- Pringle, Henrietta, Mark Wilson, John Calladine et Gavin Siriwardena. 2019. "Associations between gamebird releases and generalist predators." *Journal of Applied Ecology* 56 (8):2102-2113. doi: 10.1111/1365-2664.13451.
- Raoul, F., P. Deplazes, D. Rieffel, JC. Lambert et P. Giraudoux. 2010. "Predator dietary response to prey density variation and consequences for cestode transmission." *Oecologia* 164 (1):129-139. doi: 10.1007/s00442-010-1647-8.
- Raoul, F., D. Michelat, M. Ordinaire, Y. Décoté, M. Aubert, P. Delattre, P. Deplazes et P. Giraudoux. 2003. "*Echinococcus multilocularis*: secondary poisoning of fox population during a vole outbreak reduces environmental contamination in a high endemicity area." *International Journal for Parasitology* 33 (9):945-954. doi: [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(03\)00127-9](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(03)00127-9).
- Reid, N., R. A. McDonald et W. I. Montgomery. 2007. "Mammals and agri-environment schemes: hare haven or pest paradise?" *Journal of Applied Ecology* 44 (6):1200-1208. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01336.x>.
- Réveillaud, E. 2011. "Point épidémiologique sur la tuberculose bovine dans la faune sauvage en Dordogne en 2011 - Évaluation du risque lié au Blaireau (*Meles meles*).", École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique – ONIRIS.
- Réveillaud, É., S. Desvaux, M.L. Boschioli, J. Hars, É. Faure, A. Fediaevsky, L. Cavalerie, F. Chevalier, P. Jabert, S. Poliak, I. Tourette, P. Hendriks et C. Richomme. 2018. "Infection of Wildlife by *Mycobacterium bovis* in France Assessment Through a National Surveillance System, Sylvatub." *Front Vet Sci* 5:262-262. doi: 10.3389/fvets.2018.00262.
- Richomme, C., E. Réveillaud, J. L. Moyen, P. Sabatier, K. De Cruz, L. Michelet et M. L. Boschioli. 2020. "*Mycobacterium bovis* Infection in Red Foxes in Four Animal Tuberculosis Endemic Areas in France." *Microorganisms* 8 (7). doi: 10.3390/microorganisms8071070.
- Robertson, A., Mark A. Chambers, Richard J. Delahay, Robbie A. McDonald, Kate L. Palphramand, F. Rogers et Stephen P. Carter. 2015. "Exposure of nontarget wildlife to candidate TB vaccine baits deployed for European badgers." *European Journal of Wildlife Research* 61 (2):263-269. doi: 10.1007/s10344-014-0896-y.
- Robertson, CPJ., PJ. Baker et S. Harris. 2000. "Ranging behaviour of juvenile red foxes and its implications for management." *Acta Theriologica* (45):525-535.

- Robinson, NA. et CA. Marks. 2001. "Genetic structure and dispersal of red foxes (*Vulpes vulpes*) in urban Melbourne." *Australian Journal of Zoology* 49 (6):589-601. doi: <https://doi.org/10.1071/ZO01033>.
- Roetzer, A., R. Diel, Thomas A. Kohl, C. Rückert, U. Nübel, J. Blom, T. Wirth, S. Jaenicke, S. Schuback, S. Rüscher-Gerdes, P. Supply, J. Kalinowski et S. Niemann. 2013. "Whole Genome Sequencing versus Traditional Genotyping for Investigation of a *Mycobacterium tuberculosis* Outbreak: A Longitudinal Molecular Epidemiological Study." *PLOS Medicine* 10 (2):e1001387. doi: 10.1371/journal.pmed.1001387.
- Roos, S., J. Smart, DW. Gibbons et JD. Wilson. 2018. "A review of predation as a limiting factor for bird populations in mesopredator-rich landscapes: a case study of the UK." *Biological Reviews* 93 (4):1915-1937. doi: 10.1111/brv.12426.
- Ruette, S., M. Albaret, P. Stahl et P. Migot. 1999. "Piégeage des espèces classées nuisibles en France. Résultats d'une enquête nationale sur les prélèvements." *Bull. mens. Off. Natl. Chasse* (241):4-11.
- Ruette, S., N. Lieury, M. Albaret, J.-P. Arnauduc et S. Devillard. 2016. "Évolution des populations de renards en France. Analyse des suivis réalisés par comptages nocturnes (2004-2013)." *Faune Sauvage* (306):37-42.
- Ruette, S., P. Stahl et M. Albaret. 2003a. "Applying distance-sampling methods to spotlight counts of red foxes." *Journal of Applied Ecology* 40 (1):32-43. doi: 10.1046/j.1365-2664.2003.00776.x.
- Ruette, S., P. Stahl et M. Albaret. 2003b. "Comparaison entre les comptages nocturnes de renards réalisés à dix ans d'intervalle dans neuf régions françaises." *Faune Sauvage* (258):47-49.
- Sabatier, P. 2018. "Infection à *Mycobacterium bovis* chez les renards roux (*Vulpes vulpes*) dans une zone d'enzootie, la Dordogne." Doctorat Vétérinaire, ONIRIS Nantes.
- Sadler, LM., CC. Webbon, PJ. Baker et S. Harris. 2004. "Methods of monitoring red foxes *Vulpes vulpes* and badgers *Meles meles*: are field signs the answer?" *Mammal Review* 34 (1-2):75-98. doi: 10.1046/j.0305-1838.2003.00029.x.
- Sainsbury, Katherine A., Richard F. Shore, Henry Schofield, Elizabeth Croose, Ruairidh D. Campbell et Robbie A. McDonald. 2019. "Recent history, current status, conservation and management of native mammalian carnivore species in Great Britain." *Mammal Review* 49 (2):171-188. doi: 10.1111/mam.12150.
- Santos, N., M. Correia-Neves, S. Ghebremichael, G. Källenius, S. B. Svenson et V. Almeida. 2009. "Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in wild boar (*Sus scrofa*) from Portugal." *J Wildl Dis* 45 (4):1048-61. doi: 10.7589/0090-3558-45.4.1048.
- Sarmiento, P., J. Cruz, C. Eira et C. Fonseca. 2009. "Evaluation of Camera Trapping for Estimating Red Fox Abundance." *The Journal of Wildlife Management* 73 (7):1207-1212. doi: <https://doi.org/10.2193/2008-288>.
- Seljetun, K. O., E. Eliassen, K. Madslie, H. Viljugrein, V. Vindenes, E. L. Øiestad et L. Moe. 2019. "Prevalence of anticoagulant rodenticides in feces of wild red foxes (*Vulpes vulpes*) in Norway." *J Wildl Dis* 55 (4):834-843.
- Sidorovich, V. E., Anna A. Sidorovich et Inna V. Izotova. 2006. "Variations in the diet and population density of the red fox *Vulpes vulpes* in the mixed woodlands of northern Belarus." *Mammalian Biology* 71 (2):74-89. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2005.12.001>.
- Skuce, R. A., S. W. McDowell, T. R. Mallon, B. Luke, E. L. Breadon, P. L. Lagan, C. M. McCormick, S. H. McBride et J. M. Pollock. 2005. "Discrimination of isolates of *Mycobacterium bovis* in Northern Ireland on the basis of variable numbers of tandem repeats (VNTRs)." *Vet Rec* 157 (17):501-4. doi: 10.1136/vr.157.17.501.
- Sobrinho, Raquel, Pelayo Acevedo, Marco A. Escudero, Javier Marco et Christian Gortázar. 2009. "Carnivore population trends in Spanish agrosystems after the reduction in food availability due to rabbit decline by rabbit haemorrhagic disease and improved waste management." *European Journal of Wildlife Research* 55 (2):161-165. doi: 10.1007/s10344-008-0230-7.
- Soe, Egle, John Davison, Karmen Süld, Harri Valdmann, Leidi Laurimaa et Urmas Saarma. 2017. "Europe-wide biogeographical patterns in the diet of an ecologically and epidemiologically important mesopredator, the red fox *Vulpes vulpes*: a quantitative review." *Mammal Review* 47 (3):198-211. doi: <https://doi.org/10.1111/mam.12092>.
- Sonnenburg, Jana, Marie-Pierre Ryser-Degiorgis, Thijs Kuiken, Ezio Ferroglio, Rainer G. Ulrich, Franz J. Conraths, Christian Gortázar, Christoph Staubach, Pelayo Acevedo, Andreas Agreiter, Anna Bajer, Alex Barlow, Charalambos Billinis, Franck Boue, Andrea Cadamuro, Maria S. Calabrese, Gioia Capelli, Isabel Lopes de Carvalho, Adriano Casulli, Ermanno Cetto, Mario Chiari, Leo J. M. Dekkers, Peter Deplazes, J. Paul Duff, Javier Millán Gasca, Walter Glawischnig, Irina Golovljova, Roland Grunow, Jean Hars, Marja Isomursu, Jens Jacob, Kastriot Korro, Antonio Lavazza, Jane Learmount, Annick Linden, Andrzej Lipowski, Miriam Maas, Ignasi Marco, Roman Meier, Marcos Miñarro Prado, Viacheslav Morozov, Sofia Nuncio, Riccardo Orusa, Thomas Romig, Sophie Rossi, Francisco Ruiz-



- Fons, Gianmaria Somnavilla, Michal Stanko, Adolf Steinrigl, Herbert Tomaso, Jurga Turcinaviciene, Umberto Zamboni et Aphaea project partners. 2017. "Harmonizing methods for wildlife abundance estimation and pathogen detection in Europe—a questionnaire survey on three selected host-pathogen combinations." *BMC Veterinary Research* 13 (1):53. doi: 10.1186/s12917-016-0935-x.
- Soulsbury, CD., G. Iossa, PJ. Baker, NC. Cole, SM. Funk et S. Harris. 2007. "The impact of sarcoptic mange *Sarcoptes scabiei* on the British fox *Vulpes vulpes* population." *Mammal Review* 37 (4):278-296. doi: 10.1111/j.1365-2907.2007.00100.x.
- Stahl, P. 1990a. "Suivi de l'abondance d'une population de renards (*Vulpes vulpes*) par comptages nocturnes : évaluation de la méthode." *Gibier Faune Sauvage* (7):293-309.
- Stahl, P. 1990b. "Variabilité et sensibilité d'un indice d'abondance obtenu par comptages nocturnes chez le renard (*Vulpes vulpes*)." *Gibier Faune Sauvage* (7):311-323.
- Stahl, P. et S. Ruetten. 2000. "Enquête nationale sur les tableaux de chasse à tir - Saison 1998-1999 - Le renard, les mustélidés et les corvidés." *Faune Sauvage (cahiers techniques)* (251):184-193.
- Takumi, K., H. Sprong et T. R. Hofmeester. 2019. "Impact of vertebrate communities on *Ixodes ricinus*-borne disease risk in forest areas." *Parasit Vectors* 12 (1):434. doi: 10.1186/s13071-019-3700-8.
- Tessaro, S. V. 1988. "A descriptive and epizootiologic study of brucellosis and tuberculosis in bison in northern Canada." Ph. D., Saskatchewan.
- Tolhurst, B. A., A. I. Ward et R. J. Delahay. 2011. "A study of fox (*Vulpes vulpes*) visits to farm buildings in Southwest England and the implications for disease management." *European Journal of Wildlife Research* 57 (6):1227-1230. doi: 10.1007/s10344-011-0523-0.
- Tolhurst, Bryony A., Richard J. Delahay, Neil J. Walker, Alastair I. Ward et Timothy J. Roper. 2009. "Behaviour of badgers (*Meles meles*) in farm buildings: Opportunities for the transmission of *Mycobacterium bovis* to cattle?" *Applied Animal Behaviour Science* 117 (1):103-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.10.009>.
- Trewby, Iain D., Gavin J. Wilson, Richard J. Delahay, Neil Walker, Richard Young, John Davison, Chris Cheeseman, Pete A. Robertson, Martyn L. Gorman et Robbie A. McDonald. 2008. "Experimental evidence of competitive release in sympatric carnivores." *Biology Letters* 4 (2):170-172. doi: 10.1098/rsbl.2007.0516.
- Turankar, R. P., M. Lavania, V. S. Chaitanya, U. Sengupta, J. Darlong, F. Darlong, K. S. R. Siva Sai et R. S. Jadhav. 2014. "Single nucleotide polymorphism-based molecular typing of *M. leprae* from multicausal families of leprosy patients and their surroundings to understand the transmission of leprosy." *Clinical Microbiology and Infection* 20 (3):O142-O149. doi: <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12365>.
- Vieira-Pinto, M., J. Alberto, J. Aranha, J. Serejo, A. Canto, Mónica V. Cunha et A. Botelho. 2011. "Combined evaluation of bovine tuberculosis in wild boar (*Sus scrofa*) and red deer (*Cervus elaphus*) from Central-East Portugal." *European Journal of Wildlife Research* 57 (6):1189-1201. doi: 10.1007/s10344-011-0532-z.
- Villar, N., X. Lambin, D. Evans, R. Pakeman et S. Redpath. 2013. "Experimental evidence that livestock grazing intensity affects the activity of a generalist predator." *Acta Oecologica* 49:12-16. doi: 10.1016/j.actao.2013.02.006.
- Vos, A. 1995. "Population dynamics of the red fox (*Vulpes vulpes*) after the disappearance of rabies in county Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1987—1992. In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 93-97). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board."
- Walton, Z., G. Samelius, M. Odden et T. Willebrand. 2018. "Long-distance dispersal in red foxes *Vulpes vulpes* revealed by GPS tracking." *European Journal of Wildlife Research* 64:1-6.
- Webbon, CC., PJ. Baker et S. Harris. 2004. "Faecal density counts for monitoring changes in red fox numbers in rural Britain." *Journal of Applied Ecology* 41 (4):768-779. doi: 10.1111/j.0021-8901.2004.00930.x.
- Weber, J.-M. 1996. "Food selection by adult red foxes *Vulpes vulpes* during a water vole decline." *Wildlife Biology* 2 (3):283-288, 6.
- Weber, J. -M. et S. Aubry. 1993. "Predation by foxes, *Vulpes vulpes*, on the fossorial form of the water vole, *Arvicola terrestris scherman*, in western Switzerland." *Journal of Zoology* 229 (4):553-559. doi: 10.1111/j.1469-7998.1993.tb02656.x.
- Wobeser, G. 2009. "Bovine tuberculosis in Canadian wildlife: an updated history." *The Canadian veterinary journal = La revue vétérinaire canadienne* 50 (11):1169-1176.
- Zanella, G., B. Durand, Jean Hars, F. Moutou, B. Garin-Bastuji, A. Duvauchelle, M. Fermé, C. Karoui et M.L. Boschioli. 2008. "*Mycobacterium bovis* in wildlife in France." *J Wildl Dis* 44:99-108. doi: 10.7589/0090-3558-44.1.99.
- Zanella, G., A. Duvauchelle, J. Hars, F. Moutou, M. L. Boschioli et Durand B. 2008. "Patterns of lesions of bovine tuberculosis in wild red deer and wild boar." *Veterinary Record* 163 (2):43. doi: 10.1136/vr.163.2.43.

Zhang, J., E. Abadia, G. Refregier, S. Tafaj, M. L. Boschioli, B. Guillard, A. Andremont, R. Ruimy et C. Sola. 2010. "Mycobacterium tuberculosis complex CRISPR genotyping: improving efficiency, throughput and discriminative power of 'spoligotyping' with new spacers and a microbead-based hybridization assay." *J Med Microbiol* 59 (Pt 3):285-294. doi: 10.1099/jmm.0.016949-0.

## 8.2 Normes


NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

---

# ANNEXES

---

## Annexe 1 : Lettre de saisine

COURRIER ARRIVE	SDSPA 2018-406-3
31 JUIL. 2018	
DIRECTION GENERALE	2018 -SA- 0 179
	26 JUIL. 2018
MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION	
<b>Direction générale de l'alimentation</b> <b>Service de l'action sanitaire en production primaire</b> <b>Sous-direction de la santé et protection animales</b> <b>Bureau de la santé animale</b>	Le Directeur Général de l'Alimentation
Suivi par : Lisa CAVALERIE – Pierre JABERT Tél : 01 49 55 86 26 mail : <a href="mailto:bsa.sdspa.dgal@agriculture.gouv.fr">bsa.sdspa.dgal@agriculture.gouv.fr</a> Réf. Interne : BSA/1807012	à Monsieur le Directeur Général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
	27-31 avenue du Général Leclerc – B.P. 19 94701 MAISONS-ALFORT CEDEX

**Objet : Demande d'évaluation du rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine**

Conformément aux dispositions de l'Article L.1313-1 du code rural et de la pêche maritime, j'ai l'honneur de solliciter l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail sur le rôle épidémiologique du renard dans la transmission de la tuberculose bovine (TB), et les moyens de contrôle à déployer sur le terrain.

Une étude conduite par l'Anses dans le cadre de l'appel à projet de recherche financé par la DGAL et organisé par le RFSa sur « l'épidémiologie et la pathologie de la tuberculose bovine chez le renard », a montré pour 2017 un taux d'infection de l'ordre de 6% sur un échantillon de 189 renards prélevés en zone infectée de Dordogne (détection par PCR sur des pools de broyats de nœuds lymphatiques, expectoration, fèces et urines). Des cultures sont en cours qui permettront une première évaluation du pouvoir excréteur de ces animaux et leurs résultats sont attendus pour septembre 2018. La deuxième année du projet est en cours et devrait permettre d'identifier précisément l'infection ganglionnaire et le pouvoir excréteur grâce à de nouveaux prélèvements de renards et une analyse plus fine des échantillons.

Compte-tenu des premiers résultats de cette étude, deux études complémentaires ont été suggérées par l'Anses afin, d'une part, de mieux connaître les caractéristiques de l'infection à *Mycobacterium bovis* chez le renard dans une approche d'infection expérimentale et, d'autre part, d'estimer la prévalence de l'infection dans des populations de renards d'autres zones d'enzootie de TB que celles investiguées en Dordogne dans le cadre du projet RFSa 2017-2018. Le financement de ces deux projets par la DGAL est en cours de mise en place. Un ramassage des cadavres de renards (à expérimenter d'abord dans le département 24) est aussi à l'étude.

Un avis de l'Anses est sollicité sur les questions suivantes :

- Quel est le risque de transmission de la TB aux élevages de bovins par des renards compte-tenu des éléments actuellement connus ? Quel est le risque de création d'un réservoir de la maladie dans la faune sauvage en intégrant le rôle joué par cette espèce ?
- Quelles mesures de gestion (contrôle des densités de renard par la chasse, ramassage des cadavres, etc.) seraient susceptibles de faire diminuer ce risque ?

En sus d'une revue bibliographique sur le sujet, nous souhaiterions que votre avis prenne en compte les résultats de l'étude en cours en Dordogne et des investigations complémentaires qui auront pu être menées et dont les résultats seraient disponibles en décembre 2018.

Une réponse à ces questions en fin de premier trimestre 2019 est attendue de façon à pouvoir faire évoluer le système de surveillance SYLVATUB et la stratégie de gestion à l'été 2019.

**Destinataires pour la réponse mail :**

Destinataires DGAL :

- boîte institutionnelle du bureau métier : [bsa.sdspa.dgal@agriculture.gouv.fr](mailto:bsa.sdspa.dgal@agriculture.gouv.fr)
- chargé de mission responsable du dossier : [pierre.jabert@agriculture.gouv.fr](mailto:pierre.jabert@agriculture.gouv.fr)
- boîte institutionnelle : [saisines-anses.dgal@agriculture.gouv.fr](mailto:saisines-anses.dgal@agriculture.gouv.fr)

Le directeur général adjoint de l'alimentation  
Chef du service de la gouvernance  
et de l'international  
CVC  
Loïc EVAÏN

## Annexe 2 : Protocole et résultats de l'étude 1 en Dordogne

### 1 Modalités de mise en place

L'étude 1 a été financée par la DGAL, la DDCSPP24, le dispositif Sylvatub (lui-même principalement financé par l'État) et la FDC24. Elle a été coordonnée par l'Anses, conjointement par le Laboratoire de la Rage et de la Faune Sauvage de Nancy (LRFSN) et le LNR Tuberculose au Laboratoire de Santé Animale de Maisons-Alfort, ainsi que par la DRAAF Nouvelle-Aquitaine. Elle a impliqué différents partenaires : (i) la FDC24 pour la mobilisation des piégeurs et lieutenants de louveterie, la distribution des kits de prélèvement et l'animation locale de l'étude, (ii) le GDS24 pour l'appui à la mobilisation des acteurs et l'animation locale de l'étude, (iii) les piégeurs agréés et l'association des piégeurs agréés de Dordogne pour la réalisation des prélèvements de renards, (iv) les lieutenants de louveterie et l'association des lieutenants de louveterie de Dordogne pour la réalisation de tirs de nuit sur les renards, (v) le LDAR24 pour la prise en charge des renards prélevés, les autopsies, prises d'échantillons et analyses, (vi) la DDT24 pour l'appui à la mise en œuvre de l'étude. L'ONCFS et la FNC ont apporté leur appui au montage du projet.

Les informations détaillées concernant **le matériel et les méthodes** de cette étude sont développées dans la thèse vétérinaire de Sabatier (2018) et dans Richomme *et al.* (2020).

La **zone d'étude** a été centrée sur la commune de Villars, d'où provenaient les 4 renards infectés en 2015 (Michelet *et al.* 2018), et a inclus 24 communes alentours (Figure 13). Cette zone d'environ 525 km<sup>2</sup> est située dans la zone infectée du nord du département (45 foyers bovins y ont été déclarés depuis 2013, données DDCSPP24) et dans la zone à risque Sylvatub du nord de la Dordogne. Dans la zone d'étude, depuis le début de la surveillance Sylvatub en 2011, 27 blaireaux (sur 394 analysés) et 13 sangliers (sur 326) y ont été trouvés infectés dans le cadre de la surveillance programmée ou événementielle (plus deux blaireaux et six sangliers infectés possibles), ainsi et qu'un cerf (sur six) et un chevreuil (sur cinq) ont été trouvés infectés dans le cadre de la surveillance événementielle.

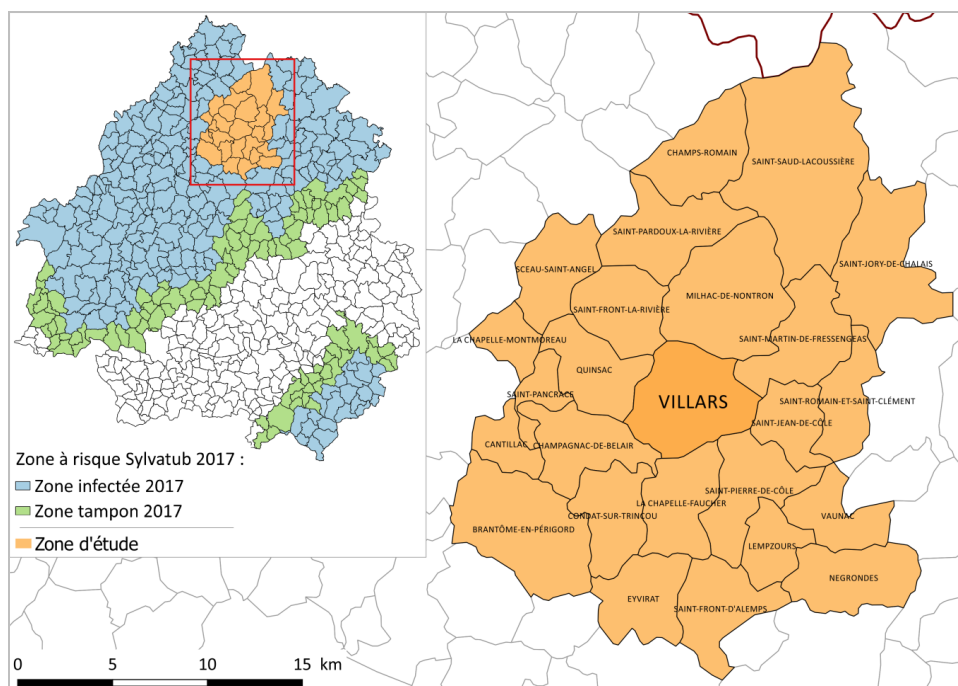


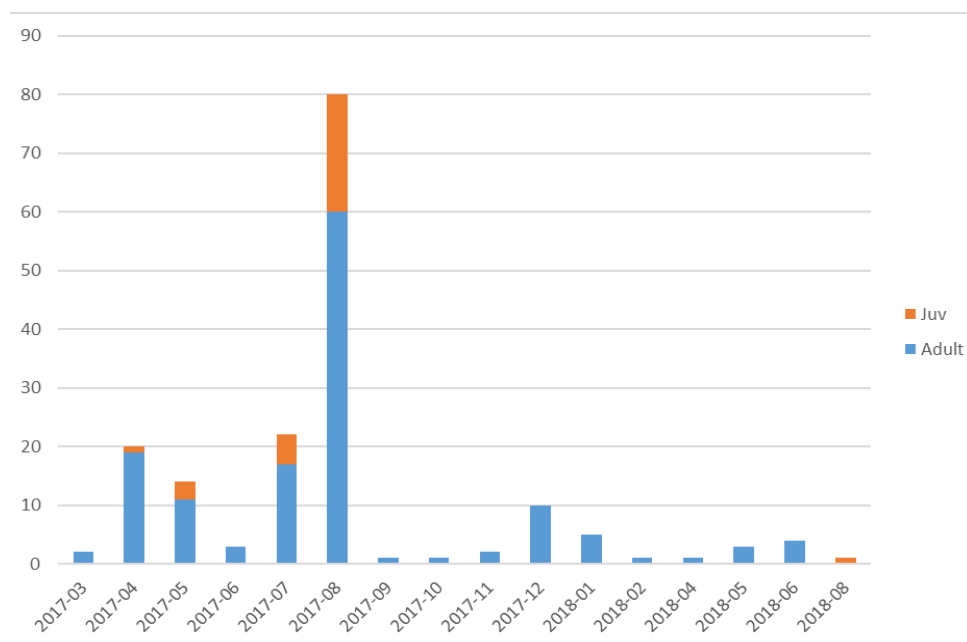
Figure 13 Zone d'étude définie en 2017 en Dordogne lors de la première partie de l'étude pour estimer le taux d'infection chez les renards



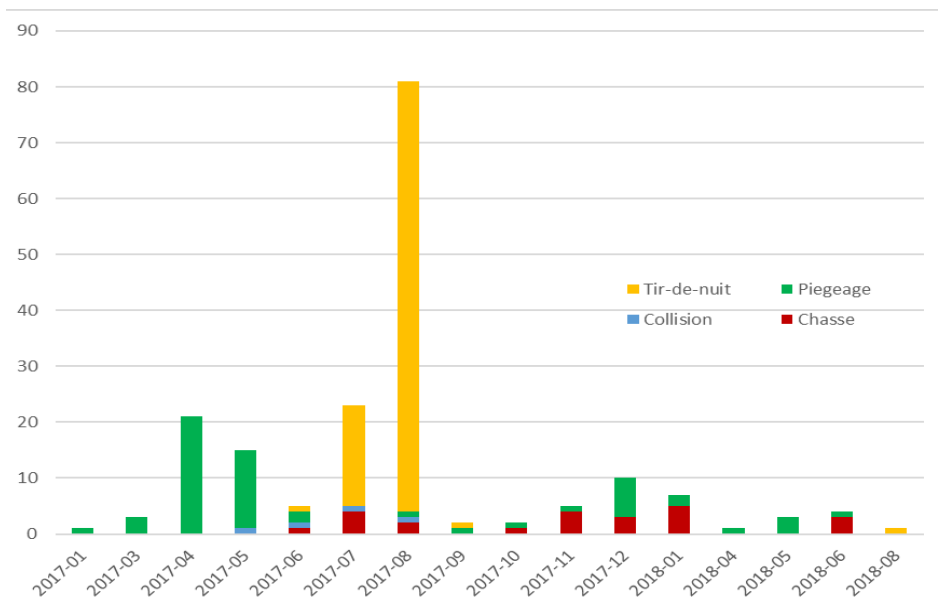
La **stratégie d'échantillonnage** a été double :

- La première partie de l'étude (1a) devait permettre de détecter une prévalence minimale de TB chez les renards de la zone d'étude de 2 % avec un risque d'erreur de 5 %. La méthode de diagnostic utilisée était la PCR. Cette méthode a une sensibilité de 75 % et une spécificité de 100 % lorsqu'elle est mise en œuvre sur un échantillon provenant d'une espèce sauvage (Anses 2019). La taille minimum de l'échantillon attendu était donc de 197 renards, arrondi à 200, et finalement majoré à 250 renards lors de la présentation de l'étude aux acteurs de terrain afin de garantir une meilleure réalisation de l'objectif. Le nombre de renards à obtenir par commune a ensuite été calculé au prorata de la superficie de celle-ci, soit entre cinq et 25 renards par commune. Pour chaque renard, la coordonnée géographique du lieu de capture était renseignée.
- Durant la seconde partie de l'étude (1b), le but était d'obtenir un maximum de renards infectés pour étudier les voies d'excrétion potentielles. Les prélèvements de renards ont donc été mis en place dans les communes où la majorité des renards infectés avaient été retrouvés lors de la première partie de l'étude, au plus près des points de prélèvements de ces renards. Dans ces zones, l'objectif de prélèvement était de 50 renards, dans le but d'obtenir si possible un minimum d'une dizaine d'individus positifs (avec une hypothèse de 20 % de prévalence très localement).

Concernant les **modalités d'obtention des renards**, initialement le piégeage était privilégié pour limiter l'altération des matrices (organes et fluides) ensuite analysées. Le piégeage par collet arrêtoir est une technique qui permet de capturer essentiellement des individus adultes, les jeunes individus se libérant du collet. Mais face à un manque de prélèvements, le tir de nuit a été utilisé pour pouvoir obtenir un plus grand nombre d'individus. Finalement, plus de deux tiers des prélèvements sont issus de tirs (de nuit ou à la chasse) majoritairement réalisés durant l'été (Figure 14), avec 74 % des individus juvéniles prélevés par cette modalité (trois individus juvéniles obtenus par piégeage).



**Figure 14 Répartition temporelle des renards prélevés au cours de l'étude 1a en fonction de l'âge estimé**



**Figure 15 Répartition temporelle des modes de prélèvements obtenus lors de l'étude 1a en Dordogne (pour les 184 renards pour lesquels le mode de prélèvement était renseigné)**

- Concernant la **détection de *M. bovis***

Pour l'étude 1a, pour chaque individu prélevé, l'extraction de l'ADN, en parallèle avec la bactériologie, a été effectuée sur (1) un pool de NL rétropharyngiens (RP) et respiratoires (médiastinaux et trachéobronchiques), (2) les NL mésentériques séparément, et (3) les organes présentant des lésions. Si l'amplification de l'ADN était positive, *M. bovis* ou toute autre espèce de MTBC était confirmée par une batterie de tests moléculaires, y compris le spoligotypage. Le typage moléculaire a été effectué soit sur des isolats de MTBC, soit directement sur l'ADN de l'échantillon PCR positif. Malheureusement, les cultures de ces échantillons ont été détruites lors de l'incendie du LDAR24 en décembre 2018.

Pour l'étude 1a toujours, chez les individus présentant au moins un résultat positif en PCR dans les NL, les fèces étaient analysées par PCR, puis par culture bactérienne et par une batterie complète d'analyses moléculaires au LNR en cas de PCR positive sur ces fèces.

Pour l'étude 1b, la détection de l'ADN a été effectuée séparément sur NL rétropharyngiens, NL respiratoires et NL mésentériques. Il était initialement prévu d'analyser les excréta (fèces, urine et écouvillon oropharyngé), mais la quasi-totalité de ces excréta a été détruite lors de l'incendie survenu au LDAR24 en décembre 2018.

**Un renard ayant un résultat positif par diagnostic moléculaire était défini comme infecté par *M. bovis*.**

Bien que l'échantillon obtenu lors de cette étude, et les suivantes, ne puisse pas être considéré totalement représentatif (en raison de biais d'échantillonnage, comme le plus souvent dans les études concernant les animaux sauvages), des intervalles de confiance à 95 % autour des prévalences ont été calculés.

## 2 Résultats de l'étude 1a

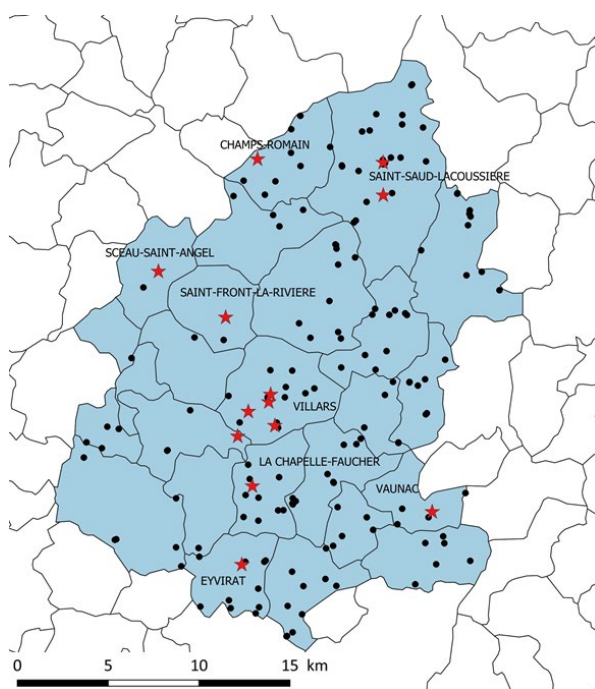
### 2.1 Taux d'infection

A l'issue de cette première partie de l'étude, 13 étaient infectés parmi les 184 prélevés sur les 25 communes de la zone d'étude en Dordogne, indiquant une prévalence apparente dans la zone de 7,1 % (IC 95 % : 3,8 – 11,8 %).

Le génotype des souches de *M. bovis* était le même que les souches identifiées chez les bovins et les autres espèces sauvages de la zone (spoligotype SB0120- MLVA 5 3 5 3 9 4 5 6).

La prévalence apparente chez les adultes (âge estimé par les piégeurs, sur la base de l'observation des dents : adulte ou juvénile – moins d'un an) était de 7,30 % (10/127) et un individu sur les 29 analysés et classés comme juvénile était infecté (individu piégé le 29/04/2017).

En termes de répartition géographique des renards trouvés infectés, cinq des 13 renards infectés par *M. bovis* ont été prélevés au sud de la commune de Villars et deux renards à Saint-Saud-Lacoussière au nord de la zone d'étude (Figure 16). Ces deux communes concentrent la majorité des foyers bovins de TB de ces cinq dernières années. De plus, Villars est la commune concentrant le plus d'animaux sauvages trouvés infectés depuis la mise en place du dispositif Sylvatub (six blaireaux – pour les données de 2014 à 2018 -, un sanglier et un chevreuil).



**Figure 16 Répartition des renards prélevés (rond noir) et infectés par *M. bovis* (étoile rouge) ou non (rond noir) dans la zone d'étude (communes grises) de l'étude Dordogne 1a**

Cinq des 13 renards trouvés infectés en 2017 ont été prélevés sur une pâture ou au niveau d'une clôture de pâtures fréquentées par des bovins d'élevages trouvés infectés en 2016 ou 2017. Par ailleurs, cinq renards ont été prélevés à une distance inférieure ou égale à 300 m d'une pâture fréquentée par des bovins d'élevages trouvés infectés entre 2016 et 2019, les trois autres à environ un kilomètre de distance (maximum = 1064 m). On observe de plus que 46 % des renards infectés (6/13) ont été capturés à moins de 500 m du centre d'une parcelle pâturée par des bovins d'un élevage foyer entre 2015 et 2019, alors que seulement 19 % des renards négatifs (35/183) étaient dans ce rayon de 500 m, indiquant que les renards infectés tendent à avoir été capturés plus souvent près de parcelle d'élevage foyer que les renards non-infectés (test exact de Fisher,  $p = 0,0318$ ).

Une analyse plus complète de la relation entre la positivité à *M. bovis* chez un renard et la distance entre son lieu de capture et le centre de la parcelle la plus proche pâturée par des bovins d'un élevage foyer a été réalisée. L'hypothèse testée (dite hypothèse nulle) est que le statut « infecté » des renards n'est pas associé à la distance entre le renard et cette parcelle. Dans un premier temps, la valeur médiane de cette distance est calculée pour les renards positifs du jeu de données observées. Puis, en conservant le même nombre de positifs et de négatifs, le statut des renards est réattribué de façon aléatoire, de façon à obtenir un nouvel échantillonnage de la distance sous l'hypothèse nulle. Cette procédure est répétée 1000 fois, en calculant pour chaque simulation, la valeur médiane de la distance pour les positifs. Enfin, la distribution de ces valeurs médianes permet de calculer la p-value du test ( $p$ ) d'hypothèse nulle comme étant la proportion

d'échantillons simulés sous l'hypothèse nulle pour lesquels la valeur médiane de la distance est inférieure à la valeur observée. La matrice de distances est obtenue en utilisant QGIS 3.2.1 (Bonn) et l'extension NNjoin et les analyses réalisées avec R Studio Version 1.1.456.

La distance médiane entre le site de capture d'un renard infecté et le centre d'une parcelle d'élevage bovin infecté est de 301 m pour le jeu de données observées. Pour l'échantillon simulé, la distance médiane moyenne estimée est de 635 m. Le résultat du test indique toutefois que, l'association spatiale entre renards infectés et parcelles d'élevage foyer n'est pas fortement supportée par les données ( $p = 0,07$ ).

## 2.2 Localisation de l'infection chez les renards trouvés infectés

Aucun des renards infectés ne présentait de lésion évocatrice de tuberculose.

### • Lors de l'étude 1a

Chez les renards trouvés infectés, la présence d'ADN de *M. bovis* a été mise en évidence au niveau des NL mésentériques chez neuf renards et dans les pools de NL rétropharyngiens et respiratoires chez huit renards, dont quatre infectés à la fois dans les deux types de matrices analysées (Tableau 10). Pour l'un de ces quatre renards, les NL rétropharyngiens et respiratoires ont été analysés séparément, et *M. bovis* a été mis en évidence sur les premiers NL mais pas sur les seconds.

Bien que la partie 1a de l'étude en Dordogne ne visait pas prioritairement l'analyse de l'excrétion bacillaire par les animaux infectés, des premières données ont pu être obtenues chez 11 renards par la réalisation et l'analyse des prélèvements suivants : fèces, écouvillon oropharyngé et reins. L'ADN de *M. bovis* a été mis en évidence dans les **fèces de cinq animaux infectés**, dont quatre présentaient des NL mésentériques infectés. Les cultures bactériennes effectuées sur les fèces qui étaient positives à l'analyse moléculaire étaient négatives.

**Tableau 10 Résultats des analyses des NL et des excréta des renards trouvés infectés par *M. bovis* en 2017-2018 lors d'étude 1a en Dordogne**

Identifiant du renard	Année de capture	Analyse moléculaire					Analyse bactériologique (fèces)
		NL més*	Pool NL RP-TB**	Fèces	Reins	Écouvillon trachéal	
RN4	2017	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Non réalisée
RE-24-12	2017	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Non réalisée
RE-24-119	2017	<i>M. bovis</i>	Négatif	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif
RE-24-213	2017	Négatif	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif	Non réalisée
RE-24-237	2017	Négatif	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif
RE-24-238	2017	<i>M. bovis</i>	Négatif	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif
RE-24-239	2017	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif
RE-24-240	2017	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif
RE-24-253	2017	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Non réalisée
RE-24-260	2017	Négatif	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif	Non réalisée
RE-24-320	2017	Négatif	<i>M. bovis</i>	Négatif	Négatif	Négatif	Non réalisée
RE-24-157	2018	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i>				
RE-24-1-24	2018	<i>M. bovis</i>	<i>M. bovis</i> ***				

\* NL més : NL mésentériques

\*\* Pool NL RP-TB : pool des NL rétropharyngiens et respiratoires

\*\*\*Pour cet individu, les NL rétropharyngiens et respiratoires ont été analysés séparément et *M. bovis* a été mis en évidence sur les premiers NL mais pas sur les seconds.

### • Lors de l'étude 1b

Les prélèvements de renards pour cette seconde partie de l'étude 1 ont été effectués une première fois en 2018 (n = 50), et renouvelés en 2019 du fait de la destruction d'une partie des échantillons non encore analysés lors de l'incendie de LDAR24 en décembre 2018.

Au cours des deux années, 55 renards ont été prélevés dans la zone sud de Villars (sur les communes de Villars, Champagnac-de-Belair, Condat-sur-Trincou et La-Chapelle-Faucher) et 52 à Saint-Saud-Lacoussière, au plus près des lieux où des renards infectés avaient été mis en évidence lors de l'étude 1a. Au total, 12 renards ont été trouvés infectés, six individus dans chacune des deux sous-zones mentionnées ci-dessus (Tableau 11), et parmi eux 11 avaient été prélevés en 2018. Six de ces 12 renards étaient infectés au niveau des NL mésentériques, cinq au niveau des NL respiratoires (médiastinaux et trachéobronchiques) et quatre au niveau des NL rétropharyngiens.

Les excréta des 11 renards infectés prélevés en 2018 ayant été détruits lors de l'incendie du laboratoire d'analyse, seuls les fèces et le produit de lavage/raclage vésical de l'individu infecté issu de l'échantillonnage de 2019 ont pu être analysés ; ils étaient négatifs.

**Tableau 11 Caractéristiques individuelles et résultats de culture bactérienne (cellule orange si positive) et de PCR (texte en rouge si positive) en fonction des matrices analysées pour les 12 renards trouvés infectés lors de l'étude 1b en Dordogne**

Identifiant de l'animal	Date de capture	Modalité de capture	Age	Sexe	Nature des matrices analysées en pool*			
					Pool 1	Pool 2	Pool 3	Pool 4
RE-BP-24-13-16	20/05/2018	COLLISION VEHICULE	-	MALE	NL MES	NL MED	NL TB	NL RP
RE-16	24/05/2018	PIEGEAGE	JEUNE	MALE	NL MES	NL MED	NL TB	NL RP
RE-24-18-378-NC-5	28/07/2018	CHASSE (TIR)	ADULTE	FEMELLE	NL MES	NL MED	NL TB	NL RP
RE-24-68	31/07/2018	TIR DE NUIT	JEUNE	NR	NL MES	NL RESP		NL RP
RE-24-114	01/08/2018	TIR DE NUIT	ADULTE	MALE	NL MES	NL RESP		NL RP
RE-24-72	07/08/2018	TIR DE NUIT	JEUNE	FEMELLE	NL MES	NL RESP		NL RP
RE-24-76	07/08/2018	TIR DE NUIT	ADULTE	MALE	ADN NP	ADN NP		ADN NP
RE-24-78	07/08/2018	TIR DE NUIT	JEUNE	MALE	NL MES	NL RESP		NL RP
RE-24-1	08/08/2018	TIR DE NUIT	NR	NR	NL MES	NL RESP		NL RP
RE-24-111	19/08/2018	TIR DE NUIT	ADULTE	FEMELLE	NL MES	NL RESP		NL RP
RE-24-18-SS n°7	10/10/2018	NR	NR	NR	NL MES	NL RESP		NL RP
RENARD CHAMPAGNAC	16/03/2019	NR	NR	NR	NL MES	POOL NL		

\* NL : nœuds lymphatiques ; MES : mésentérique ; TB : trachéobronchique ; MED : médiastinal ; RESP : respiratoires (mélange de médiastinal et trachéobronchique) ; RP : rétropharyngien ; NP : non précisé ; pool NL : NL RP + RESP



## Annexe 3 : Protocole et résultats de l'étude 2 en zone infectée nord Dordogne

Comme l'étude 1, l'étude 2 a été financée par la DGAL, la DDCSPP24, Sylvatub et la FDC24, a été coordonnée par l'Anses (LRFSN et LNR tuberculose) et le SRAL de la DRAAF Nouvelle-Aquitaine et a impliqué les mêmes partenaires (LDAR24, GDS24, DDT24, piégeurs et lieutenants de louveterie).

L'ensemble des communes de la zone d'infection du nord de la Dordogne non comprises dans la zone d'étude 1 ont été concernées par l'étude (198 communes). Dans cette zone, l'objectif numérique d'échantillonnage était de pouvoir analyser 200 renards afin de détecter une prévalence minimale de 2 % avec un risque d'erreur de 5 % (considérant pour la PCR une sensibilité diagnostique de 75 %). Cet échantillon a été réparti de façon globalement homogène sur la zone, soit un objectif d'une dizaine de renards autour de chaque point de collecte Sylvatub (n=20). La collecte de renards tirés à la chasse (hors vènerie sous terre) était coordonnée par la FDC24 avec l'aide de la DDCSPP24. Les cadavres de renards étaient acheminés, sous double emballage, aux points de collecte (congélateurs) puis au LDAR24 pour un examen nécropsique approfondi et les prélèvements des échantillons suivants : NL rétropharyngiens, NL respiratoires, NL mésentériques, urine (ou vessie quand urine absente), fèces, écouvillons oropharyngés et éventuelles lésions organiques évocatrices de tuberculose. Au LDAR24, pour chaque individu, un broyage des échantillons était effectué séparément sur (1) un pool de NL rétropharyngiens et respiratoires, et (2) les NL mésentériques. Ce broyat permettait la constitution d'un aliquot pour réalisation d'une PCR (au LDA) et d'un aliquot pour, en cas de PCR positive, une mise en culture bactérienne (au LDAR24). Pour les individus positifs, les ADN et les souches étaient transmis au LNR pour PCR de confirmation et typage.

A l'issue de l'étude, 142 renards ont été prélevés dans 59 des 198 communes ciblées (Figure 17) et pu être analysés (une quarantaine d'autres renards avaient été prélevés et acheminés au LDAR24 mais ont été détruits lors de l'incendie du LDAR24 en décembre 2018). Quatre renards ont été trouvés infectés par *M. bovis*, indiquant une prévalence de 2,8 % (IC<sub>95%</sub> : 0,1 - 5,8 %).

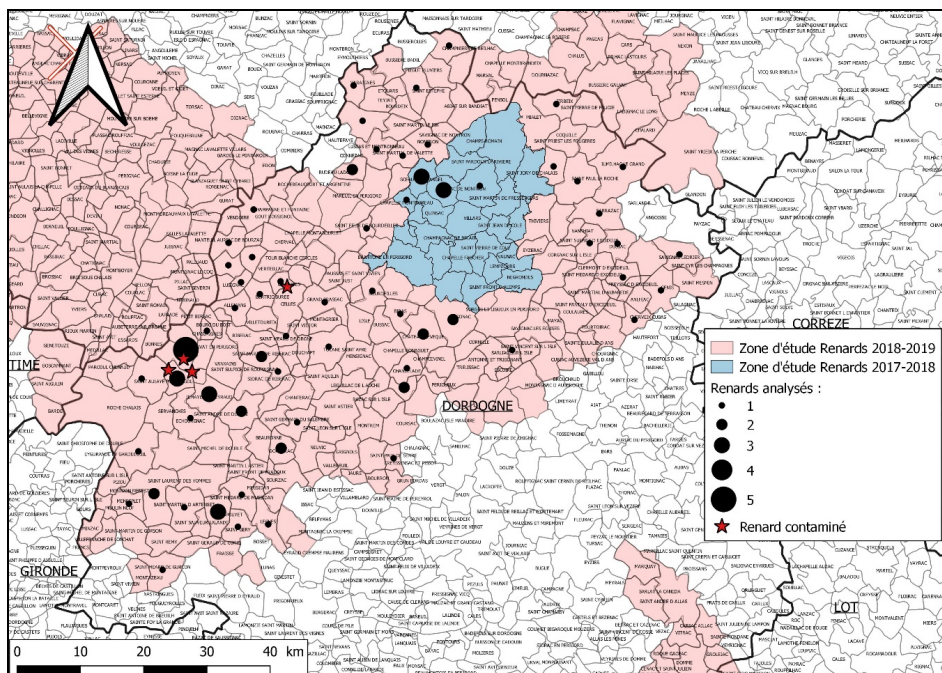


Figure 17 Répartition des renards analysés (positionnés au centres des communes) et trouvés positifs à *Mycobacterium bovis* lors de l'étude 2 en Dordogne en 2018 et 2019



## Annexe 4 : Etude 3 sur la prévalence de *M. bovis* chez les renards en zones infectées de Charente, des Landes et de Côte d'Or

Toujours suite aux résultats de l'étude 1, et en parallèle de l'étude 2, une troisième étude a été mise en œuvre en 2019 pour estimer la prévalence de l'infection chez les renards dans des zones de superficie comparable à la zone d'étude 1 (environ 500 km<sup>2</sup>) mais dans d'autres départements concernés par une infection multihôtes (bovins, blaireaux, sangliers) comparable, au cœur des zones infectées des Landes, de la Charente et de la Côte d'Or. Dans chacune de ces trois zones, un échantillonnage de 150 renards était attendu afin de détecter une prévalence minimale de 3 % avec risque d'erreur de 5 % (considérant une sensibilité diagnostique de 75 % en PCR). Cette étude 3 était aussi financée dans le cadre du RFSA, pilotée par l'Anses et la SRAL de Nouvelle Aquitaine et mise en œuvre grâce aux partenaires locaux sous la coordination des DDecPP des départements concernés.

Le matériel et méthode et les résultats de cette étude sont détaillés dans Richomme *et al.* (2020).

Les collectes d'animaux piégés ou tirés à la chasse (hors vènerie) ou en tir de nuit, autorisé dans un second temps par les DDT quand cela était nécessaire pour compléter les échantillons, étaient coordonnées par les FDC des départements concernés ou par le réseau des lieutenants de louveterie de ces départements. Les cadavres de renards étaient acheminés, sous double emballage, à des points de collecte puis au LDA en charge des autopsies (LDA16, LDA21 et Laboratoire des Pyrénées et des Landes) pour nécropsie détaillée et prélèvements des échantillons suivants : NL rétropharyngiens, NL respiratoires, NL mésentériques et éventuelles lésions organiques évocatrices de tuberculose. Pour chaque renard, au LDA, un broyage était effectué séparément sur (1) un pool de NL rétropharyngiens et respiratoires et (2) les NL mésentériques. Un aliquot de ce broyat permettait la réalisation d'une PCR au LDA, l'aliquot restant permettant une mise en culture bactérienne au LDA en cas de de PCR positive. Pour les prélèvements effectués en Charente, ces analyses étaient réalisées au LDAR24. Pour les individus positifs, les ADN et les souches étaient transmis au LNR pour PCR de confirmation et typage.

**En Côte d'Or**, 146 renards ont été prélevés dans 53 communes initialement ciblées pour l'étude ou limitrophes (Figure 18 et Figure 19) ; aucun n'a été trouvé infecté (Tableau 12). Ces résultats ne permettent pas d'exclure la présence de renards infectés dans la zone étudiée mais, si la TB est présente, le taux d'infection est inférieur à 2,5 % (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %).

**Tableau 12 Résultats de l'étude de l'infection chez les renards en zone infectée de Charente, des Landes et de Côte d'Or (issus de Richomme *et al.* (2020))**

	Renards analysés	Renards infectés	Prévalence (en %)	Intervalle de confiance à 95 %	
Charente	98	9	9,2	4,3	- 16,7
Landes	140	7	5,0	2,0	- 10,0
Côte d'or	146	0	-	0	- 2,5

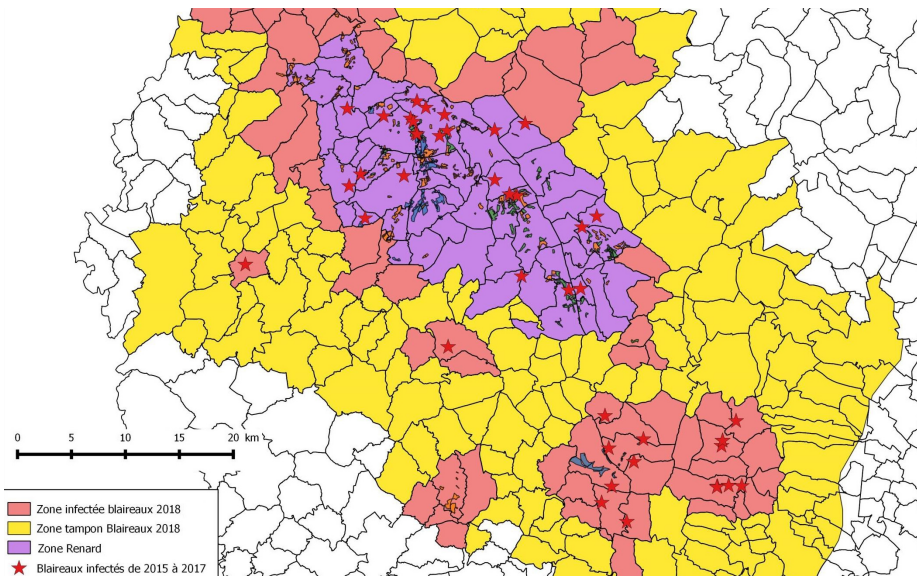


Figure 18 Zone d'étude sélectionnée en Côte d'Or pour l'analyse des renards lors de l'étude 3 (en violet).

La zone d'étude est incluse dans la ZI blaireaux

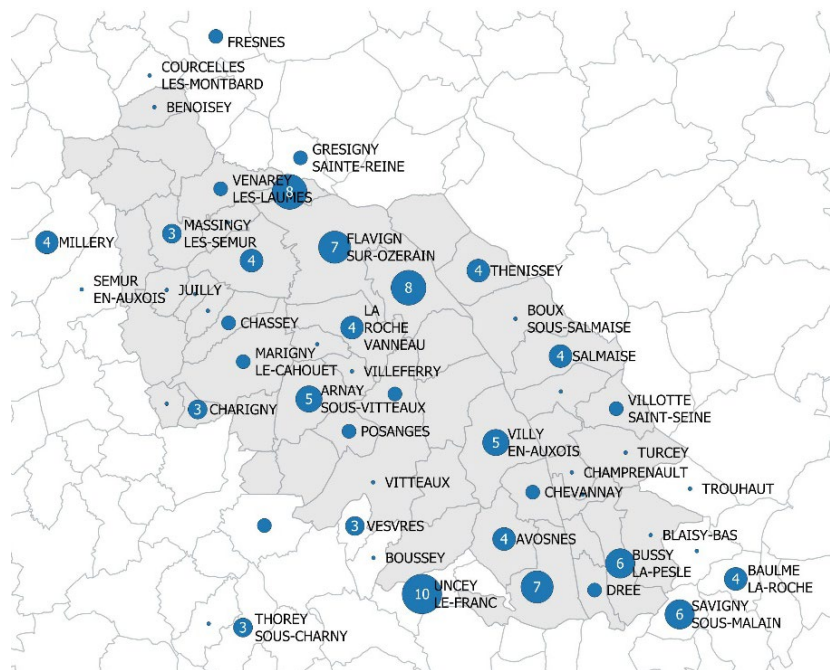
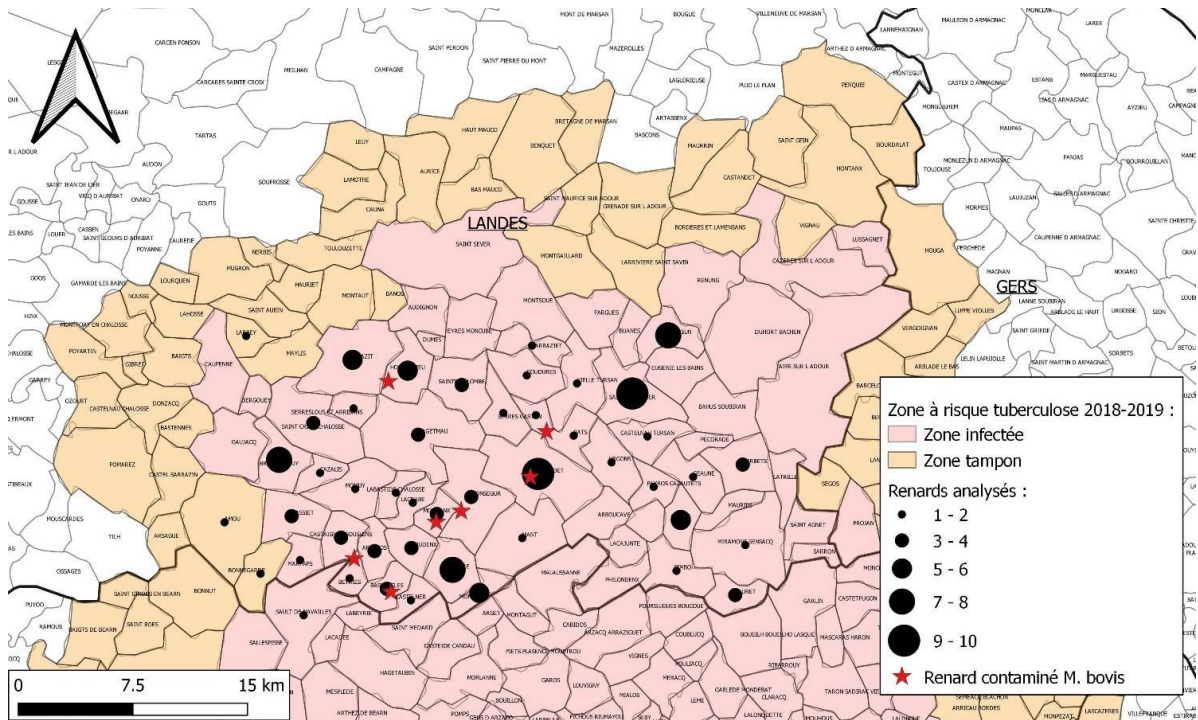


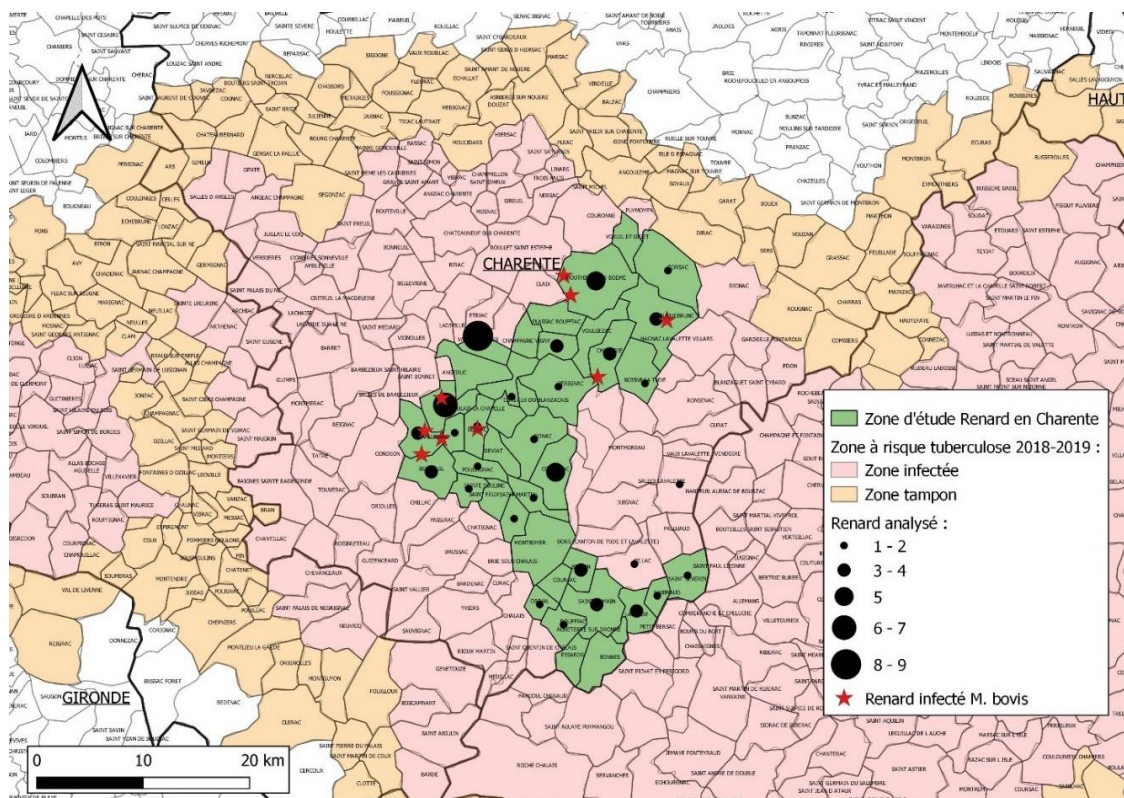
Figure 19 Répartition des renards analysés (n=146) lors de l'étude 3 en 2019 et 2020 en Côte d'Or (en bleu ; rond proportionnel au nombre, indiqué en blanc lorsque supérieur ou égal à 3 et positionné au centre des communes). En gris, communes incluses initialement dans l'étude.

Les résultats obtenus en Charente et dans les Landes sont présentés dans le Tableau 12, sur la Figure 20 et la Figure 21.





**Figure 20** Répartition des renards analysés (rond noirs, n = 140) et positifs à *Mycobacterium bovis* (étoiles rouges, n = 7) (positionnés au centres des communes sur la carte) lors de l'étude 3 en 2018 et 2019 dans les Landes



**Figure 21** Répartition des renards analysés (ronds noirs, n=98) et positifs à *Mycobacterium bovis* (étoiles rouges, n = 9) (positionnés au centres des communes sur la carte) lors de l'étude 3 en 2018 et 2019 en Charente

## Annexe 5 : Etude 5 : étude expérimentale de l'infection par *M. bovis* chez le Renard roux

L'étude a été conduite dans le cadre d'un consortium réunissant l'Anses (LRFSN et LNR Tuberculose du LSA de l'Anses à Maisons-Alfort), APHA (*Animal and plant health agency*) et PHE (*Public Health England*) au Royaume Uni, et Serida (Service régional de recherche et développement agroalimentaire des Asturies) en Espagne. L'étude a été financée par la DGAL dans le cadre de l'appel à projet tuberculose coordonné par le RFSA et par la Commission européenne dans le cadre du programme VetBioNet Transnational Access.

La procédure d'expérimentation a été approuvée par le comité d'éthique français en expérimentation animale n°16 et la saisine approuvée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche français le 10/02/2019 sous le numéro d'enregistrement APAFIS16237-2018072316235926v4.

L'étude a été menée en confinement de niveau 3 à la station expérimentale du LRFSN de l'Anses.

Chacun des douze renards a reçu la même dose d'une souche de *M. bovis* isolée d'un des renards de l'article de Michelet et al 2018 ( $1,5 \cdot 10^7$  CFU) le même jour à la même heure. Cette dose a été administrée par voie orale dans un morceau de viande de bœuf crue : un ml de la suspension fournie par le LNR tuberculose et incubée à 37°C 6 heures avant l'administration par voie orale, a été injecté en 5 points dans chaque cube de viande de 4 à 5 cm de côté. Le morceau de viande a été présenté dans une assiette à chaque renard, hébergé en cage individuelle, et le contrôle de la consommation a été effectué jusqu'à ce que la viande soit avalée.

Durant les 12 semaines suivant l'ingestion, l'état clinique des renards a été noté chaque jour. L'excrétion oropharyngée, fécale et urinaire a été suivie (collecte de matières et écouvillons pour mise en culture et PCR).

Le jour de l'infection puis toutes les quatre semaines (T1 = J0, T2 = J25, T3 = J53, T4 = J84), des échantillons de sang ont été prélevés à la veine jugulaire et un suivi immunologique a été mené à l'aide d'outils d'immunologie cellulaire utilisé chez les blaireaux ou en développement chez les carnivores (test Interféron sur sang total) et d'outils sérologiques commerciaux (ELISA - Idexx) (Figure 22).

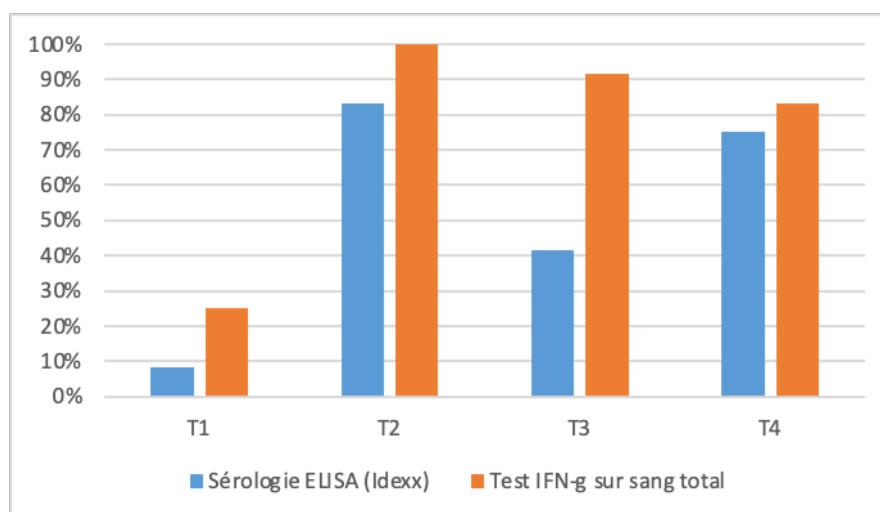


Figure 22 Pourcentage de renards positifs en sérologie (en bleu) et en ELISA IFN- $\gamma$  aux différents moments de l'expérience (T1 = J0, T2 = J25, T3 = J53, T4 = J84)

L'euthanasie des animaux a été réalisée 12 semaines après ingestion (84 jours), selon le protocole habituellement utilisé chez les blaireaux lors d'étude expérimentale d'infection ou de vaccination. Les autopsies ont été réalisées suivant le protocole standard utilisé également lors des expérimentations chez les blaireaux (en Angleterre, en Irlande et en France) (28 prélèvements par animal). Le tableau lésionnel a été quantifié après examen des lésions macroscopiques et la sévérité des lésions histologiques quantifiée. La charge bactérienne dans chacune des prélèvements effectués a été estimée par PCR et par culture bactérienne.

Le titrage de la souche utilisée pour l'infection a donné un résultat similaire à la dose attendue, validant le challenge.

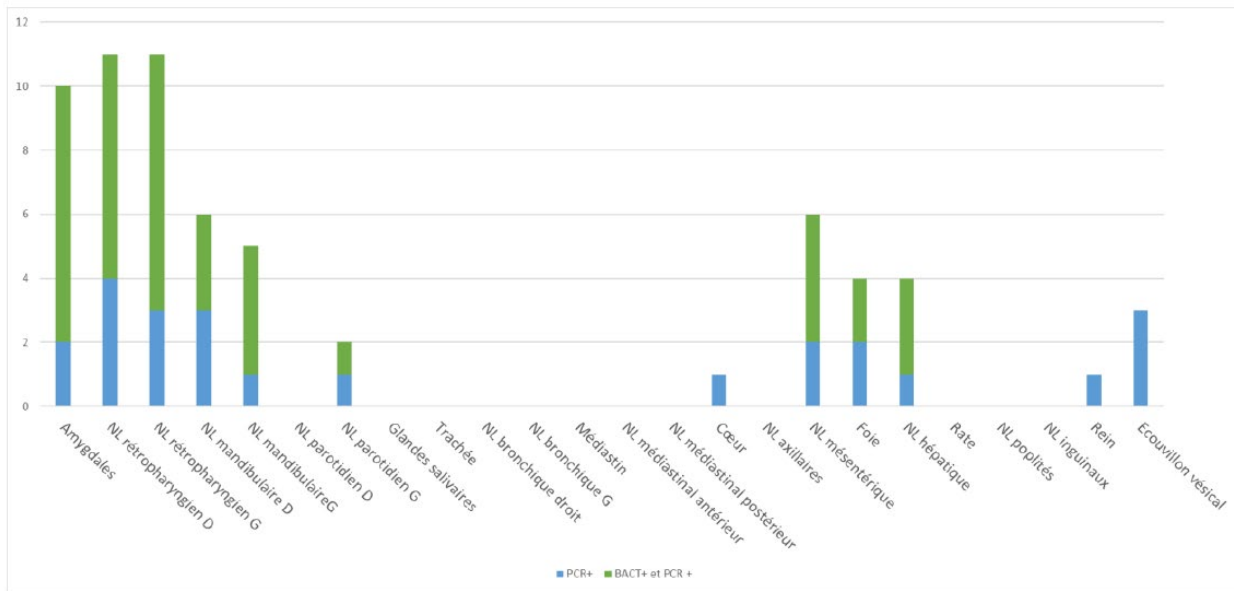


Figure 23 Nombre d'échantillons positifs en PCR (en bleu) et en PCR + culture (en vert) (n = 12)

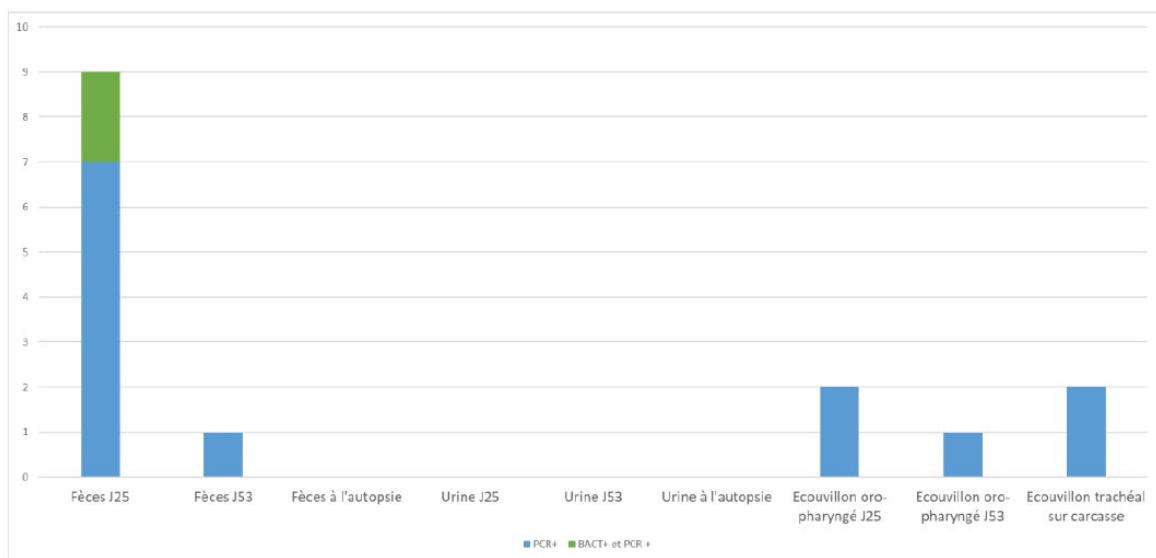


Figure 24 Nombre d'excrétas positifs en PCR (en bleu) (négatif en culture) et en PCR et culture (en vert)

## Annexe 6 : Méthodes d'estimation des comptages de renards

Parmi les méthodes d'estimation de densités, la plus communément utilisée est le relevé de traces et voies dans la neige (Pasanen-Mortensen, Pyykönen et Elmhagen 2013, Roos *et al.* 2018), qui nécessite un couvert neigeux suffisant et est donc réservé aux pays d'Europe de l'est et du nord. Puis vient la méthode des comptages de nuits à l'aide de phares qui permet de calculer un Indice Kilométrique d'Abondance (IKA) (Sobrinho *et al.* 2009, Stahl 1990a, b) ou, associée au Distance sampling (Buckland *et al.* 1993), d'estimer des densités (Heydon et Reynolds 2000, Ruelle, Stahl et Albaret 2003a). Les dénombrements d'indices de présence, terriers et fèces sont également utilisés (Sadlier *et al.* 2004), et associés à l'estimation de la taille des groupes, la proportion de jeunes dans les prélèvements à la chasse (Vos 1995), des données de suivis télémétriques ou des estimations de taux de défécation (Webbon, Baker et Harris 2004) permettent également d'estimer des densités. Panek et Bresiński (2002) ont montré que l'estimation de densités par relevé de traces dans la neige et comptages aux phares donnaient des résultats comparables. Ils ont également comparé ces données à des dénombrements de terriers, et montré qu'un tiers de la population était non reproducteur et donc non comptabilisé lors de dénombrements de terriers. GÜthlin, Storch et Küchenhoff (2014b) ont également montré que les indices d'abondance obtenus par dénombrement de fèces et techniques de piégeage photos étaient comparables.

Avec le développement du piégeage vidéos-photos depuis une dizaine d'années, de nouvelles techniques et outils se sont développés, même si l'identification individuelle reste difficile chez le renard (Güthlin, Storch et Küchenhoff 2014a, Dorning et Harris 2019a). Ainsi, le développement de modèles de captures-recaptures (parfois seulement visuelles) spatialement explicites (Generalized spatial mark-resight, Gen-SMR) permettent d'estimer des densités alors que seulement une fraction de la population est marquée (Jimenez *et al.* 2019, Jiménez *et al.* 2017). Ces études restent lourdes car elles nécessitent la capture physique et le marquage d'une fraction de la population.

La densité est parfois également calculée à partir du taux de passage de différentes espèces sur les pièges photographiques (Hofmeester *et al.* 2017, Takumi, Sprong et Hofmeester 2019).



## Annexe 7 : Rappels de la réglementation sur les autorisations de prélèvements de renards en France

En France, le renard est une espèce gibier (Arrêté Ministériel du 26 juin 1987 modifié et article L. 424-1 du Code de l'Environnement - CE) et peut être chassé à tir, au vol<sup>10</sup>, à courre ou par vénerie sous terre. La chasse à tir du renard (au fusil et à l'arc) est permise de l'un des dimanches de septembre au dernier jour de février selon les modalités fixées par arrêté préfectoral. De plus, toute personne autorisée à chasser le chevreuil ou le sanglier avant l'ouverture générale peut tirer le renard dans les conditions prévues pour la chasse de ces deux ongulés (article R. 424-8 du CE), notamment lors des chasses d'été du brocard. Ainsi, du 1er juin au 14 août, la chasse du renard peut être pratiquée en battue, à l'affût ou à l'approche par les détenteurs d'une autorisation préfectorale individuelle de chasse du chevreuil et/ou du sanglier et dans les conditions fixées par l'arrêté préfectoral. À partir du 15 août, et jusqu'à l'ouverture générale (un des dimanches de septembre), le tir du renard s'effectue en battue, à l'affût ou à l'approche, dans les conditions fixées par l'arrêté préfectoral de chasse du sanglier.

La chasse à courre du renard peut être pratiquée, avec une meute d'au moins 10 chiens courants, du 15 septembre au 31 mars. La vénerie sous terre peut se pratiquer du 15 septembre au 15 janvier. Et la chasse au vol du renard est autorisée de la date de l'ouverture générale au dernier jour de février (article L. 424-4 du CE).

Conformément au décret du 23 mars 2012, le renard peut être classé comme espèce susceptible d'occasionner des dégâts par arrêtés ministériels triennaux pris en application de l'article R. 427-6 du CE. Ce classement doit être justifié par motifs : des nuisances occasionnées aux activités agricoles ou à d'autres formes de propriétés (élevages de gibier), pour assurer la protection de la faune et de la flore. L'importance voire la réalité de ces nuisances fait l'objet de controverses et de polémiques en France. En 2019 et pour trois ans, suite à des consultations départementales et un arbitrage ministériel, le renard est classé comme espèce susceptible d'occasionner des dégâts dans 90 départements français. Il peut alors être détruit par piégeage ou déterrage (avec ou sans chien) toute l'année, et par tir de jour, sur autorisation préfectorale individuelle entre la date de clôture générale et le 31 mars, et au-delà du 31 mars sur des terrains consacrés à l'élevage avicole (y compris les élevages de petits gibiers à plumes), jusqu'à l'ouverture générale. Les destructions par tir, piégeage ou déterrage du renard, effectuées en application de l'arrêté du 30 juin 2015 sont suspendues dans les parcelles où les opérations de lutte préventive chimique contre les surpopulations de campagnols sont mises en œuvre en application de l'arrêté du 14 mai 2014, et ce pendant la durée de ces opérations de lutte préventive.

Enfin, le renard peut également faire l'objet de mesures administratives de régulation à l'initiative des maires ou des préfets en application des articles L. 427-4 à L. 427-6 du CE sous l'autorité des lieutenants de louveterie. Il peut alors faire l'objet de prélèvement à tir, par piégeage, ou déterrage, de jour comme de nuit, toute l'année dans tous les départements français.

---

<sup>10</sup> La chasse au vol consiste à prendre un gibier sauvage dans son milieu naturel avec un oiseau de proie « affaîté » (dressé), avec ou sans l'aide d'un chien.



# anses

**CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER**

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
Tél : 01 42 76 40 40  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr) — @Anses\_fr