

ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DE LA SURVEILLANCE DE L'INFECTION À *M. BOVIS* DANS LA FAUNE SAUVAGE LIBRE EN FRANCE *

Rivière Julie¹, Le Strat Yann², Hendrikx Pascal³ et Dufour Barbara¹



RÉSUMÉ

La tuberculose à *Mycobacterium bovis* est une maladie commune aux animaux de rente et aux animaux sauvages, caractérisée par des impacts sanitaires, économiques et zoonotiques. En 2011, un dispositif de surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage, nommé Sylvatub, a été mis en place, avec comme objectifs de détecter des cas, suivre l'évolution de la tuberculose dans la faune sauvage et d'harmoniser la surveillance à l'échelle nationale. Ce dispositif repose sur plusieurs composantes, événementielles et programmées, appliquées selon une analyse de risque locale. L'efficacité du dispositif Sylvatub a été évaluée de manière quantitative à travers l'estimation de sa sensibilité (probabilité de détecter au moins un cas de tuberculose si la maladie est présente dans la zone à une prévalence donnée), par espèce et niveau de risque du dispositif en utilisant la méthode des arbres de scénarios. Parmi les composantes de surveillance événementielle, la surveillance par examen de carcasse présente une meilleure sensibilité que la surveillance par le réseau Sagir, en raison d'une probabilité d'inclusion et de détection des individus plus élevée. La surveillance programmée présente également une bonne sensibilité collective, car elle dépend de peu de facteurs environnementaux ou humains, mais elle n'est appliquée que dans certains départements. Enfin, les résultats ont montré qu'il semble important de continuer la surveillance sur le sanglier, espèce très réceptive à *M. bovis*.

Mots-clés : tuberculose bovine, *Mycobacterium bovis*, surveillance, faune sauvage, arbre de scénarios, France.

ABSTRACT

Bovine tuberculosis (TB) is a common disease in cattle and wildlife, with animal health, zoonotic and economic impacts. In 2011, the French Ministry of Agriculture launched a national surveillance program for bovine tuberculosis in wildlife, named Sylvatub. The main goals of this surveillance system were to early detect cases in wild animals, to monitor the progress of bovine tuberculosis infection in wildlife and to harmonize the surveillance system within the country. Sylvatub is composed of several surveillance components (active or passive), applied according to local risk analysis. The Sylvatub efficiency has been quantitatively evaluated through the estimation of its sensitivity (probability of detecting at least one TB case if the disease is present at a specified prevalence) using scenario tree modeling, for each species and risk level. For passive components, the surveillance by carcass inspection has a higher collective sensitivity than the surveillance by the Sagir network, on dead or dying animals, because higher probability of inclusion and detection. The active component has also a good collective sensitivity, as it depends on few environmental or human factors, but it is applied in some departments only. Our results also show that it seems relevant to continue the surveillance on wild boars, species particularly receptive to *M. bovis*.

Keywords: Bovine tuberculosis, *Mycobacterium bovis*, Surveillance, Wildlife, Scenario trees, France.



* Reçu le 12 octobre 2016 ; accepté le 31 octobre 2016

¹ École vétérinaire d'Alfort, EpiMAI USC Anses, Université Paris-Est, 94704 Maisons-Alfort, France

² Santé publique France, F-94415, Saint-Maurice, France

³ Anses, Unité de coordination et d'appui à la surveillance, Direction des laboratoires, Maisons-Alfort, France

I - INTRODUCTION

La tuberculose (TB) est une maladie contagieuse d'origine bactérienne, causée principalement par *Mycobacterium bovis* chez les bovins et pouvant affecter diverses espèces domestiques ou sauvages telles que les sangliers (*Sus scrofa*), les cerfs (*Cervus elaphus*), les chevreuils (*Capreolus capreolus*) et les blaireaux (*Meles meles*). Cette maladie présente des enjeux zoonotiques importants, ainsi que des enjeux économiques (restriction de circulation des animaux et produits animaux dès le stade de la suspicion et abattage en cas de confirmation). La France est officiellement indemne de TB depuis 2001 et est caractérisée par une faible prévalence générale à l'échelle du territoire ; les foyers bovins étant principalement localisés dans certains départements (Côte-d'Or, Dordogne, Pyrénées-Atlantiques, Landes et Camargue notamment). Depuis une dizaine d'années, des animaux sauvages infectés ont été détectés à proximité de foyers bovins ; la faune domestique étant *a priori* à l'origine de la contamination des espèces sauvages [Hars *et al.*, 2010 ; Anses, 2011]. Toutefois, le rôle des espèces sauvages dans le cycle épidémiologique de la TB est encore méconnu en France, la constitution d'un réservoir étant particulièrement à craindre car pouvant constituer un obstacle à l'éradication de la TB chez les bovins [Gortazar *et al.*, 2012 ; Hardstaff *et al.*, 2013 ; EFSA, 2013]. Il n'existe actuellement pas de réglementation européenne de la surveillance de la TB et de sa gestion dans les populations sauvages, mais certains pays tels que la France ont mis en œuvre des programmes nationaux de surveillance [Rivière *et al.*, 2014].

Le dispositif Sylvatub, dispositif national de surveillance de la TB dans la faune sauvage en France, a été mis en place fin 2011 par le ministère en charge de l'agriculture [Note de service DGAL/SDSPA N2011-8214]. Il s'intéresse à la surveillance des sangliers, des cerfs, des chevreuils et des blaireaux et a pour objectifs la détection de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage (dans des zones d'infection connues chez les bovins et dans des zones présumées indemnes) ainsi que le suivi du niveau d'infection dans les zones où elle a été détectée, afin d'améliorer les connaissances épidémiologiques du rôle joué par ces espèces sauvages. Le dispositif Sylvatub repose sur plusieurs composantes de surveillance événementielle et programmée, appliquées seules ou de manière combinée selon une analyse de risque locale [Rivière *et al.*, 2012]. Ainsi, trois

niveaux de risque ont été définis, selon la proximité géographique avec des foyers bovins, l'existence de foyers dans la faune sauvage, et la proximité géographique avec des zones considérées à risque selon les critères précédents (le niveau 1 étant le niveau de plus faible risque et le niveau 3 le niveau de plus haut risque vis-à-vis de l'infection par *M. bovis* des espèces sauvages). Les trois composantes de surveillance sont les suivantes :

1. surveillance événementielle reposant sur la détection et la déclaration d'animaux porteurs de lésions évocatrices de TB lors de l'examen de carcasse réalisé au cours de la pratique habituelle de la chasse : cette composante concerne le grand gibier (sanglier, cerf, chevreuil), et est appliquée dans tous les départements (niveaux 1, 2, 3) ;
2. surveillance événementielle reposant sur l'autopsie et l'analyse au laboratoire d'animaux trouvés morts ou mourants dans le cadre du réseau Sagir : cette composante, valable pour toutes les espèces visées par le dispositif, est appliquée dans son fonctionnement classique dans tous les départements, et renforcée (à travers un effort de collecte et une analyse de laboratoire systématique quel que soit le résultat de l'autopsie) dans les départements de niveau 2 ou 3 ;
3. surveillance programmée consistant en des analyses de laboratoire effectuées sur des échantillons prédéfinis d'animaux piégés (blaireaux, dans les départements de niveaux 2 et 3), ou chassés (sangliers et cerfs, dans les départements de niveau 3).

La surveillance de la TB chez les populations sauvages se heurte toutefois à plusieurs contraintes, qu'elles soient inhérentes à la surveillance sanitaire de la faune sauvage [Hars *et al.*, 2013] ou spécifiques au dispositif Sylvatub. La surveillance est ainsi contrainte par des difficultés pratiques (dispersion géographique des populations, manque de connaissances éco-éthologiques sur les populations cibles, suscitant des difficultés pour l'estimation des densités et des interactions potentielles entre populations domestiques et sauvages, difficultés pour observer et collecter les animaux et sélection non-aléatoire des animaux les plus facilement accessibles, induisant des difficultés pour la mise en œuvre

opérationnelle d'un échantillonnage adapté en termes de contraintes structurelles, logistiques, financières, humaines ou matérielles). La surveillance est par ailleurs soumise à des considérations écologiques, économiques et ou sociales (politiques, culturelles), la plupart des acteurs impliqués dans le dispositif Sylvatub étant volontaires et non-professionnels.

La surveillance événementielle est principalement fondée sur des examens *post-mortem*, mais

plusieurs études ont montré que la détection de lésions évocatrices de TB par les acteurs de terrain présentait une faible sensibilité, conduisant ainsi à une sous-estimation de la prévalence de la TB chez les espèces sauvages [O'Brien *et al.*, 2004 ; Vicente *et al.*, 2006 ; Santos *et al.*, 2010].

Ces différents éléments soulignent la nécessité d'évaluer l'efficacité du dispositif Sylvatub, pour chacune de ses composantes de surveillance et des espèces surveillées.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'efficacité du dispositif Sylvatub a été estimée à l'aide d'une méthode de modélisation stochastique par arbres de scénarios, qui permet de quantifier la sensibilité de composantes de surveillance fondées sur des échantillonnages non-aléatoires [Martin *et al.*, 2007]. La sensibilité est définie, en tant qu'attribut de l'efficacité, comme la probabilité de détecter au moins un cas dans une population infectée à une prévalence donnée.

1. GÉNÉRALITÉS SUR LA MÉTHODE DE MODÉLISATION STOCHASTIQUE PAR ARBRE DE SCÉNARIOS

La démarche simplifiée de cette méthode a déjà été présentée dans un précédent numéro de la revue [Rivière *et al.*, 2013]. Elle permet de modéliser des dispositifs de surveillance complexes, ayant plusieurs composantes de surveillance, indépendantes ou non, appliquées de manière hétérogène sur un territoire, et reposant sur une collecte de données non-aléatoire. L'arbre permet de modéliser chaque étape de la surveillance par des nœuds, ayant chacun deux ou plusieurs branches représentant les événements possibles auxquels sont associées des probabilités d'occurrence, estimées à partir de données historiques, de revues de littérature ou d'opinion d'experts. Les nœuds peuvent être de divers types : nœuds de catégorie (âge, sexe...), nœuds de décision (choix d'un test diagnostique par exemple), nœuds aléatoires (résultat du test par exemple). Les arbres de scénarios divisent ainsi la population générale surveillée, au sein de laquelle la prévalence et la probabilité de détection sont hétérogènes, en groupes à l'intérieur desquels on suppose que chaque individu a la même probabilité d'être infecté et détecté. Ainsi, les

différents facteurs influençant la détection peuvent être modélisés, une probabilité étant attribuée à la réalisation de chaque événement. Le résultat final de chaque branche de l'arbre est obtenu par multiplication des probabilités rencontrées le long de la branche.

2. DESCRIPTION DES ARBRES DE SCÉNARIOS

Des arbres de scénarios ont été élaborés et paramétrés pour chacune des trois composantes de surveillance du dispositif (figures 1, 2, 3), chaque espèce et niveau de risque, à l'aide du logiciel DecisionTools® (version 6).

2.1. SOURCES DE DONNÉES

Les paramètres du modèle stochastique ont été estimés à partir des données de surveillance issues du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014. Les données manquantes, en partie liées aux contraintes inhérentes à la surveillance d'espèces sauvages et à la mise en œuvre récente du dispositif, ont été identifiées et complétées par une revue de la littérature et des avis d'experts. Pour cela, nous avons interrogé 16 experts par la méthode Delphi, sélectionnés en raison de leur connaissance des réseaux Sagir et Sylvatub, leur domaine d'expertise et leur implication à différents stades dans le dispositif (acteurs de terrain, experts nationaux). Pour chaque question, il leur était demandé de fournir l'estimation quantitative la plus probable, d'après leurs connaissances, du paramètre en fonction de certains éléments (niveau de risque, formation du chasseur, *etc.*) ; les experts pouvant également répondre sous forme d'un intervalle (valeur minimale ; valeur la plus

probable ; valeur maximale). Les estimations portaient sur la probabilité qu'un animal sauvage présente des lésions évocatrices de TB, la probabilité que de telles lésions puissent être détectées par un chasseur en fonction de son expertise et de sa formation, la probabilité qu'un animal mort ou mourant soit détecté par un acteur de terrain et la probabilité qu'un tel animal soit collecté pour la réalisation d'une autopsie. Une importante hétérogénéité des réponses ayant été observée pour certains paramètres après une première analyse des résultats, un second tour a été effectué dans le but d'obtenir une convergence des opinions. Afin de prendre en compte la compétence variable des acteurs pour chaque thématique du questionnaire, les réponses des experts ont été pondérées selon leur fonction, le niveau de risque de leur département d'exercice et

le thème de la question. Des lois de distribution ont ensuite été utilisées pour modéliser la variabilité et l'incertitude des paramètres estimés par cette méthode.

2.2. COUVERTURE DU MODÈLE

Les arbres de scénarios ont été modélisés par composante, niveau de risque et espèce, avec l'âge en tant que nœud de catégorie. La probabilité pour un individu d'appartenir à une classe d'âge donnée (jeune/adulte) a été estimée par une revue de la littérature et modélisée par des distributions de type Pert ; les subadultes ayant été regroupés avec les adultes pour les sangliers et avec les jeunes pour les cerfs, en accord avec les opinions d'experts (tableau 1).

Tableau 1

Distributions de la proportion de jeunes et d'adultes dans la population générale, selon l'espèce

Espèce	Jeunes	Adultes
Sanglier	Pert (0,50 ; 0,55 ; 0,60)	Pert (0,40 ; 0,45 ; 0,50)
Cerf	Pert (0,20 ; 0,24 ; 0,35)	Pert (0,65 ; 0,76 ; 0,80)
Chevreuril	Pert (0,20 ; 0,24 ; 0,35)	Pert (0,65 ; 0,76 ; 0,80)
Blaireau	Pert (0,25 ; 0,40 ; 0,50)	Pert (0,50 ; 0,60 ; 0,75)

2.3. PRÉVALENCE

La sensibilité d'une composante de surveillance appliquée à une population dépend de la prévalence de la maladie dans cette population. La prévalence fixée dans le modèle ne correspond pas forcément à la prévalence réelle de la maladie au moment de l'étude, et est souvent fixée selon les standards internationaux permettant d'accorder le statut « officiellement indemne » à un pays. Elle correspond ainsi davantage à la prévalence la plus faible que le dispositif de surveillance doit être en mesure de détecter, avec une probabilité donnée, appelée « design prevalence », ou « prévalence cible » [Martin *et al.*, 2007]. Cette prévalence cible se distingue de la prévalence limite par le fait qu'elle n'est pas en lien avec la taille de l'échantillon utilisé pour la surveillance ; mais elle conditionne l'estimation de l'efficacité de la surveillance. Il n'existe cependant actuellement aucune règle internationale pour la surveillance de la TB dans la faune sauvage.

D'après la note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129, le dispositif Sylvatub doit toutefois être en mesure de détecter une prévalence cible de 3 % avec un risque d'erreur de 5 % dans les départements de niveau 3. Pour déterminer les prévalences à détecter dans les autres niveaux de risque, un risque relatif a été calculé en fonction de la prévalence de TB en élevage bovin par niveau de risque du dispositif Sylvatub (ces niveaux étant en partie déterminés en fonction de la prévalence en élevage bovin, considérant qu'il existe une bonne corrélation entre les foyers domestiques et sauvages [Richomme *et al.*, 2013]). Une régression de Poisson multivariée a ensuite été appliquée aux données de la base Sylvatub, afin de prédire les probabilités d'infection en fonction de l'espèce et de l'âge, pour chaque niveau de risque. Les probabilités obtenues à partir du modèle de régression ont été ajustées sur les valeurs de prévalence cible attendues. Pour cela, nous avons calculé un coefficient de redressement en divisant

les probabilités d'infection obtenues par le modèle de régression par les prévalences cibles attendues, théoriques, pour chaque niveau de risque, espèce et classe d'âge. Les prédictions du modèle ont

ensuite été multipliées par ce coefficient de redressement pour obtenir les prévalences cibles ajustées utilisées pour paramétrer les arbres de scénarios (tableau 2).

Tableau 2

Prévalences cibles en fonction du niveau de risque, de l'espèce et de la classe d'âge

Espèce	Classe d'âge	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	Jeune	0,06 %	0,79 %	2,26 %
	Adulte	0,08 %	1,14 %	3,26 %
Cerf	Jeune	0,01 %	0,16 %	0,46 %
	Adulte	0,02 %	0,23 %	0,66 %
Chevreuil	Jeune	0,01 %	0,16 %	0,46 %
	Adulte	0,02 %	0,23 %	0,66 %
Blaireau	Jeune	0,07 %	0,93 %	2,67 %
	Adulte	0,10 %	1,35 %	3,85 %

2.4. PROCÉDURE DIAGNOSTIQUE

La sensibilité de la culture et de la réaction en chaîne par polymérase (PCR) dans les populations sauvages ne sont actuellement pas connues avec précision. Elles ont été estimées en France chez les bovins par une méthode d'analyse par classe latente, sur des échantillons provenant d'animaux à lésions et d'élevages suspects [Courcoul *et al.*, 2014]. Toutefois, la sensibilité de l'ensemble de la procédure diagnostique est *a priori* plus faible pour les populations sauvages : en effet, l'état de dégradation des prélèvements et les

polycontaminations éventuelles peuvent diminuer la sensibilité de la culture bactérienne d'environ 35 %, et le fait d'analyser les échantillons de manière groupée (à la différence du diagnostic chez les bovins où les échantillons sont analysés de manière séparée) peut conduire à une diminution d'environ 15 % de la sensibilité de la PCR par effet de dilution [Boschioli, communication personnelle] (tableau 3). La spécificité de la PCR et de la culture sont équivalentes pour les bovins et les populations sauvages (pas de facteur modulateur) [Boschioli, communication personnelle].

Tableau 3

Qualités de la procédure diagnostique réalisée au LDA, prenant en compte les conditions de terrain dans le cadre d'analyses réalisées sur des animaux sauvages

		Bovins [Courcoul <i>et al.</i> , 2014]	Faune sauvage [Opinions d'experts – LNR et LDA]
Culture	Sensibilité	78,1 % [72,9 ; 82,8]	50,8 % [47,4 ; 53,8]
	Spécificité	99,1 % [97,1 ; 100]	99,1 % [97,1 ; 100]
PCR	Sensibilité	87,7 % [82,5 ; 92,3]	74,5 % [70,1 ; 78,5]
	Spécificité	97,0 % [94,3 ; 99,0]	97,0 % [94,3 ; 99,0]

En cas de présence de lésions évocatrices de TB, une culture et une PCR sont effectuées en parallèle au laboratoire départemental d'analyses (LDA). La

sensibilité de la procédure diagnostique appliquée au LDA s'exprime alors par la formule suivante :

$$Se_{LDA} = 1 - (1 - Se_{culture}) \times (1 - Se_{PCR})$$

et la spécificité par

$$Sp_{LDA} = Sp_{culture} \times Sp_{PCR}$$

Si un résultat positif ou douteux est obtenu au LDA, le LNR réalise en série une PCR dont la

$$Se_{procédure\ totale} = Se_{LDA} \times Se_{PCR}, \text{ et } Sp_{procédure\ globale} = 1 - (1 - Sp_{LDA}) \times (1 - Sp_{LNR})$$

sensibilité est estimée à environ 90 % [85 % ; 95 %] et la spécificité à 100 % (PCR intra complexe tuberculosis) [Boschioli, communication personnelle]. La procédure globale (LDA et LNR) peut ainsi être estimée par les formules suivantes :

2.5. PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES DE LA SURVEILLANCE ÉVÉNEMENTIELLE PAR EXAMEN DE CARCASSE

La probabilité de détection de la TB par cette composante dépend de plusieurs étapes : la présence de lésions macroscopiques évocatrices de TB, la détection de ces lésions par le chasseur, la déclaration de la suspicion par le chasseur et les résultats de la procédure diagnostique (figure 1). La probabilité qu'un animal infecté présente des lésions évocatrices de TB dépend de l'espèce et de l'âge de l'individu, et a été estimée par opinion d'experts (tableau 4). La probabilité de détection de ces lésions évocatrices, qui a été estimée par opinion d'experts, dépend de l'espèce (l'expression lésionnelle variant selon les espèces) et de l'expertise du chasseur, qui dépend elle-même à la fois de sa formation à la détection d'anomalies sur une carcasse mais aussi de son expérience, en lien avec le niveau de risque du département (tableau 5).

2.6. PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES DE LA SURVEILLANCE ÉVÉNEMENTIELLE PAR LE RÉSEAU SAGIR

La détection par cette composante d'un animal infecté dépend de la probabilité qu'un animal mort ou moribond soit détecté et collecté par un acteur de terrain, qu'il présente des lésions évocatrices de TB, qu'elles soient détectées à l'autopsie au laboratoire et que les résultats d'analyses soient positifs (figure 2). La probabilité de détection et de collecte d'un animal mort ou mourant dépend de sa taille, et donc de son espèce et de son âge. La probabilité de collecte dépend également du niveau de risque, en fonction du niveau de sensibilisation et de vigilance des acteurs de terrain et de considérations économiques (les analyses sont aux frais des fédérations de chasse dans les départements de niveau 1 mais sont indemnisées dans les départements de niveaux 2 et 3). Ces probabilités ont été estimées à partir d'opinions d'experts (tableau 6).

Figure 1

Arbre de scénarios illustrant la composante de surveillance événementielle par examen de carcasse pour les sangliers, les cerfs et les chevreuils, appliquée dans tous les niveaux de risque

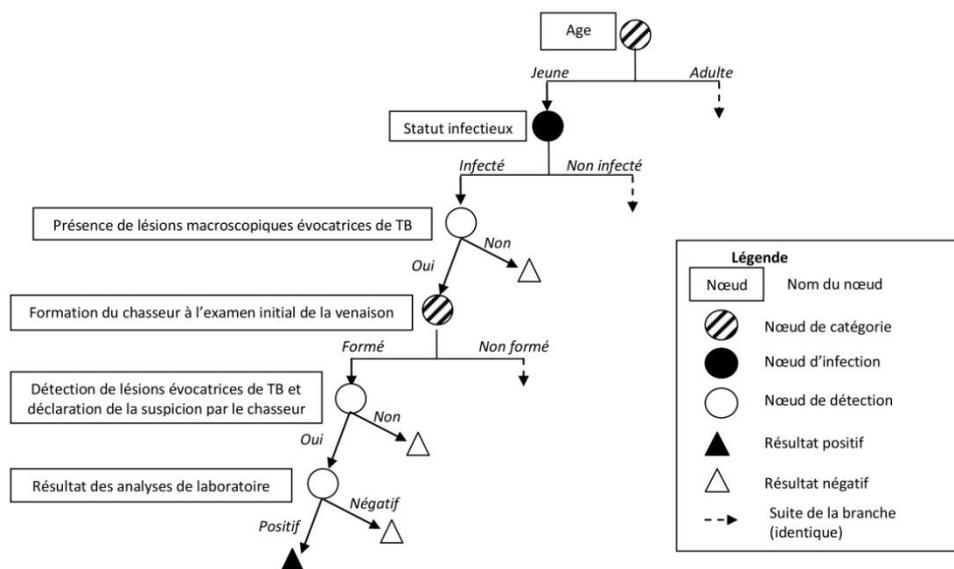


Tableau 4

Distributions de la probabilité qu'un animal infecté présente des lésions macroscopiques évocatrices de TB en fonction de l'espèce et de la classe d'âge

Espèce	Classe d'âge	Probabilité
Sanglier	Jeune	Pert (0,4 ; 0,5 ; 0,9)
	Adulte	Pert (0,5 ; 0,5 ; 0,9)
Cerf	Jeune	Pert (0,6 ; 0,9 ; 1)
	Adulte	Pert (0,6 ; 0,85 ; 1)
Chevreuil	Jeune	Pert (0,5 ; 0,8 ; 0,9)
	Adulte	Pert (0,5 ; 0,8 ; 0,95)
Blaireau	Jeune	Pert (0 ; 0,15 ; 0,3)
	Adulte	Uniforme (0 ; 1)

Tableau 5

Distributions de la probabilité de détection des lésions macroscopiques évocatrices de TB en fonction de l'espèce, de la formation du chasseur et du niveau de risque départemental

Espèce	Formation du chasseur	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	Chasseur formé	Pert (0,05 ; 0,3 ; 0,5)	Pert (0,1 ; 0,4 ; 0,9)	Pert (0,4 ; 0,8 ; 0,95)
	Chasseur non formé	Pert (0 ; 0,1 ; 0,3)	Pert (0 ; 0,25 ; 0,5)	Uniforme (0 ; 1)
Cerf	Chasseur formé	Pert (0,05 ; 0,7 ; 0,85)	Pert (0,4 ; 0,7 ; 0,9)	Pert (0,5 ; 0,9 ; 1)
	Chasseur non formé	Pert (0 ; 0,25 ; 0,5)	Uniforme (0 ; 0,75)	Uniforme (0 ; 0,9)
Chevreuil	Chasseur formé	Pert (0,2 ; 0,6 ; 0,8)	Pert (0,4 ; 0,5 ; 0,9)	Pert (0,6 ; 0,9 ; 1)
	Chasseur non formé	Pert (0 ; 0,25 ; 0,5)	Uniforme (0 ; 0,75)	Pert (0,3 ; 0,5 ; 0,9)

Une fois collectées, les carcasses sont apportées au LDA pour autopsie. Dans les départements de niveau 1, des analyses spécifiques de *M. bovis* ne sont entreprises que si des lésions évocatrices de TB sont détectées par les techniciens de laboratoire. Dans les départements de niveaux 2 et 3, des analyses de recherche de *M. bovis* sont systématiquement réalisées, que des lésions évocatrices de TB soient détectées à l'autopsie ou non. La probabilité qu'un animal sauvage infecté présente des lésions décelables à l'autopsie dépend de l'espèce et de l'âge de l'animal. Cette probabilité a été estimée par une régression logistique multivariée à partir des données de la base Sylvatub, en fonction du statut infectieux vis-à-vis de la tuberculose, de l'espèce et de la classe d'âge (variables explicatives). Les prédictions (moyennes) et les écart-types obtenus ont été

utilisés pour paramétrer le modèle à partir de lois normales (tableau 7).

2.7. PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES DE LA SURVEILLANCE PROGRAMMÉE

La surveillance programmée dépend de moins de facteurs, car un nombre prédéterminé d'animaux doivent être collectés et analysés (15 blaireaux dans les départements de niveau 2 ; 100 sangliers, 100 blaireaux et 60 cerfs dans les départements de niveau 3), même si aucune lésion macroscopique évocatrice de TB n'est détectée. Le principal facteur influençant la sensibilité de cette composante de surveillance est donc la procédure diagnostique (culture en l'absence de lésions, culture et PCR en présence de lésions) (figure 3).

Figure 2

Arbre de scénarios illustrant la composante de surveillance événementielle par le réseau Sagir (animaux trouvés morts, mourants, ou avec un comportement anormal), appliquée à toutes les espèces et dans tous les niveaux de risque

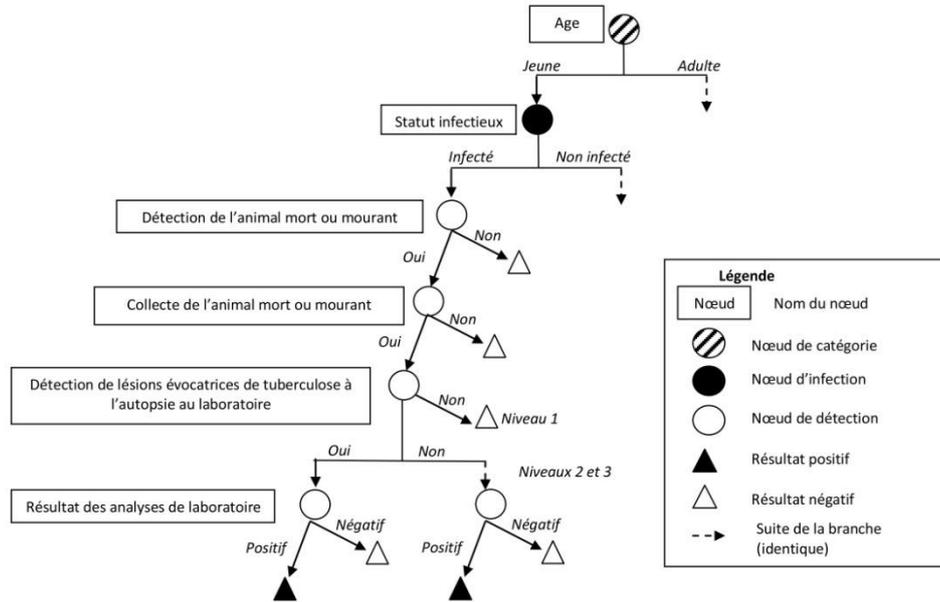


Tableau 6

Distributions de la probabilité de détection et de collecte d'un animal mort ou mourant selon l'espèce, la classe d'âge et le niveau de risque du département

Espèce	Classe d'âge	Détection	Collecte		
			Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	Jeune	Pert (0,05 ; 0,15 ; 0,40)	Pert (0 ; 0,05 ; 0,3)	Pert (0,01 ; 0,2 ; 0,5)	Uniforme (0,1 ; 0,9)
	Adulte		Pert (0 ; 0,03 ; 0,2)	Pert (0,03 ; 0,1 ; 0,4)	Uniforme (0,1 ; 0,8)
Cerf	Jeune	Pert (0,05 ; 0,20 ; 0,60)	Pert (0 ; 0,05 ; 0,3)	Pert (0,01 ; 0,3 ; 0,75)	Pert (0,35 ; 0,5 ; 1)
	Adulte		Pert (0 ; 0,05 ; 0,3)	Uniforme (0,03 ; 0,8)	Pert (0,2 ; 0,5 ; 1)
Chevreuil	Jeune	Pert (0,05 ; 0,15 ; 0,40)	Pert (0 ; 0,05 ; 0,1)	Pert (0,01 ; 0,2 ; 0,3)	Uniforme (0 ; 1)
	Adulte		Pert (0 ; 0,05 ; 0,1)	Uniforme (0 ; 1)	Uniforme (0 ; 1)
Blaireau	Jeune	Pert (0,01 ; 0,20 ; 0,40)	Pert (0 ; 0,02 ; 0,2)	Pert (0 ; 0,05 ; 0,5)	Pert (0,1 ; 0,5 ; 0,7)
	Adulte		Pert (0 ; 0,05 ; 0,2)	Pert (0,1 ; 0,5 ; 0,6)	Pert (0,1 ; 0,5 ; 0,7)

La sensibilité collective d'une composante ($CSe_{coll_espèce}$) (probabilité de détecter au moins un cas parmi n animaux, considérant que la population est infectée à une prévalence définie, la prévalence cible) a été calculée par composante de surveillance, espèce et niveau de risque, en prenant en compte la couverture de population cible de chaque composante (probabilité d'être abattu à la chasse, probabilité d'être mort ou mourant, par espèce et classe d'âge), telle que

$$CSe_{coll_espèce} = 1 - (1 - CSe_i)^n$$

pour chaque espèce. La densité de la population cible générale a été estimée à partir des tableaux de chasse départementaux fournis par l'Office national de la chasse et la faune sauvage (ONCFS) et la Fédération nationale des chasseurs (FNC) pour le grand gibier, pour la saison de chasse 2013-2014. Pour les blaireaux, il est actuellement impossible d'estimer leur densité à l'échelle départementale [Ruetter *et al.*, 2014].

La sensibilité collective a également été calculée par composante de surveillance, quelle que soit l'espèce, en combinant les sensibilités spécifiques d'espèces calculées précédemment en fonction des niveaux de risque départementaux, telle que

$$CSe_{coll} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - CSe_{coll_espècek})$$

(k représentant les espèces étudiées et $CSe_{coll_espèce}$ la sensibilité collective par composante et niveau de risque pour chaque espèce).

Enfin, la sensibilité collective du dispositif (SSe) a été calculée, afin d'estimer la probabilité de détecter au moins un cas de tuberculose par département, quelles que soient les espèces et les composantes de surveillance, en prenant en compte les prévalences cibles fixées par niveau de risque et la combinaison des composantes par niveau.

III - RÉSULTATS

1. SENSIBILITÉ COLLECTIVE PAR COMPOSANTE DE SURVEILLANCE ET ESPÈCE

La figure 4 présente la probabilité de détecter l'infection à *M. bovis* par les composantes de surveillance événementielle (examen de carcasse et réseau Sagir), par département et par espèce, quelle que soit la classe d'âge de l'animal, en fonction de la densité des espèces de grand gibier lors de la saison 2013-2014 (estimées à partir des tableaux de chasse), de la proportion de jeunes et d'adultes dans la population pour chaque espèce, de la proportion de chasseurs formés à l'examen initial de la venaison dans chaque département, et des autres nœuds de détection présentés sur les figures 1 et 2. La sensibilité collective, présentée en pourcentage, correspond à la probabilité de détecter au moins un animal infecté parmi l'ensemble des animaux sauvages dans le département par espèce, en prenant en compte les prévalences cibles fixées pour chaque niveau de risque, espèce et classe d'âge, ainsi que la couverture de la population cible de la surveillance (probabilité qu'un animal soit tué à la chasse ou mort ou mourant, par espèce et classe d'âge).

La sensibilité collective moyenne de la surveillance par le réseau Sagir est globalement inférieure à la sensibilité collective de la surveillance par examen de carcasse, notamment pour les cerfs, en raison de leur taille plus importante qui peut constituer un frein à leur collecte par les acteurs du réseau. Le renforcement du réseau Sagir dans les départements de niveaux 2 et 3, par l'effort de collecte des carcasses et leur analyse systématique au laboratoire, permet toutefois d'augmenter la sensibilité de cette composante.

Le tableau 8 présente la probabilité de détecter l'infection dans les départements de niveaux 2 et 3 par la surveillance programmée, en fonction de l'échantillonnage prescrit par la note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 pour chaque espèce (15 blaireaux en niveau 2 ; 100 sangliers, 100 blaireaux et 60 cerfs en niveau 3). La sensibilité collective est supérieure à 80 % pour les sangliers et les blaireaux dans les départements de niveau 3, mais est d'environ 10 % pour les blaireaux dans les départements de niveau 2 et pour les cerfs dans les départements de niveau 3.

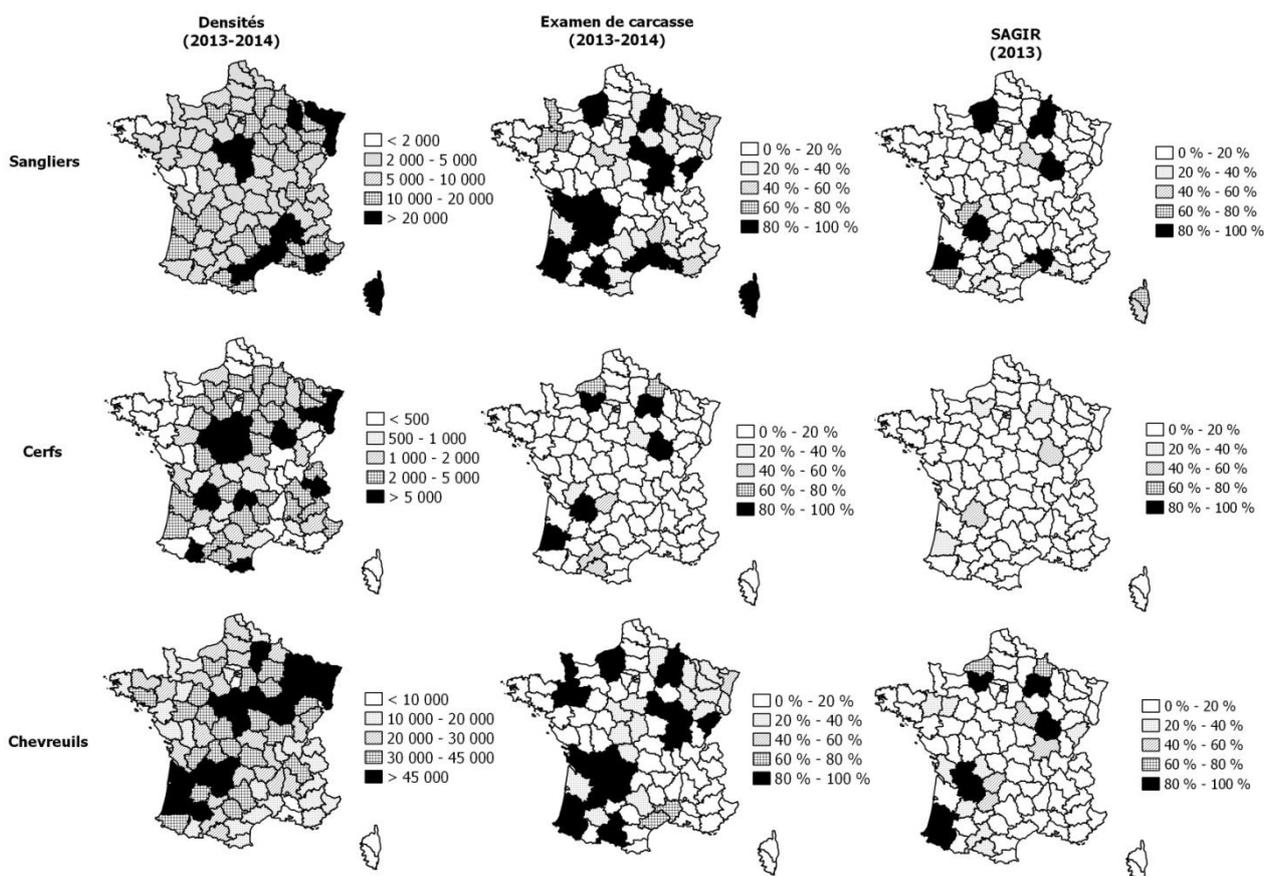
Tableau 8

Sensibilité collective de la surveillance programmée en niveaux 2 et 3
(d'après l'échantillonnage prescrit par la note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129) (moyenne [IC₉₅%])

Espèce	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	-	84,0 % [82,4 % ; 85,4 %]
Cerf	-	11,6 % [10,3 % ; 13,0 %]
Blaireau	10,7 % [10,2 % ; 11,2 %]	88,7 % [87,4 % ; 89,8 %]

Figure 4

Sensibilité collective moyenne des modalités de surveillance événementielle par examen de carcasse et par le réseau Sagir pour la saison cynégétique 2013-2014



2. SENSIBILITÉ COLLECTIVE PAR COMPOSANTE DE SURVEILLANCE, QUELLE QUE SOIT L'ESPÈCE

La figure 5 présente la probabilité de détecter l'infection par département et par composante, quelles que soient l'espèce et la classe d'âge des animaux, en prenant en compte la couverture de population de chaque composante et la prévalence cible fixée dans chaque niveau de risque. L'estimation de la sensibilité collective moyenne de

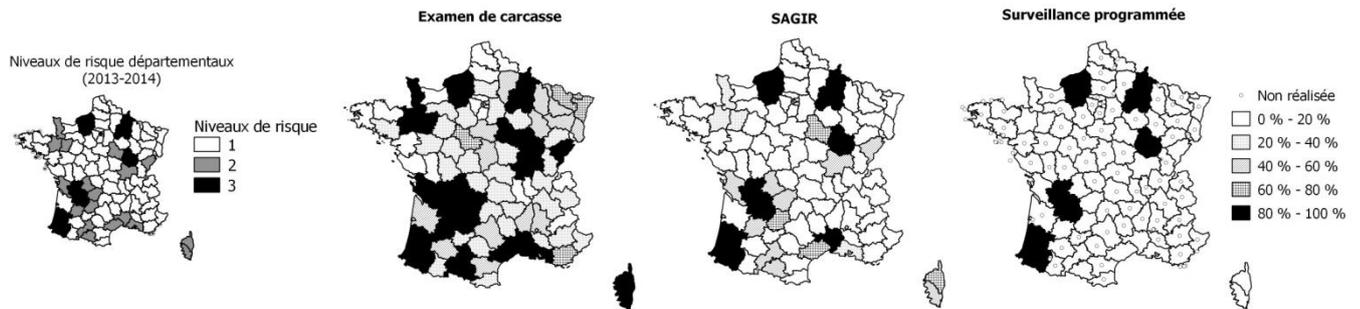
la surveillance par le réseau Sagir ne prend pas en compte la surveillance effectuée sur les blaireaux, car les données de densités départementales n'étaient pas disponibles pour permettre la pondération de la sensibilité moyenne en fonction des proportions relatives de chacune des espèces. La sensibilité collective moyenne de la surveillance par le réseau Sagir est inférieure à 20 % dans tous les départements de niveau 1, tandis que la

surveillance par examen de carcasse présente une sensibilité collective moyenne plus élevée, de l'ordre de 20 à 60 % dans certains départements de faible niveau de risque. La surveillance programmée permet une probabilité moyenne de

détection de l'infection, quelle que soit l'espèce surveillée, de 11 % dans les départements de niveau 2 et de 98 % dans les départements de niveau 3.

Figure 5

Sensibilité collective moyenne par composante de surveillance et par département, quelles que soient l'espèce (hors blaireaux) et la classe d'âge des individus



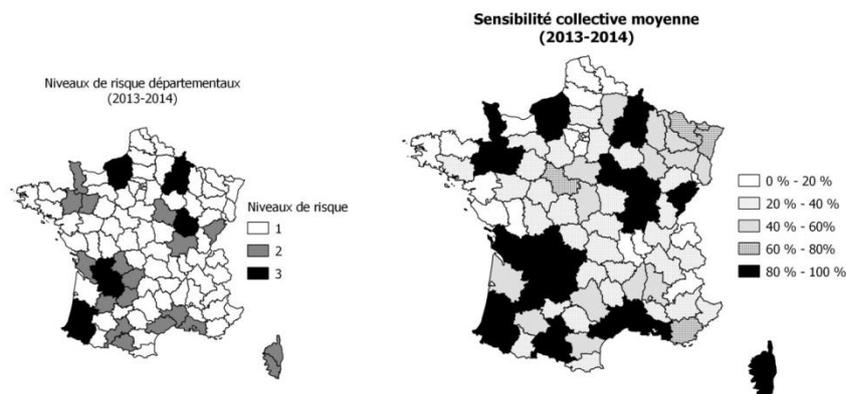
3. SENSIBILITÉ COLLECTIVE GLOBALE DU DISPOSITIF SYLVATUB

La figure 6 présente la sensibilité globale du dispositif Sylvatub, c'est-à-dire la probabilité de détecter l'infection (au moins un animal infecté détecté) par département, quelles que soient l'espèce surveillée, la classe d'âge des animaux et la composante de surveillance (hormis pour les

blaireaux qui n'ont pas pu être intégrés à l'étude). Tous les départements de niveaux 2 et 3 ont en moyenne une probabilité de détection de l'infection très élevée, entre 80 et 100 %. La probabilité de détection de l'infection à *M. bovis* est globalement plus faible dans les départements de niveau 1.

Figure 6

Sensibilité collective moyenne du dispositif Sylvatub (quelles que soient l'espèce - hors blaireaux - et la composante de surveillance)



IV - DISCUSSION

L'évaluation du dispositif de surveillance Sylvatub était particulièrement importante, car l'existence de populations sauvages infectées peut empêcher l'éradication de la TB en élevage bovin, comme cela est le cas dans plusieurs pays [Gortazar *et al.*, 2012 ; EFSA, 2013]. L'amélioration de la connaissance du rôle épidémiologique joué par les différentes espèces sauvages et l'identification des espèces jouant le rôle de réservoir est ainsi nécessaire pour pouvoir éradiquer la TB à l'échelle d'un pays [Naranjo *et al.*, 2008 ; Gortazar *et al.*, 2012 ; Fitzgerald et Kaneene, 2012]. L'obtention des connaissances nécessaires à la gestion des maladies de la faune sauvage nécessite toutefois des mesures de surveillance appropriées [Artois, 2003] qui doivent faire face à des contraintes particulières. Dans la faune sauvage, l'acquisition de connaissances est en effet compliquée par le manque de connaissances éco-éthologiques sur la dynamique des populations et les approches expérimentales sont difficiles. Par ailleurs, la surveillance de la faune sauvage n'est pas seulement soumise à des considérations scientifiques et politiques, mais également écologiques, environnementales et sociales ; la majorité des acteurs de terrain étant des personnes volontaires, non indemnisées pour leur participation souvent assimilée à une activité de loisir et de passion (chasse par exemple).

1. CHOIX DE LA MÉTHODE

Il existe diverses méthodes d'évaluation en santé animale, qu'elles soient qualitatives, semi-quantitatives ou quantitatives. Le choix d'une méthode d'évaluation dépend principalement des objectifs de l'évaluation et des caractéristiques du dispositif étudié [Drummond *et al.*, 1997]. La méthode choisie pour évaluer le dispositif Sylvatub est une méthode quantitative, permettant l'estimation de l'efficacité du dispositif de surveillance par la mesure de sa sensibilité, et repose sur la modélisation stochastique des probabilités de détection de l'infection à *M. bovis*, sous la forme d'arbres de scénarios. En effet, les méthodes classiques d'estimation de la sensibilité sont adaptées à des enquêtes structurées reposant sur une collecte aléatoire des données, difficilement applicables dans le cadre de la

surveillance d'une maladie de la faune sauvage, compte-tenu des difficultés précédemment évoquées.

1.1. INTÉRÊTS DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION QUANTITATIVE PAR ARBRES DE SCÉNARIOS

Cette méthode a permis d'évaluer quantitativement les caractéristiques du dispositif Sylvatub en termes d'efficacité (capacité à détecter des cas), tout en permettant également la comparaison des différentes composantes du dispositif, par espèce et niveau de risque. Elle a l'avantage de reposer sur un processus transparent, flexible et approprié à la prise de décision et à la communication auprès des acteurs du dispositif. En effet, les arbres de scénarios permettent de décrire et de représenter schématiquement les différentes étapes du processus de surveillance, et facilitent ainsi l'identification des facteurs influençant la probabilité de détection et la modélisation de l'hétérogénéité entre les espèces, les composantes et les niveaux de risque, c'est-à-dire selon une typologie de zone (zone à faible ou fort risque vis-à-vis de l'infection, zone à faible ou forte densité d'espèces sauvages, zone à faible ou forte proportion de chasseurs formés à la détection de lésions, *etc.*). Elle permet donc de cibler les zones géographiques, strates de la population, ou tout autre critère sur lequel il serait nécessaire de concentrer les efforts de surveillance pour améliorer la détectabilité, et ainsi *in fine* proposer des recommandations adaptées.

La modélisation par arbres de scénarios permet la prise en compte d'un grand nombre de paramètres et l'inclusion de multiples sources de données, qu'elles soient aléatoires ou non. Les données manquantes ou incomplètes peuvent être estimées par une revue de la littérature ou par consultations d'experts ; la modélisation stochastique permettant de modéliser la variabilité éventuelle des paramètres et d'intégrer un certain degré d'incertitude si nécessaire. Par ailleurs, les analyses peuvent facilement être effectuées de nouveau dès lors que de nouvelles données plus fiables sont disponibles, permettant une certaine flexibilité dans l'évaluation du dispositif.

1.2. LIMITES DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION QUANTITATIVE PAR ARBRES DE SCÉNARIOS

Cette méthode a nécessité l'estimation de nombreuses probabilités conditionnelles, qui n'étaient pas toujours disponibles ou fiables au moment de l'évaluation. Or, la qualité de ces estimations conditionne fortement la qualité et la fiabilité des résultats obtenus. Il a par exemple été difficile d'obtenir des données de prévalence de la TB et de densité des espèces sauvages dans une zone géographique donnée, ou encore des informations sur le comportement des acteurs de terrain en termes de participation au dispositif de surveillance et de niveau de sensibilisation vis-à-vis de la TB. En effet, le comportement des individus et leurs motivations sont difficiles à évaluer et peuvent dépendre d'un grand nombre de paramètres, qu'ils soient environnementaux (situation épidémiologique ou type de chasse dans un département par exemple), ou propres aux individus. Lorsque les informations quantitatives sur les paramètres d'entrée n'étaient pas disponibles, des avis d'experts ont été demandés, afin d'arriver à un consensus. Les hypothèses sous-tendant les simulations peuvent être biaisées du fait des opinions préconçues que peuvent avoir les experts selon leur expertise, mais cette méthode reste utile en l'absence d'étude épidémiologique complète [Van der Fels-Klerx *et al.*, 2000]. De plus, ignorer des facteurs difficiles à quantifier (comme le niveau de sensibilisation et de vigilance des chasseurs par exemple) pourrait conduire à une estimation faussée de l'efficacité du dispositif de surveillance [Rich *et al.*, 2013]. L'utilisation de distributions pour le paramétrage des arbres de scénarios a permis de prendre en compte la variabilité et l'incertitude des estimations, au sein d'une plage de valeurs faisant consensus entre les experts.

Une analyse de sensibilité aurait permis d'identifier les paramètres d'entrée ayant le plus d'influence sur les estimations réalisées, afin de proposer des recommandations plus adaptées sur les points critiques du dispositif, mais les arbres étaient trop complexes pour la réalisation simple d'une analyse de sensibilité. Par ailleurs, l'estimation plus précise des paramètres d'entrée les plus influents permettrait d'affiner l'évaluation du dispositif.

2. RÉSULTATS

Les estimations de sensibilité collective ont été fondées sur des conditions théoriques, telles que

fixées dans la note de service DGAL/SDSPA/N2013-8126 (prévalence cible de détection, taille d'échantillon en surveillance programmée par exemple), et appliquées aux données démographiques et de surveillance pour la saison cynégétique 2013-2014 pour le grand gibier et l'année civile 2014 pour les blaireaux. En effet, considérant que plusieurs années sont nécessaires pour une mise en œuvre opérationnelle du dispositif sur le terrain, le choix de cette période d'étude a permis d'avoir une vision relativement réaliste de l'efficacité de la surveillance, notamment pour la surveillance événementielle qui nécessite une sensibilisation préalable importante des collecteurs de données. Toutefois, les niveaux de risque étant revus deux fois par an, ces estimations ne sont donc valables que pour cette période.

2.1. SURVEILLANCE ÉVÉNEMENTIELLE PAR EXAMEN DE CARCASSE

La surveillance *post-mortem* (capacité à détecter des lésions évocatrices de TB) a une faible sensibilité, mais la formation permet d'augmenter la sensibilisation des chasseurs et le fait d'être dans un département de niveau 3 augmente également l'efficacité de cette composante. Les experts interrogés considèrent que l'efficacité de l'inspection *post-mortem* est meilleure pour les cerfs que pour les sangliers, car les lésions sont souvent localisées aux nœuds lymphatiques céphaliques chez ces derniers, et sont donc difficilement décelables lors de l'examen de carcasse (tableau 5). Ces hypothèses sont cohérentes avec d'autres études qui ont montré que la sensibilité de l'inspection *post-mortem* était relativement faible [Rohonczy *et al.*, 1996 ; More *et al.*, 2009 ; Wahlström *et al.*, 2010]. Toutefois, nos résultats suggèrent que la sensibilité collective de cette composante est élevée, en raison du nombre important d'animaux pouvant être soumis à cette surveillance. Cependant, même si tous les animaux chassés subissent normalement un examen de carcasse, l'examen poussé de la venaison n'est en général réalisé que pour les carcasses destinées à la commercialisation. Le nombre d'examens initiaux de la venaison n'étant actuellement pas connu en France, il a été considéré que tout chasseur examinait son gibier chassé, avec un niveau de connaissance et une capacité à détecter des lésions évocatrices de TB variables selon les espèces, les zones

géographiques, et son niveau de formation. Les proportions de chasseurs formés par département ont été utilisées pour prendre en compte ce facteur. Cette méthode peut avoir conduit à une surestimation de la sensibilité de cette composante, puisque toutes les carcasses ne font en réalité pas l'objet d'une inspection détaillée, notamment lorsqu'elles sont utilisées pour l'autoconsommation.

La sensibilité de la surveillance par examen de carcasse pourrait être partiellement augmentée par des activités de formation des chasseurs et des référents, mais l'importance des phénomènes biologiques et la faible expression lésionnelle des animaux infectés constituent un frein non négligeable qui ne peut pas être levé par la formation. En effet, la sensibilité de la surveillance par examen de carcasse est contrainte par l'absence d'expression lésionnelle chez de nombreux animaux infectés, et, en cas de lésions, par la présence potentielle de lésions de petite taille localisées aux nœuds lymphatiques et donc difficilement décelables par les chasseurs lors de l'éviscération (intensité lésionnelle variable selon les espèces), contrainte qui ne peut être réduite par l'amélioration de la formation.

2.2. SURVEILLANCE ÉVÉNEMENTIELLE PAR LE RÉSEAU SAGIR

La sensibilité collective de la surveillance par le réseau Sagir est relativement faible par rapport aux autres composantes de surveillance, car la probabilité de détection et de collecte d'un animal mort est faible, quels que soient l'espèce et le niveau de risque. Par ailleurs, nous n'avons pas pu intégrer les blaireaux à l'estimation globale de la sensibilité collective de cette composante, car nous ne disposons pas des données de densités départementales, nécessaires pour estimer la sensibilité collective pondérée par espèce, ce qui a pu conduire à une sous-estimation de la sensibilité globale de cette composante de surveillance. Enfin, l'importance du maillage local (nombre de collecteurs potentiels dans le département) et la saison (abondance de la végétation, saison de chasse, etc.) peuvent également influencer la probabilité de détection des cadavres dans un massif forestier, mais n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

Le renforcement du réseau Sagir dans les départements de niveaux 2 et 3 permet d'augmenter la sensibilité de cette composante, par rapport au fonctionnement classique du réseau dans les départements de niveau 1. En effet, dans le cadre du fonctionnement classique du réseau, les acteurs ont tendance à ne collecter (et donc à ne soumettre à l'analyse) que des cadavres n'étant pas dans un état de décomposition avancée et d'une taille suffisamment petite pour être facilement transportés dans leur véhicule (blaireau, jeune sanglier, chevreuil ; à l'inverse, les cerfs et les sangliers mâles adultes sont souvent moins collectés).

2.3. SURVEILLANCE PROGRAMMÉE

La surveillance programmée présente également une bonne sensibilité collective, car elle dépend de peu de facteurs, qu'ils soient biologiques (présence de lésions par exemple) ou comportementaux voire sociologiques (propension à collecter des animaux morts pour la surveillance par Sagir ou à déclarer une suspicion pour la surveillance par examen de carcasse). Par ailleurs, la surveillance programmée est effectuée dans des départements de plus haut niveau de risque pour lesquels la probabilité d'infection (prévalence cible de détection) était plus élevée dans notre modèle ; et les tailles d'échantillons sont plus importantes que pour les deux autres composantes. Elle est toutefois un peu plus faible chez les cerfs, car pour cette espèce :

1. la prévalence cible a été fixée à un niveau plus bas que pour les sangliers et les blaireaux,
2. la taille d'échantillon est plus petite que pour les autres espèces et
3. les analyses de laboratoire ne sont réalisées que si des lésions évocatrices de TB sont détectées au LDA.

Cette analyse a toutefois été effectuée à partir des tailles d'échantillon préconisées dans la note de service, et doit être remise en perspective par rapport au taux de réalisation de l'échantillonnage prévisionnel réellement effectué (parfois supérieur aux préconisations, notamment dans certains départements de niveau 3, ou inférieur, dans certains départements de niveau 2). Enfin, le

maillage de terrain n'a pas été pris en compte dans cette étude mais pourrait être intégré à la modélisation par arbres de scénarios, car celui-ci est variable selon les départements, notamment pour la surveillance programmée des blaireaux qui est effectuée par des piégeurs agréés, volontaires et non rémunérés pour cette activité chronophage, ce qui pourrait constituer un frein à la bonne réalisation de l'échantillonnage dans certains départements.

2.4. LE DISPOSITIF SYLVATUB DANS SON ENSEMBLE

Chaque composante de surveillance du dispositif Sylvatub n'a pas la même couverture des populations sauvages. La surveillance par examen de carcasse couvre un nombre important de grands gibiers (animaux tués à la chasse), alors que la surveillance par le réseau Sagir s'intéresse à un plus faible nombre d'animaux, bien qu'inconnu en réalité, ce qui peut expliquer la différence de sensibilité entre ces deux composantes. La différence de sensibilité entre les composantes de surveillance événementielle par examen de carcasse et le réseau Sagir peut être expliquée en partie par la différence entre les probabilités d'inclusion des animaux dans chacune de ces composantes et entre les probabilités de détection et de collecte des animaux (plus importantes pour la surveillance par examen de carcasse, notamment lorsque les chasseurs sont formés à l'examen initial de la venaison).

L'estimation de la sensibilité collective par espèce (résultats non présentés ici) a également montré qu'il semblait important de continuer la surveillance sur le sanglier, espèce très réceptive à *M. bovis* et assurant donc un rôle essentiel de sentinelle. Ces résultats doivent toutefois être relativisés par rapport à la densité des espèces surveillées, plus faible pour le Cerf par rapport au Sanglier et au Chevreuil, expliquant ainsi en partie la plus faible sensibilité obtenue pour cette espèce.

De manière générale, quelle que soit la composante de surveillance, le niveau de risque départemental et la densité des espèces ont eu une influence importante sur la sensibilité collective estimée du dispositif. En effet, quelle que soit la composante de surveillance, la sensibilité collective moyenne est supérieure à 80% dans la majorité des départements de niveaux 2 et 3, dans lesquels la prévalence cible était plus élevée, et pour les sangliers et les

chevreuils, espèces présentes en densité importante. A l'inverse, la prévalence cible, fixée à un niveau plus bas dans les départements de faible niveau de risque (niveau 1) conduit à une plus faible probabilité de détecter l'infection si elle est présente, d'autant que les tailles d'échantillon sont plus faibles dans ces départements. La sensibilité est ainsi plus hétérogène entre les départements de niveau 1, dépendant en grande partie des densités de populations locales. Il apparaît alors légitime, en l'absence de résultat positif dans ces zones, de se demander si elles sont réellement indemnes, ou si la prévalence est trop faible pour permettre une détection de l'infection avec les moyens actuels. Ces réflexions reviennent *in fine* à s'interroger sur les objectifs de la surveillance : maximiser la détection de cas dans les zones connues d'infection, ou maximiser la détection de cas dans des zones jusqu'alors présumées indemnes.

3. PERSPECTIVES

Les niveaux de risque sont définis à l'échelle départementale dans la note de service de la DGAI encadrant le dispositif Sylvatub, ce qui a conduit à réaliser l'évaluation à cette échelle administrative. Toutefois, cela ne reflète pas la réalité car :

1. les composantes sont parfois appliquées à une échelle infra-départementale, comme la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir ou la surveillance programmée,
2. les densités peuvent être variables au sein d'un même département,
3. les prévalences d'infection sont très variables au sein d'un même département, notamment dans les départements de niveau 3 où certaines zones sont considérées comme infectées et d'autres comme indemnes.

La réalisation d'une évaluation à une échelle géographique plus locale (communale par exemple) permettrait de mieux représenter la réalité de terrain et la combinaison des composantes en fonction du risque d'infection de la faune sauvage, mais les données disponibles au moment où ces travaux ont été conduits ne permettaient pas une analyse aussi fine.

La complémentarité des composantes devrait également être considérée d'un point de vue temporel : en effet, la surveillance par examen de

carcasse et la surveillance programmée sur le grand gibier sont dépendantes de la saison de chasse (dont la période et la durée varient selon les zones géographiques), alors que la surveillance par le réseau Sagir est appliquée en continu, rendant ainsi la détection de cas possible tout au long de l'année, même si la sensibilité de cette composante est plus faible.

La qualité des outils de dépistage et de diagnostic est un facteur important dans le processus de détection d'un animal sauvage infecté. Toutefois, les méthodes actuellement disponibles sont limitées, et se fondent essentiellement sur la culture bactérienne, considérée comme test de référence, alors que sa sensibilité peut être

relativement faible dans le domaine de la faune sauvage (conditions de terrain, dégradation des prélèvements et poly-contaminations éventuelles). Une PCR plus spécifique de *M. bovis* a été récemment développée au LNR, et intégrée aux outils diagnostiques utilisés par le dispositif Sylvatub. La PCR est ainsi maintenant le test de première intention effectué dans les LDA, même en l'absence de lésion (note de service DGAL/SDSPA/2015-556), la culture n'étant réalisée qu'en cas de résultat non-négatif obtenu au LDA : il serait ainsi intéressant d'estimer le gain de sensibilité permis par cette nouvelle procédure diagnostique, et d'estimer la variation des coûts correspondants.

V - CONCLUSION

La modélisation par arbres de scénarios de la surveillance de la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage a représenté un enjeu particulier, du fait de la complexité du dispositif de surveillance et des nombreuses incertitudes existantes. Cette méthode d'évaluation quantitative a permis de prendre en compte la plupart des contraintes inhérentes à la surveillance de la faune sauvage (difficultés liées à l'échantillonnage, sélection de certains individus, etc.), afin d'estimer les sensibilités de chaque composante et du dispositif dans son ensemble. Ces estimations sont entachées de nombreuses incertitudes et variabilités, mais permettent toutefois de fournir des résultats globaux utiles aux gestionnaires, qu'il conviendra d'affiner par la suite en réduisant l'incertitude liée à l'estimation de

certaines paramètres. De telles connaissances, notamment appliquées à une typologie de zone (niveau de risque estimé, espèces sauvages à risque, caractéristiques intrinsèques comme l'âge et le sexe, performance des acteurs de terrain...) sont fondamentales dans une optique d'aide à la décision, de hiérarchisation des activités de surveillance et de répartition des ressources humaines et financières. Les résultats montrent cependant que cette méthode présente des limites pour comprendre les raisons d'un potentiel manque de sensibilité pour certaines composantes de surveillance et ainsi cibler les points d'amélioration du dispositif, qu'ils portent sur la structure et le fonctionnement du dispositif en lui-même, ou sur l'acceptabilité des mesures de surveillance par les acteurs impliqués sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

Anses - Tuberculose bovine et faune sauvage, 2011, 119 pages.

Artois M. - Wildlife infectious disease control in Europe. *J. Mt. Ecol.*, 2003, 7, 89-96.

Boadella M., Lyashchenko K., Greenwald R., Esfandiari J., Jaroso R., Carta T. *et al.* - Serologic tests for detecting antibodies against *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium avium subspecies paratuberculosis* in Eurasian

wild boar (*Sus scrofa scrofa*). *J. Vet. Diagn. Invest.*, 2011, 23, 77-83.

Courcoul A., Moyen J.L., Brugère L., Faye S., Hénault S., Gares H. *et al.* - Estimation of sensitivity and specificity of bacteriology, histopathology and PCR for the confirmatory diagnosis of bovine tuberculosis using latent class analysis. *PLoS One*, 2014; 9(3): e90334. doi: 10.1371/journal.pone.0090334.

- Drummond M.F., O'Brien B.J., Stoddart G.L., Torrance G.W. - Méthodes d'évaluation économique des programmes de santé, *Economica*, 2ème édition, 1997, 331 pages.
- EFSA - Modelling the impact of a change in MI sensitivity on the surveillance of bTB at the country level. Supporting Publications EFSA 2013: EN-450, 40p. [www.efsa.europa.eu/publications].
- Fitzgerald S.D., Kaneene J.B. - Wildlife reservoirs of bovine tuberculosis worldwide: hosts, pathology, surveillance and control. *Vet. Pathol.*, 2012, **50**, 488-499.
- Gortazar C., Delahay R.J., McDonald R.A., Boadella M., Wilson G.J., Gavier-Widen D. *et al.* - The status of tuberculosis in European wild mammals. *Mamm. Rev.*, 2012, **42**(3), 193-206.
- Hardstaff J.L., Marion G., Hutchings M.R., White P.C.L. - Evaluating the tuberculosis hazard posed to cattle from wildlife across Europe. *Res. Vet. Sci.*, 2013, **94**, 86-93.
- Hars J., Richomme C., Boschiroli M.L. - La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim. Anses-DGAI Hors-série*, 2010, **38**, 25-27.
- Hars J., Garin-Bastuji B., Richomme C., Payne A., Rossi S. - De l'éradication à la réapparition des maladies infectieuses animales. Les dangers de la faune sauvage : contexte et outils de gestion. *Épidémiol. et santé anim.*, 2013, **64**, 57-69.
- Martin P.A.J., Cameron A.R., Greiner M. - Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources: 1- A new methodology based on scenario trees. *Prev. Vet. Med.*, 2007, **79**, 71-97.
- More S.J., Cameron A.R., Greiner M., Clifton-Hadley R., Correia Rodeia S., Bakker D. *et al.* - Defining out-put-based standards to achieve and maintain tuberculosis freedom in farmed deer, with reference to member states of European Union. *Prev. Vet. Med.*, 2009, **90**, 254-267.
- Naranjo V., Gortazar C., Vicente J., de la Fuente J. - Evidence of the role of European wild boar as a reservoir of *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Vet. Microbiol.*, 2008, **127**, 1-9.
- O'Brien D.J., Schmitt S.M., Berry D.E., Fitzgerald S.D., Vanneste J.R., Lyon T.J. *et al.* - Estimating the true prevalence of *Mycobacterium bovis* in hunter-harvested white-tailed deer in Michigan. *J. Wildl. Dis.*, 2004, **40**(1), 42-52.
- Rich K.M., Denwood M.J., Stott A.W., Mellor D.J., Reid S.W.J., Gunn G.J. - Systems approaches to animal disease surveillance and resource allocation: methodological frameworks for behavioral analysis. *PLoS One*, 2013, **8**(11), e82019. doi: 10.1371/journal.pone.0082019.
- Richomme C., Boadella M., Courcou A., Durand A., Durand B., Drapeau A. *et al.* - Exposure of wild boar to *Mycobacterium tuberculosis* complex in France since 2000 is consistent with the distribution of bovine tuberculosis outbreaks in cattle. *PLoS One*, 2013, **8**(10), e77842. doi: 10.1371/journal.pone.0077842.
- Rivière J., Hars J., Richomme C., Fediavsky A., Calavas D., Faure E., Hendriks P. - La surveillance de la faune sauvage : de la théorie à la pratique avec l'exemple du réseau Sylvatub. *Épidémiol. et santé anim.*, 2012, **61**, 5-16.
- Rivière J., Hars J., Dufour B., Hendriks P. - Identification et description d'une méthode d'évaluation du dispositif de surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage libre en France. *Épidémiol. et santé anim.*, 2013, **63**, 25-38.
- Rivière J., Carabin K., Le Strat Y., Hendriks P., Dufour B. - Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013: a survey-based review. *Vet. Microbiol.*, 2014, **173**, 323-331.
- Rohonczy E.B., Balachandran A.V., Dukes T.W., Payeur J.B., Rhyan J.C., Saari D.A. *et al.* - A comparison of gross pathology, histopathology, and mycobacterial culture for the diagnosis of tuberculosis in elk (*Cervus elaphus*). *Can. J. Vet. Res.*, 1996, **60**(2), 108-114.
- Ruette S., Hars J., Payne A., Guinot-Ghestem M. - État des connaissances et propositions concernant le suivi et les mesures de gestion des populations de blaireaux en France. Rapport ONCFS, 2014, 25 p.
- Santos N., Geraldés M., Afonso A., Almeida V., Correia-Neves M. - Diagnosis of tuberculosis in wild boar (*Sus scrofa*): a comparison of methods applicable to hunter-harvested animals. *PLoS One*, 2010, **5**(9), e12663 doi: 10.1371/journal.pone.0012663.
- Van der Fels-Klerx H.J., Horst H.S., Dijkhuizen A.A. - Risk factors for bovine respiratory disease in dairy youngstock in The Netherlands: the perception of experts. *Livest. Prod. Sci.*, 2000, **66**, 35-46.

Vicente J., Hofle U., Garrido J.M., Fernandez-de-Mera I., Juste R., Barral M. *et al.* - Wild boar and red deer display high prevalences of tuberculosis-like lesions in Spain. *Vet. Res.*, 2006, **37**, 107-119.

Wahlström H., Frössling J., Sternberg Lewerin S., Ljung A., Cedersmyg M., Cameron A. – Demonstrating freedom from *Mycobacterium bovis* infection in Swedish farmed deer using non-survey data sources. *Prev. Vet. Med.*, 2010, **94**, 108-118.



Remerciements

Les auteurs remercient le Ministère en charge de l'Agriculture et l'Anses pour la mise à disposition des données du dispositif Sylvatub. Les auteurs remercient également les acteurs de terrain (chasseurs et fédérations de chasseurs, interlocuteurs techniques départementaux du réseau SAGIR et ONCFS) pour la collecte des prélèvements et des données de terrain, ainsi que les experts interrogés pour l'estimation des paramètres d'entrée nécessaires au modèle.