



HAL
open science

Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France à l'aide de méthodes épidémiologique, économique et sociologique

Julie Rivière

► To cite this version:

Julie Rivière. Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France à l'aide de méthodes épidémiologique, économique et sociologique. Santé publique et épidémiologie. Université Paris-Saclay, 2016. Français. NNT : 2016SACLS115 . tel-01362997

HAL Id: tel-01362997

<https://theses.hal.science/tel-01362997>

Submitted on 9 Sep 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NNT : 2016 SACL S 115

2016

THESE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY
PREPAREE A L'UNIVERSITE PARIS-SUD

ÉCOLE DOCTORALE N°570
Discipline : Santé publique
Spécialité de doctorat : Epidémiologie

Par

Mlle Julie RIVIERE

EVALUATION DU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE LA
TUBERCULOSE BOVINE DANS LA FAUNE SAUVAGE EN
FRANCE A L'AIDE DE METHODES EPIDEMIOLOGIQUE,
ECONOMIQUE ET SOCIOLOGIQUE

Thèse dirigée par Barbara DUFOUR et codirigée par Pascal HENDRIKX
Laboratoire d'accueil : unité EpiMAI (USC ENVA-Anses)

Thèse présentée et soutenue à l'ENVA (Maisons-Alfort), le 27 Mai 2016

Composition du Jury

M. Jean BOUYER	Directeur de recherche, Inserm	Président du jury
M. Christian DUCROT	Directeur de recherche, INRA	Rapporteur
M. Bruno GARIN-BASTUJI	Directeur de recherche, Anses	Rapporteur
M. Timothée VERGNE	Chercheur, RVC	Examineur
Mme Barbara DUFOUR	Professeur, ENVA	Directrice
M. Pascal HENDRIKX	Chercheur, Anses	Co-Directeur

NNT :
2016

THESE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY
PREPAREE A L'UNIVERSITE PARIS-SUD

ÉCOLE DOCTORALE N°570
Discipline : Santé publique
Spécialité de doctorat : Epidémiologie

Par

Mlle Julie RIVIERE

EVALUATION DU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE LA
TUBERCULOSE BOVINE DANS LA FAUNE SAUVAGE EN
FRANCE A L'AIDE DE METHODES EPIDEMIOLOGIQUE,
ECONOMIQUE ET SOCIOLOGIQUE

Thèse dirigée par Barbara DUFOUR et codirigée par Pascal HENDRIKX
Laboratoire d'accueil : unité EpiMAI (USC ENVA-Anses)

Thèse présentée et soutenue à l'ENVA (Maisons-Alfort), le 27 Mai 2016

Composition du Jury

M. Jean BOUYER	Directeur de recherche, Inserm	Président du jury
M. Christian DUCROT	Directeur de recherche, INRA	Rapporteur
M. Bruno GARIN-BASTUJI	Directeur de recherche, Anses	Rapporteur
M. Timothée VERGNE	Chercheur, RVC	Examinateur
Mme Barbara DUFOUR	Professeur, ENVA	Directrice
M. Pascal HENDRIKX	Chercheur, Anses	Co-Directeur

REMERCIEMENTS

A **Barbara Dufour** et **Pascal Hendrikx**, mes directeurs de thèse, pour leur écoute, leur soutien et leurs conseils avisés tout au long de ce travail,

A **Yann Le Strat**, qui m'a encadrée pour les analyses statistiques et a dû endurer avec courage des photos de sangliers, de blaireaux et de cerfs ainsi que de nombreuses animations sur tous mes power-points, Merci.

Mes remerciements vont également à **Bruno Garin-Bastuji** et **Christian Ducrot**, qui ont accepté d'être rapporteurs de cette thèse ; et à **Timothée Vergne**, examinateur.

Je tiens particulièrement à remercier **Jean Bouyer**, qui a bien voulu présider le jury de cette thèse, et remercie à travers lui l'Ecole Doctorale de Santé Publique qui m'a permis de réaliser ce travail.

Je remercie également vivement toutes les personnes qui ont participé à ce projet :

- les membres de mon comité de thèse, pour leurs conseils avisés : **Maria-Laura Boschioli**, **Lisa Cavalerie**, **Aurélie Courcoul**, **Jean Hars**, **Stéphane Krebs** et **Anne Praud** ;
- **Kilian Carabin**, qui a réalisé son stage de M1 sur l'administration du questionnaire en ligne auprès des Etats Membres de l'Union Européenne ;
- **Thomas Curchod**, étudiant vétérinaire à l'EnVA, qui a réalisé son stage de troisième année sur l'interrogation d'experts par la méthode Delphi ;
- **Eric Durand**, ISPV, qui m'a apporté une contribution importante dans la réalisation de l'étude économique et sociologique du dispositif Sylvatub ;
- **Marie Lhubert**, étudiante vétérinaire à l'EnVA, qui réalise sa thèse de Doctorat Vétérinaire sur l'évaluation du dispositif Sylvatub par la méthode Oasis Flash ;
- **François Moutou**, pour m'avoir permis de fouiller dans ses archives et trouver des articles intéressants sur la biologie du blaireau, du sanglier et du cerf ;
- tous les **experts** ayant participé à l'étude européenne sur les méthodes de surveillance de la tuberculose bovine en élevage et dans la faune sauvage ; ainsi que tous les experts ayant participé à l'étude Delphi ayant permis d'affiner l'estimation de certains paramètres nécessaires au modèle. Dans ce cadre, je tiens particulièrement à remercier **Edouard Réveillaud**, **Eva Faure**, **Jean Hars** et **Pierre Jabert**, avec qui nous avons eu de nombreux échanges constructifs ;
- toutes les personnes qui ont accepté de participer à l'étude sociologique sur le dispositif Sylvatub, et qui nous ont fourni leur ressenti sur le dispositif et son fonctionnement ;
- et enfin, tous les **acteurs de terrain** (chasseurs, piégeurs, lieutenants de louveterie, FDC, SD ONCFS, ...) sans qui la surveillance par le dispositif Sylvatub n'existerait pas.

Je remercie également la **DGAI** (**Alexandre Fediaevsky** et **Lisa Cavalerie**) et **l'Anses**, pour la mise à disposition des données nécessaires à la réalisation de ce travail.

Merci également à toute l'Unité EpiMAI, pour leur soutien tout au long de ces trois ans, leurs conseils, et les moments de détente partagés au cours d'un repas ou d'un café : **Jean-Philippe Amat**, **Aurélie Courcoul**, **Benoît Durand**, **Maud Marsot**, **Aurore Palisson** et **Gina Zanella**.

Un grand merci également aux anciens et actuels de la Plateforme-Esa, et en particulier de l'Unité UCAS : **Laure Bournez**, **Marie-Pierre Chauzat**, **Catherine Delorme** (la spécialiste de Sylvatub !), **Edouard Réveillaud**, avec une pensée particulière pour **Morgane Dominguez** et **Philippe Chhor** (des raton-party sont à prévoir !).

A ma famille,

A mes parents, pour leur patience et leur confiance,

A ma sœur, dont la bienveillance et la générosité ne cesseront de me toucher, pour son soutien sans faille,

A mes grands parents, pour leur présence et leur soutien constant,

A toute ma famille, pour leur amour, parce qu'ils ont toujours été là et qu'ils seront toujours là, je vous aime.

A Braco et Sotchi, sans qui ce travail n'aurait jamais pu voir le jour.

A mes amis, Raph, Mélan, Picou et Gibou,

Pour toutes ces années de complicité passées et qui restent à venir.

VALORISATION DES TRAVAUX

PUBLICATIONS DANS DES JOURNAUX DE RANG A

Rivière J., Carabin K., Le Strat Y., Hendriks P., Dufour B. (2014) Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013 : a survey-based review. *Vet. Microbiol.* **173**, 323-331.

Rivière J., Le Strat Y., Dufour B., Hendriks P. (2015) Sensitivity of bovine tuberculosis surveillance in wildlife in France: a scenario tree approach. *PLoS ONE* 10(10); e0141884. doi:10.1371/journal.pone.0141884.

AUTRES PUBLICATIONS

Rivière J., Hars J., Dufour B., Hendriks H. (2013) Méthodologie de l'évaluation coût-efficacité de la surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Epidemiol. et sante anim.* **63**, 25-38.

Rivière J., Payne A., Hars J., Dufour B. (2014) Faune sauvage et tuberculose bovine: évolution dans quelques pays européens et hors Union Européenne. *Le nouveau praticien vétérinaire.* **6** (25), 173-180.

Rivière J., Le Strat Y., Hendriks P., Dufour (2014) Surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin et dans la faune sauvage au sein de l'Union Européenne : Enquête européenne. *Epidemiol. et sante anim.* **66**, 117-132.

Lhubert M., Réveillaud E., Cavalerie L., Hendriks P., **Rivière J.** (2015) Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France à l'aide de la méthode Oasis « Flash » et recommandations. *Epidemiol. et sante anim.* **68**, 105-119.

COMMUNICATIONS ORALES LORS DE CONGRES INTERNATIONAUX

Rivière J., Le Strat Y., Dufour B., Hendriks P. (2015) Quantitative evaluation of the effectiveness of bovine tuberculosis surveillance in wildlife in France using scenario tree modelling. Congrès international ISVEE 14th 3-7 November 2015 (International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics), 4 November 2015, Mérida, Yucatan, Mexique.

COMMUNICATIONS ORALES LORS DE CONGRES FRANCOPHONES

Rivière J., Fediaevsky A., Hars J., Dufour B., Hendriks H. (2013) Méthodologie de l'évaluation coût-efficacité de la surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. Journées scientifiques de l'AEEMA, Maisons-Alfort, France, 30-31 mai 2013.

Rivière J., Le Strat Y., Hendriks P., Dufour B. (2014) Inventaire des systèmes de surveillance de la tuberculose bovine chez les bovins et dans la faune sauvage au sein de l'Union Européenne. Journées scientifiques de l'AEEMA, Maisons-Alfort, France, 18-19 mars 2014.

RAPPORTS

Rivière J., Lhubert M., Réveillaud E., Cavalerie L., Hendriks P. (2015) Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France métropolitaine (Sylvatub) : méthode OASIS Flash. Rapport d'évaluation, 37 p.

Sommaire

REMERCIEMENTS	5
VALORISATION DES TRAVAUX	7
INDEX DES ANNEXES	15
TABLE DES ABREVIATIONS	17
INDEX DES FIGURES	19
INDEX DES TABLES.....	21
INTRODUCTION.....	25
CHAPITRE I. La surveillance en santé animale : enjeux et évaluation	27
I. La surveillance épidémiologique en santé animale	27
1.1. Définition de la surveillance épidémiologique.....	27
1.2. Les dispositifs de surveillance et leurs objectifs	28
1.3. Les enjeux de la surveillance épidémiologique en santé animale	30
1.4. Les défis de la surveillance épidémiologique en santé animale	31
II. Evaluation des dispositifs de surveillance en santé animale	33
2.1. Les principaux attributs d'un dispositif de surveillance à évaluer	34
2.2. Méthodes d'évaluation qualitative et semi-quantitative	35
2.2.1. L'audit externe.....	36
2.2.2. Les indicateurs de performance	37
2.3. Méthodes d'évaluation quantitative.....	38
2.3.1. Les méthodes de capture-recapture	39
2.3.2. Les arbres de scénarios	40
2.3.2.1. Historique et contexte de développement des arbres de scénarios	40
2.3.2.2. Principes généraux	41
2.3.2.3. Prise en compte des aspects économiques	42
2.3.2.4. Revue des applications de la méthode d'arbres de scénarios en santé animale.....	42
2.4. Méthodes d'évaluation socio-économique	45
2.4.1. L'étude d'impact : une étape préliminaire	45
2.4.2. Les différents types d'analyse économique	46
2.4.2.1. Analyse coût-bénéfice (ACB)	46
2.4.2.2. Analyse coût-efficacité (ACE)	47
2.4.2.3. Analyse coût-utilité (ACU)	48
2.4.2.4. Analyse de minimisation des coûts	48
2.4.3. L'analyse multicritères (AMC)	48
2.4.4. Les particularités et difficultés de l'évaluation économique des dispositifs de surveillance en santé animale	49
2.4.4.1. Interaction entre surveillance et intervention	49
2.4.4.2. Aspects sociaux et comportementaux	50
2.4.4.3. Approche dynamique et rétroactions	51
III. Problématique et objectifs de la thèse	53

CHAPITRE II. La tuberculose bovine et sa surveillance en Europe et en France	55
I. La tuberculose bovine : généralités	55
1.1. Etiologie et espèces sensibles	55
1.2. Physio-pathogénie de l'infection tuberculeuse	55
1.3. Dépistage et diagnostic	56
1.3.1. Dépistage <i>ante-mortem</i>	56
1.3.1.1. Dépistage clinique	56
1.3.1.2. Dépistage allergique	57
1.3.1.3. Dépistage par dosage de l'interféron gamma (IFN- γ)	57
1.3.1.4. Dépistage sérologique	58
1.3.2. Dépistage et diagnostic <i>post-mortem</i>	58
1.3.2.1. Inspection post-mortem.....	58
1.3.2.2. Histologie.....	59
1.3.2.3. Culture bactérienne et typage génétique	59
1.3.2.4. Polymerase Chain Reaction (PCR)	59
II. Situation épidémiologique de la tuberculose bovine	61
2.1. Situation mondiale et européenne	61
2.2. Situation en France	63
2.2.1. Situation épidémiologique en élevage bovin	63
2.2.2. Situation épidémiologique dans la faune sauvage libre.....	63
III. Surveillance de la tuberculose bovine	65
3.1. Réglementation européenne de la surveillance	65
3.1.1. Surveillance de la tuberculose en élevage bovin	65
3.1.2. Surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre	65
3.2. Enquête européenne sur la surveillance	66
3.2.1. Matériel et méthode	66
3.2.2. Résultats	66
3.2.2.1. Surveillance en élevage bovin	67
3.2.2.2. Surveillance dans la faune sauvage libre.....	67
3.2.3. Discussion	68
3.2.3.1. Surveillance de la tuberculose en élevage bovin	70
3.2.3.2. Surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre.....	71
3.3. Surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France : présentation du dispositif Sylvatub	73
3.3.1. Surveillance événementielle par examen de carcasse.....	75
3.3.2. Surveillance événementielle par le réseau Sagir.....	75
3.3.3. Surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir	76
3.3.4. Surveillance programmée	76
3.3.4.1. Surveillance programmée des blaireaux dans les départements de niveau 2.....	76
3.3.4.2. Surveillance programmée du grand gibier et des blaireaux dans les départements de niveau 3	76
3.3.5. Analyses diagnostiques et définitions des cas	77
3.3.6. Coûts de la surveillance	78
IV. Enjeux liés à la tuberculose bovine	80
4.1. Enjeux de santé publique	80
4.2. Enjeux économiques	80
4.3. Enjeux liés aux populations sauvages infectées.....	81

CHAPITRE III. Evaluation coût-efficacité du dispositif Sylvatub	83
I. Matériel et méthodes	83
1.1. Présentation de la méthode de modélisation par arbres de scénarios	83
1.1.1. Construction et paramétrage des arbres de scénarios	83
1.1.1.1. Description du dispositif de surveillance.....	83
1.1.1.2. Les différents types de nœuds	84
1.1.1.3. Estimation des probabilités associées aux branches	84
1.1.2. Calculs.....	86
1.1.2.1. Probabilités conditionnelles : rappels	86
1.1.2.2. Sensibilité individuelle.....	86
1.1.2.3. Sensibilité de groupe	86
1.1.2.4. Sensibilité d'une composante de surveillance	87
1.1.2.5. Ratio de sensibilités.....	87
1.1.2.6. Sensibilité d'un dispositif de surveillance	87
1.2. Sources de données	88
1.2.1. Bases de données	88
1.2.2. Dires d'expert et revue de la littérature.....	89
1.2.3. Données économiques	90
1.3. Evaluation de l'efficacité du dispositif Sylvatub.....	91
1.4. Evaluation économique du dispositif Sylvatub	92
1.4.1. Les différentes catégories de coûts.....	92
1.4.2. Coûts communs aux différentes composantes de surveillance	93
1.4.2.1. Coûts d'animation nationale	93
1.4.2.2. Coûts des analyses de laboratoire.....	93
1.4.3. Coûts de la surveillance événementielle par examen de carcasse	94
1.4.4. Coûts de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir	94
1.4.5. Coûts de la surveillance programmée	94
1.4.6. Distinction entre les coûts de la surveillance et les coûts de la lutte	95
1.4.7. Estimation des coûts des composantes de surveillance et du dispositif	98
1.5. Evaluation coût-efficacité du dispositif Sylvatub	98
II. Résultats	100
2.1. Construction et paramétrage des arbres	100
2.1.1. Description des arbres de scénarios.....	100
2.1.1.1. Surveillance événementielle par examen de carcasse.....	100
2.1.1.2. Surveillance événementielle par le réseau Sagir.....	102
2.1.1.3. Surveillance programmée	104
2.1.2. Paramétrage des arbres : données populationnelles et épidémiologiques.....	105
2.1.2.1. Paramètres communs aux différentes composantes de surveillance	105
2.1.2.2. Paramètres spécifiques de la surveillance événementielle par examen de carcasse	110
2.1.2.3. Paramètres spécifiques de la surveillance événementielle par le réseau Sagir.....	113
2.1.3. Paramétrage des arbres : données économiques.....	115
2.1.3.1. Coûts des analyses de laboratoire, communs aux différentes composantes de surveillance.....	115
2.1.3.2. Coûts spécifiques de la surveillance événementielle par examen de carcasse	115
2.1.3.3. Coûts spécifiques de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir	116
2.1.3.4. Coûts spécifiques de la surveillance programmée dans les départements de niveau 2	116
2.1.3.5. Coûts spécifiques de la surveillance programmée dans les départements de niveau 3	117
2.2. Résultats de l'évaluation de la sensibilité des composantes de surveillance et du dispositif Sylvatub	117

2.2.1. Evaluation de la sensibilité des composantes de surveillance	117
2.2.1.1. Sensibilité individuelle par composante de surveillance et espèce	117
2.2.1.2. Sensibilité collective par composante de surveillance et espèce	118
2.2.1.3. Sensibilité collective par composante de surveillance, quelle que soit l'espèce ...	122
2.2.2. Evaluation de la sensibilité du dispositif Sylvatub.....	123
2.2.2.1. Ratio de sensibilités individuelles des composantes de surveillance événementielle	123
2.2.2.2. Sensibilité collective par espèce, quelle que soit la composante de surveillance .	123
2.2.2.3. Sensibilité collective du dispositif Sylvatub.....	124
2.3. Résultats de l'évaluation économique des composantes de surveillance et du dispositif Sylvatub	125
2.3.1. Estimation des coûts de chaque composante du dispositif	125
2.3.2. Estimation des coûts réels du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et pour l'année 2014 (blaireaux)	126
2.3.3. Estimation des coûts attendus du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et l'année 2014 (blaireaux).....	128
2.4. Résultats de l'évaluation coût-efficacité des composantes de surveillance et du dispositif Sylvatub	129
III. Discussion	132
3.1. Méthode d'évaluation quantitative par arbre de scénarios	132
3.1.1. Intérêts de la méthode d'évaluation quantitative par arbre de scénarios	132
3.1.2. Limites de la méthode d'évaluation quantitative par arbre de scénarios	133
3.2. Construction et paramétrage des arbres	134
3.2.1. Estimation des paramètres par la méthode Delphi et opinion d'experts	135
3.2.2. Qualité de la procédure diagnostique	135
3.2.3. Prévalence limite	136
3.2.4. Densité des espèces sauvages et paramètres démographiques.....	137
3.2.4.1. Densité des populations sauvages	137
3.2.4.2. Paramètres démographiques des populations sauvages.....	138
3.2.5. Inspection <i>post-mortem</i>	139
3.2.6. Estimation des coûts	140
3.2.6.1. Cadre de l'étude	140
3.2.6.2. Collecte des données économiques.....	141
3.2.6.3. Estimation des coûts d'animation	141
3.2.6.4. Estimation des coûts de collecte	143
3.2.6.5. Estimation des coûts des analyses de laboratoire	143
3.3. Résultats.....	144
3.3.1. Surveillance événementielle par examen de carcasse.....	144
3.3.2. Surveillance événementielle et événementielle renforcée par le réseau Sagir.....	147
3.3.3. Surveillance programmée	148
3.3.4. Le dispositif Sylvatub dans son ensemble	149
CHAPITRE IV. Méthodes complémentaires d'évaluation du dispositif Sylvatub.....	153
I. Evaluation semi-quantitative à l'aide de la méthode Oasis Flash.....	153
1.1. Matériel et méthode	154
1.1.1. Description de la méthode d'évaluation Oasis.....	154
1.1.2. Spécificités de l'évaluation Oasis Flash	154
1.1.3. Déroulement de l'évaluation.....	155
1.2. Résultats.....	155
1.2.1. Principaux atouts du dispositif Sylvatub	157
1.2.1.1. Une solide organisation institutionnelle	157

1.2.1.2. Des outils et protocoles de surveillance formalisés et pertinents	157
1.2.1.3. Un réseau de laboratoires fonctionnel.....	157
1.2.1.4. Communication, animation, formation : une triade performante.....	158
1.2.2. Principales faiblesses du dispositif Sylvatub et propositions d'amélioration	158
1.2.2.1. Une surveillance hétérogène	158
1.2.2.2. La gestion des données : une procédure lourde et chronophage	159
1.2.2.3. Une procédure de déclaration complexe et mal maîtrisée par les acteurs	160
1.2.2.4. Des objectifs de surveillance et un échantillonnage contraints par la réalité de terrain.....	160
1.2.2.5. Un défaut d'acceptabilité	161
1.2.2.6. L'évaluation, un secteur à développer	161
1.3. Discussion.....	162
1.3.1. Intérêts de la méthode d'évaluation semi-quantitative Oasis Flash.....	163
1.3.2. Limites de la méthode d'évaluation semi-quantitative Oasis Flash.....	164
II. Enquête sociologique auprès d'acteurs de terrain	165
2.1. Introduction	165
2.2. Matériel et méthodes	165
2.3. Résultats.....	167
2.3.1. Quelles connaissances de la tuberculose et de sa surveillance ?	167
2.3.2. Les déterminants de la participation des acteurs au dispositif.....	167
2.3.2.1. Un sentiment d'utilité et de nécessité d'action vis-à-vis du monde agricole	167
2.3.2.2. Une surveillance au service de la science	168
2.3.2.3. Une pratique de loisirs permettant des moments de convivialité et le partage d'une passion.....	168
2.3.2.4. L'indemnisation : un élément non déterminant mais synonyme de reconnaissance	168
2.3.3. Les contraintes de fonctionnement et de participation au dispositif	169
2.3.3.1. Des contraintes pratiques, économiques et matérielles	169
2.3.3.2. Des contraintes réglementaires	171
2.3.3.3. Des contraintes relationnelles entre les acteurs du dispositif	172
2.3.3.4. L'animation, une activité indispensable mais chronophage	173
2.3.3.5. L'influence de facteurs exogènes au dispositif Sylvatub.....	174
2.3.4. Des acteurs principalement bénévoles : quelles conséquences ?	175
2.3.5. Un réseau d'acteurs récent : quels enjeux ?	176
2.3.5.1. Un contexte, des a priori et des incompréhensions handicapant le bon fonctionnement du dispositif et la mise en place de bonnes relations entre les acteurs ..	176
2.3.5.2. Les relations entre les acteurs cynégétiques et les éleveurs	177
2.3.5.3. Le positionnement difficile de la DDecPP.....	178
2.3.6. Les facteurs de maintien de la sensibilisation des acteurs à terme	179
2.3.6.1. Une attente de reconnaissance.....	179
2.3.6.2. Une attente d'information et de communication plus développée	179
2.3.6.3. Une attente d'une plus forte implication des éleveurs.....	180
2.3.6.4. Un maintien de la sensibilisation fortement dépendant du contexte local.....	180
2.3.6.5. Le duo « collecteur – animateur », clé du dynamisme local	181
2.3.6.6. Le relationnel, la clé d'une bonne surveillance	181
2.3.6.7. Une inquiétude quant à l'avenir.....	181
2.3.7. Le dispositif Sylvatub : quelle utilité ?	182
2.4. Discussion.....	183
2.4.1. Méthode d'évaluation qualitative par entretiens semi-directifs	183
2.4.2. Résultats et recommandations	184

CHAPITRE V. Discussion générale	187
I. L'évaluation du dispositif Sylvatub à l'aide de méthodes complémentaires	187
1.1. Enjeux de l'évaluation du dispositif Sylvatub.....	187
1.2. Synthèse des principaux résultats.....	188
1.3. Qualités et complémentarité des méthodes d'évaluation utilisées	190
1.4. Recommandations pour l'évaluation de dispositifs de surveillance complexes.....	195
II. Choix d'une méthode d'évaluation adaptée à la prise de décisions	200
2.1. Diversité des méthodes d'évaluation des dispositifs de surveillance en santé animale : avantage ou contrainte ?	200
2.2. L'importance de la prise en compte de critères socio-économiques dans l'évaluation des dispositifs de surveillance	201
2.3. L'émergence de guides pour les évaluateurs.....	204
2.3.1. Exemples de guides d'évaluation de la surveillance en santé animale.....	204
2.3.2. Limites des guides d'évaluation de la surveillance en santé animale	205
III. Perspectives	207
3.1. Perspectives méthodologiques sur l'évaluation de la surveillance en santé animale	207
3.2. Approfondissement de l'évaluation du dispositif Sylvatub	209
3.2.1. Approfondissement de l'évaluation quantitative par arbres de scénarios.....	209
3.2.1.1. Echelle géographique de l'évaluation	209
3.2.1.2. Echelle temporelle de l'évaluation.....	210
3.2.1.3. Evolution de la procédure diagnostique	210
3.2.1.4. Approfondissement de l'évaluation des coûts.....	211
3.2.1.5. Analyse de sensibilité	211
3.2.1.6. Evaluation de stratégies de surveillance alternatives	212
3.2.2. Approche dynamique	212
3.2.3. Evaluation de la qualité des données.....	212
3.2.4. Application d'autres méthodes d'évaluation quantitative	213
3.2.5. Approfondissement de l'acceptabilité de la surveillance par l'estimation des coûts et bénéfices non monétaires et une approche multicritères.....	213
3.3. Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose en élevage bovin	214
3.3.1. Contexte	214
3.3.2. Evaluation de la sensibilité du dispositif	214
3.3.3. Evaluation économique du dispositif	215
3.3.4. Evaluation socio-comportementale du réseau d'acteurs	216
3.3.5. Interconnexion entre l'évaluation de la surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin et dans la faune sauvage	216
CONCLUSION.....	217
BIBLIOGRAPHIE	219

INDEX DES ANNEXES

Annexe 1. Eléments à prendre en compte pour l'évaluation de dispositifs de surveillance.....	243
Annexe 2. Outils de dépistage et de diagnostic de la tuberculose bovine	245
Annexe 3. Synthèse des principales caractéristiques des espèces sauvages vis-à-vis de la tuberculose bovine à <i>M. bovis</i> dans quelques pays.....	247
Annexe 4. Article "Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013: a survey-based review"	249
Annexe 5. Questionnaire utilisé pour l'enquête européenne sur les méthodes de surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin	257
Annexe 6. Questionnaire utilisé pour l'enquête européenne sur les méthodes de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage libre.....	267
Annexe 7. Description des composantes de surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin dans les Etats Membres de l'U.E.	277
Annexe 8. Questionnaire utilisé pour l'estimation de paramètres dans la faune sauvage à l'aide de la méthode Delphi.....	281
Annexe 9. Article "Sensitivity of bovine tuberculosis surveillance in wildlife in France: a scenario tree approach"	287
Annexe 10. Estimation des coûts de la surveillance programmée dans différents départements....	305
Annexe 11. Résultats de sensibilité individuelle pour un animal infecté	311
Annexe 12. Evaluation économique des composantes de surveillance du dispositif Sylvatub.....	313
Annexe 13. Estimation des coûts réels et attendus du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et pour l'année 2014 (blaireaux).....	319
Annexe 14. Evaluation coût-efficacité de la surveillance par le dispositif Sylvatub	321
Annexe 15. Comparaison du nombre attendu estimé et du nombre réel d'animaux collectés par surveillance événementielle.....	323
Annexe 16. Probabilité de collecter des animaux indemnes par les différentes composantes du dispositif Sylvatub	325
Annexe 17. Acteurs enquêtés par entretien semi-directifs dans le cadre de l'analyse du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub	327

TABLE DES ABREVIATIONS

ACB	Analyse coût-bénéfice
ACCA	Association communale de chasse agréée
ACE	Analyse coût-efficacité
ACU	Analyse coût-utilité
Adilva	Association française des directeurs et cadres de laboratoires vétérinaires publics d'analyses
AEEMA	Association pour l'étude de l'épidémiologie des maladies animales
ALMA	Association de lutte contre les maladies des animaux
AMC	Analyse multicritères
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARYM	Ancienne République yougoslave de Macédoine
CDC	<i>Centers for disease control and prevention</i>
CDCFS	Commission départementale de la chasse et de la faune sauvage
CIREV	Cellule interrégionale d'épidémiologie vétérinaire
DALY	<i>Disability-adjusted life year</i>
DDCSPP	Direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations
DDecPP	Direction départementale en charge de la protection des populations
DDPP	Direction départementale de la protection des populations
DDT	Direction départementale des territoires
DDTM	Direction départementale des territoires et de la mer
DGAI	Direction générale de l'alimentation
ECDC	<i>European Centre for Disease Prevention and Control</i>
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FDC	Fédération départementale des chasseurs
FDGDON	Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles
FNC	Fédération nationale des chasseurs
GDS	Groupement de défense sanitaire
GDS France	Fédération nationale des groupements de défense sanitaire
GTV	Groupement technique vétérinaire
HACCP	<i>Hazard Analysis Critical Control Point</i>
HSR	Hypersensibilité retardée
IDC	Intradermotuberculination comparative
IDS	Intradermotuberculination simple
IFN- γ	Interféron-gamma
ITD	Interlocuteur technique départemental
LDA	Laboratoire départemental d'analyses
LIMS	<i>Laboratory Information Management System</i>
LL	Lieutenant de louveterie
LNR	Laboratoire national de référence
MAR	<i>Missing at random</i>
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
MICE	<i>Multiple imputation by chained equations</i>
OASIS	Outil d'Analyse de Système de Surveillance en Santé
OIE	Organisation mondiale de la santé animale
OMC	Organisation Mondiale du Commerce

OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONCFS	Office national de la chasse et de la faune sauvage
OVS	Organisme à vocation sanitaire
OVVT	Organisme vétérinaire à vocation technique
PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>
Plateforme ESA	Plateforme nationale d'épidémiosurveillance en santé animale
QALY	<i>Quality-adjusted life year</i>
SD ONCFS	Service départemental de l'ONCFS
SNAT	<i>Surveillance Network Assessment Tool</i>
SSC	Composante d'un système de surveillance (<i>Surveillance system component</i>)
UE	Union Européenne
USA	<i>United States of America</i>
VNTR	<i>Variable Number Tandem Repeat</i>

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Limite entre surveillance épidémiologique et mesures de lutte (d'après Dufour et Hendriks, 2011) .	27
Figure 2 : Diagramme de Venn représentant le croisement de deux sources de données (Vergne, 2012)	39
Figure 3 : Illustration schématique d'un arbre de scénarios.....	42
Figure 4 : Concept d'un modèle dynamique intégré épidémiologique et économique (d'après Rich, 2007)	52
Figure 5 : Situation européenne au regard de l'infection à <i>M. bovis</i> chez les bovins et dans la faune sauvage (en noir : réservoir avéré ; en gris : rôle épidémiologique inconnu) (Gortazar et al., 2012)	62
Figure 6 : Evolution de l'incidence et de la prévalence de la tuberculose bovine en France de 1995 à 2013 (Cavalerie et al., 2015).....	63
Figure 7 : Distribution par commune des foyers bovins incidents de 2000 à 2012 (ronds de couleur) et par département des foyers sauvages (Source DGAI)	64
Figure 8 : Surveillance de la tuberculose dans les élevages bovins des Etats Membres de l'U.E., de la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, selon le statut officiel des pays.....	67
Figure 9 : Etats Membres dans lesquels des animaux sauvages infectés par <i>M. bovis</i> ont déjà été détectés et surveillance effectuée sur des animaux sauvages au cours de l'année 2013, selon le statut officiel des pays.....	68
Figure 10 : Evolution des niveaux de risque départementaux entre 2011 et 2015 (Niveau 1 : blanc ; Niveau 2 : orange ; Niveau 3 : Rouge) (Source : Edouard Réveillaud, www.plateforme-esa.fr)	74
Figure 11 : Organigramme simplifié du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub (Rivière <i>et al.</i> , 2012)	74
Figure 12 : Arbre simplifié illustrant la surveillance de l'infection à <i>M. bovis</i> par examen de carcasse	101
Figure 13 : Arbre simplifié illustrant la surveillance de l'infection à <i>M. bovis</i> par le réseau Sagir.....	103
Figure 14 : Arbre simplifié illustrant la surveillance de l'infection à <i>M. bovis</i> par surveillance programmée	105
Figure 15 : Nombre de chasseurs (à gauche) et proportion de chasseurs formés à l'examen initial de la venaison (à droite) par département (Source : ONCFS, FNC).....	112
Figure 16 : Sensibilité collective moyenne de la surveillance par examen de carcasse pour la saison cynégétique 2013-2014	120
Figure 17 : Sensibilité collective moyenne de la surveillance par le réseau Sagir pour la saison cynégétique 2013-2014 pour le grand gibier et l'année civile 2014 pour les blaireaux	121
Figure 18 : Sensibilité collective moyenne par composante de surveillance et par département, quelles que soient l'espèce (hors blaireaux) et la classe d'âge des individus.....	122
Figure 19 : Ratio de sensibilités individuelles de la surveillance par examen de carcasse par rapport surveillance par le réseau Sagir, par espèce, niveau de risque et formation du chasseur (moyenne [IC _{95%}])....	123
Figure 20 : Sensibilité collective moyenne par espèce et par département, quelle que soit la composante de surveillance.....	124
Figure 21 : Sensibilité collective moyenne du dispositif Sylvatub (quelles que soient l'espèce –hors blaireaux– et la composante de surveillance).....	125
Figure 22 : Coûts totaux unitaires estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, par composante de surveillance, espèce et niveau de risque, prenant en compte la probabilité d'infection fixée dans le modèle (en euros) (moyenne [IC _{95%}]).....	126
Figure 23 : Coûts réels moyens estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et l'année 2014 (blaireaux), par département, en fonction des niveaux de risque appliqués pour la période considérée (en euros).....	127
Figure 24 : Ratio coût-efficacité* de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un animal infecté, par composante, niveau de risque et espèce animale (moyenne [IC _{95%}]).....	130
Figure 25 : Ratio coût-efficacité par composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale, en fonction de la prévalence limite et d'un nombre attendu d'animaux collectés (moyenne [IC _{95%}])	131
Figure 26 : Ratio de sensibilités individuelles de la surveillance par examen de carcasse réalisée par un chasseur formé à l'examen initial de la venaison, par rapport à un chasseur non formé, par espèce et niveau de risque (moyenne, IC _{95%}).....	146

Figure 27 : Comparaison entre le nombre attendu moyen d’animaux devant être collectés par surveillance événementielle (examen de carcasse et Sagir) estimé par notre modèle et le nombre d’animaux réellement collectés pour la saison 2013-2014 ; ratio de déclaration correspondant	152
Figure 28 : Résultats de l’évaluation de la surveillance du dispositif Sylvatub selon les dix sections fonctionnelles d’un dispositif de surveillance (représentation de la proportion de satisfaction de chaque section en noir)	156
Figure 29 : Résultats de l’évaluation de la surveillance du dispositif Sylvatub selon les sept points critiques d’un dispositif de surveillance	156
Figure 30 : Résultats de l’évaluation de la surveillance du dispositif Sylvatub selon dix attributs d’un dispositif de surveillance (représentation de la proportion de satisfaction pour chaque attribut)	156

Annexes

Figure 31 : Ratio coût-efficacité de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un animal infecté et pour un chasseur non formé à l’examen initial de la venaison, par composante, niveau de risque et espèce animale (moyenne [IC _{95%}])	321
Figure 32 : Nombre attendu moyen de suspicions par examen de carcasse estimé par notre modèle en 2013-2014, selon l’espèce, la densité, la proportion de chasseurs formés par département et le niveau de risque.....	323
Figure 33 : Nombre attendu moyen d’animaux devant être collectés par le réseau Sagir estimé par notre modèle en 2013-2014, selon l’espèce, la densité et le niveau de risque	324

INDEX DES TABLES

Tableau 1 : Synthèse des principaux éléments à prendre en compte pour la conception de dispositifs de surveillance.....	29
Tableau 2 : Tableau de contingence représentant le croisement de deux sources de données (Vergne, 2012) .	39
Tableau 3 : Revue des études utilisant la modélisation par arbres de scénarios en santé animale.....	43
Tableau 4 : Revue d'études utilisant la modélisation par arbres de scénarios en santé animale et incluant un aspect économique	44
Tableau 5 : Surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre dans les Etats Membres, en Suisse, en Norvège et en Macédoine, au cours de l'année 2013.....	69
Tableau 6 : Composantes de surveillance du dispositif Sylvatub appliquées en fonction du niveau de risque estimé (Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 du 29 juillet 2013)	73
Tableau 7 : Définition des niveaux de risque utilisés dans le dispositif Sylvatub (Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 du 29 juillet 2013)	74
Tableau 8 : Activités de surveillance indemnisées dans le cadre du dispositif Sylvatub	79
Tableau 9 : Caractéristiques des experts contactés et ayant participé à l'estimation de certains paramètres par la méthode Delphi (nombre de répondants / nombre d'experts contactés).....	89
Tableau 10 : Postes économiques spécifiques de la surveillance événementielle par examen de carcasse (Source : Convention DGAL-FNC 2013, article 2)	94
Tableau 11 : Coûts unitaires communs aux différentes composantes du dispositif Sylvatub (Sources : Convention DGAL-Adilva 2013 ; Convention Adilva-LNR 2012)	96
Tableau 12 : Postes économiques spécifiques de la surveillance par le renforcement du réseau Sagir	96
Tableau 13 : Postes économiques spécifiques de la surveillance programmée (Sources : conventions locales)	97
Tableau 14 : Estimations locales de densités de blaireaux dans certains départements français	106
Tableau 15 : Proportions de jeunes et d'adultes dans la population générale, selon l'espèce animale	107
Tableau 16 : Prévalences limites appliquées en fonction du niveau de risque, de l'espèce et de la classe d'âge	109
Tableau 17 : Probabilités associées à la présence et à la détection de lésions évocatrices de tuberculose lors de l'autopsie d'un animal sauvage au LDA selon son statut infectieux, son espèce et sa classe d'âge.....	109
Tableau 18 : 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	110
Tableau 19 : Probabilité qu'un animal sauvage soit tué à la chasse selon sa classe d'âge.....	111
Tableau 20 : Probabilité de présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose en fonction de l'espèce, de la classe d'âge et du statut infectieux des animaux	111
Tableau 21 : Probabilité de détection des lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose en fonction de l'espèce, de la formation du chasseur et du niveau de risque départemental	112
Tableau 22 : Probabilité d'être mort ou mourant selon l'espèce et la classe d'âge des individus	113
Tableau 23 : Probabilité de détection d'un animal mort ou mourant selon l'espèce	114
Tableau 24 : Probabilité de collecte d'un animal mort ou mourant selon l'espèce, la classe d'âge et le niveau de risque du département	114
Tableau 25 : Coût unitaire des analyses de laboratoire (incluant les frais de transport), en fonction de l'agrément du laboratoire de proximité et des analyses réalisées (en euros)	115
Tableau 26 : Probabilité de détecter l'infection sur un animal sauvage tué à la chasse, mort ou mourant ou échantillonné en surveillance programmée selon l'espèce, la classe d'âge, le niveau de risque du département et la formation du chasseur réalisant l'inspection (moyenne [IC _{95%}])	119
Tableau 27 : Sensibilité collective de la surveillance programmée en niveau 2 et 3 (d'après l'échantillonnage prescrit par la Note de Service DGAL/SDSPA/N2013-8129) (moyenne [IC _{95%}])	122
Tableau 28 : Coûts totaux unitaires estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, par composante de surveillance, espèce, niveau de risque et statut infectieux (en euros) (moyenne [IC _{95%}]).....	126
Tableau 29 : Nombre attendu moyen d'animaux collectés par composante de surveillance, niveau de risque et espèce, modélisé par des lois de distribution de type Pert	128

Tableau 30 : Coûts attendus moyens annuels estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un département, par composante et niveau de risque (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	129
Tableau 31 : Méthode d'évaluation Oasis et spécificités de la variante Flash (Rivière <i>et al.</i> , 2015)	155

Annexes

Tableau 32 : Principaux critères d'évaluation par aspect d'un dispositif de surveillance	243
Tableau 33 : Performances des principaux outils de dépistage et diagnostic de la tuberculose bovine	245
Tableau 34 : Synthèse des principales caractéristiques des espèces sauvages vis-à-vis de la tuberculose bovine à <i>M. bovis</i> dans quelques pays européens.....	247
Tableau 35 : Synthèse des principales caractéristiques des espèces sauvages vis-à-vis de la tuberculose bovine à <i>M. bovis</i> dans quelques pays hors Europe	248
Tableau 36 : Description du dépistage périodique en élevage réalisé dans les Etats Membres de l'U.E., la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, par statut officiel (Nombre de pays participants ayant déclaré effectuer cette surveillance / nombre de pays participants)	277
Tableau 37 : Description de la surveillance aux mouvements réalisée dans les Etats Membres de l'U.E., la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, par statut officiel (Nombre de pays participants ayant déclaré effectuer cette surveillance / nombre de pays participants)	278
Tableau 38 : Description de la surveillance <i>post-mortem</i> à l'abattoir réalisée dans les Etats Membre de l'U.E., la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, par statut officiel (Nombre de pays participants ayant déclaré effectuer cette surveillance / nombre de pays participants)	279
Tableau 39 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée en 2013 pour la DDPP de Haute-Garonne (niveau 2) (Sources : convention locale ; Durand, 2015a).....	305
Tableau 40 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée et de la régulation en 2014 pour la DDCSPP de Dordogne (niveau 3).....	306
Tableau 41 : Coût unitaire moyen estimé de la surveillance programmée et de la régulation (lutte) en Dordogne (Sources : convention locale ; Durand, 2015a).....	306
Tableau 42 : Répartition des coûts inhérents à l'animation et à la collecte en Dordogne, par espèce	307
Tableau 43 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée et de la régulation en 2014 pour la DDCSPP de Côte d'Or (niveau 3)	308
Tableau 44 : Coût unitaire moyen estimé de la surveillance programmée et de la régulation (lutte) en Cote d'Or (Sources : convention locale ; Durand, 2015a).....	308
Tableau 45 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée et de la régulation en 2014 pour les DDCSPP des Pyrénées-Atlantiques et des Landes (niveau 3)	309
Tableau 46 : Coût unitaire moyen estimé de la surveillance programmée et de la régulation dans les Pyrénées-Atlantiques et les Landes.....	309
Tableau 47 : Probabilité de détecter un animal sauvage infecté selon la composante de surveillance, le niveau de risque et l'espèce animale (moyenne [IC _{95%}])	311
Tableau 48 : Coûts unitaires des analyses de recherche de <i>M. bovis</i> (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	313
Tableau 49 : Coût unitaire moyen probable des analyses réalisées au LDA, prenant en compte la probabilité de présence de lésions évocatrices de tuberculose selon l'espèce et le statut infectieux (pondérée par classe d'âge), par type d'agrément (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	313
Tableau 50 : Coût unitaire moyen probable des analyses diagnostiques de recherche de <i>M. bovis</i> , selon l'espèce et le statut infectieux, par type d'agrément, prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention d'un résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (culture seule ou PCR et culture) (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	314
Tableau 51 : Coût unitaire moyen probable des analyses diagnostiques de recherche de <i>M. bovis</i> , par niveau de risques et espèce (pondéré par classe d'âge et probabilités d'infections), par type d'agrément, prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention d'un résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (culture seule ou PCR et culture) (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	314
Tableau 52 : Coûts totaux unitaires minimum et maximum de la surveillance par examen de carcasse (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	315

Tableau 53 : Coût total unitaire de la surveillance par examen de carcasse prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	315
Tableau 54 : Coût total unitaire probable de la surveillance par examen de carcasse prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux et la proportion estimée de LDA agréés par niveau de risque (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	315
Tableau 55 : Coût total unitaire probable de la surveillance par examen de carcasse, selon l'espèce et la probabilité d'infection (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC _{95%}]).....	315
Tableau 56 : Coûts totaux unitaires minimum et maximum de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans un département de niveau 3 (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	316
Tableau 57 : Coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans un département de niveau 3, selon l'espèce et le statut infectieux (pondéré par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC _{95%}]).....	316
Tableau 58 : Coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux et la proportion estimée de LDA agréés par niveau de risque (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	316
Tableau 59 : Coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans les départements de niveau 2 et 3, selon l'espèce et la probabilité d'infection (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	317
Tableau 60 : Coûts totaux unitaires minimum et maximum de la surveillance programmée, par espèce et niveau de risque (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	317
Tableau 61 : Coût total unitaire moyen probable de la surveillance programmée, selon le niveau de risque, l'espèce et le statut infectieux (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	317
Tableau 62 : Coût total unitaire de la surveillance programmée prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux et la proportion estimée de LDA agréés par niveau de risque (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	318
Tableau 63 : Coût total unitaire probable de la surveillance programmée dans les départements de niveau 2 et 3, selon l'espèce et la probabilité d'infection (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	318
Tableau 64 : Coûts totaux unitaires estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, par composante de surveillance, espèce, niveau de risque et statut infectieux (en euros) (moyenne [IC _{95%}]).....	318
Tableau 65 : Comparaison des coûts réels et des coûts attendus estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et l'année 2014 (blaireaux), par composante, niveau de risque et espèce (en euros) (moyenne [IC _{95%}])	319
Tableau 66 : Ratio coût-efficacité médian de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un animal infecté, par composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale	322
Tableau 67 : Probabilité de détecter et collecter un animal sauvage indemne selon la composante de surveillance, le niveau de risque, et l'espèce animale (moyenne [IC _{95%}])	325
Tableau 68 : Probabilité qu'un animal sauvage soit indemne et collecté pour analyse, selon la couverture de population de chaque composante, l'espèce et le niveau de risque (moyenne [IC _{95%}])	325
Tableau 69 : Caractéristiques principales des personnes enquêtées dans le cadre de l'analyse du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub (Durand, 2015b)	327

INTRODUCTION

Les crises sanitaires, comme celle de l'encéphalopathie spongiforme bovine, ou, plus récemment, celle de l'influenza aviaire à virus H5N1, ont souligné l'importance de la surveillance des maladies animales, notamment lorsqu'elles ont un impact direct ou indirect sur la santé humaine, la santé et le bien-être animal, ou l'économie. L'augmentation du commerce et des mouvements de personnes, animaux ou matériels, aux échelles nationale, régionale ou internationale, le développement de programmes de conservation de la biodiversité, l'intensification des interactions entre les hommes et la faune sauvage, sont autant de facteurs de risque de diffusion de maladies animales ou d'introduction de nouvelles maladies sur un territoire. Ces facteurs ont ainsi contribué au besoin croissant de développer des dispositifs de surveillance organisés et structurés afin de faciliter la collecte des données, leur analyse et interprétation, ainsi que la diffusion et l'échange d'informations sur la situation sanitaire aux échelles nationale, régionale et internationale.

L'objectif des dispositifs de surveillance est de produire des données de qualité, fiables, permettant de prendre des décisions sanitaires appropriées pour la gestion des maladies. Toutefois, la surveillance des maladies animales doit faire face à des enjeux sociaux, culturels, environnementaux, économiques et politiques, et doit être dynamique, adaptative et flexible au cours du temps. Par ailleurs, les ressources humaines, matérielles et financières nécessaires pour assurer la conception et la mise en œuvre de la surveillance sont actuellement de plus en plus limitées : il devient donc indispensable de hiérarchiser les priorités de la surveillance, afin d'optimiser son rapport coût-efficacité en allouant les ressources de manière efficace et efficiente.

Une évaluation régulière des dispositifs de surveillance, sur lesquels sont fondées les décisions sanitaires, est donc indispensable pour vérifier leur bon fonctionnement, la qualité des données collectées et permettre, dans la mesure du possible, leur amélioration à travers la formulation de recommandations d'évolution. Il existe ainsi différentes méthodes d'évaluation, qui dépendent principalement des objectifs de l'évaluation et des caractéristiques du dispositif étudié, ces méthodes pouvant être complémentaires.

L'évaluation de dispositifs de surveillance complexes, qui reposent sur plusieurs composantes de surveillance, appliquées à plusieurs populations domestiques et/ou sauvages, et font intervenir un large réseau d'acteurs et de multiples sources de données, suscite toutefois des questions méthodologiques particulières. Ainsi, la problématique générale de ce travail de thèse était la suivante : « **comment évaluer des dispositifs de surveillance complexes et optimiser leur efficience ?** ».

Pour répondre à cette question, nous avons choisi d'étudier le dispositif de surveillance de la tuberculose à *Mycobacterium bovis* (*M. bovis*) dans la faune sauvage libre en France. En effet, ce dispositif, mis en place en 2011 par le ministère en charge de l'Agriculture, repose sur une combinaison de plusieurs composantes de surveillance événementielle et programmée, pouvant être appliquées seules ou de manière combinée selon une analyse de risque locale et concernant diverses espèces animales sauvages (Sanglier [*Sus scrofa*], Cerf [*Cervus elaphus*], Chevreuil [*Capreolus capreolus*], Blaireau [*Meles meles*]). Ainsi, face à ce nouveau dispositif et dans le contexte

économique contraint actuel, l'évaluation de la sensibilité de ce dispositif, au regard de ses objectifs, de ses contraintes et de l'investissement humain et financier nécessaire, paraissait essentielle.

La tuberculose bovine, maladie bactérienne majoritairement causée par *M. bovis*, est reconnue comme un danger particulier à l'interface entre l'Homme, les animaux domestiques et la faune sauvage. Depuis plusieurs dizaines d'années, les pays développés s'emploient à maîtriser, voire à éradiquer, cette maladie dans le cheptel bovin. Malgré ces efforts importants, elle demeure un problème sanitaire, économique et zoonotique d'actualité, car certains pays ont du mal à achever son éradication, et le niveau d'infection est même en hausse dans certains d'entre eux comme la Grande-Bretagne ou la France. L'existence d'animaux sauvages infectés complique encore son éradication, certaines espèces pouvant jouer le rôle de réservoir et ainsi de source de contamination pour les bovins.

La surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage se heurte à des contraintes particulières, qu'elles soient inhérentes à la surveillance sanitaire de la faune sauvage ou spécifiquement liées à la surveillance de la tuberculose : manque de connaissances sur les populations cibles, surveillance souvent exclusivement événementielle reposant sur des acteurs majoritairement bénévoles, mauvaise corrélation entre lésions et statut infectieux, performance limitée des tests de dépistage et de diagnostic, échantillonnage complexe en raison des difficultés opérationnelles d'accès aux animaux, etc. Par ailleurs, la surveillance des maladies de la faune sauvage nécessite une collaboration pluridisciplinaire entre les services de l'Etat, les vétérinaires, les éleveurs, les chasseurs, les associations de protection de la nature ou de l'environnement et les laboratoires ; groupes d'acteurs ayant parfois des intérêts divergents, ce qui peut compliquer la mise en œuvre voire l'acceptabilité de la surveillance.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons dans un premier temps effectué une revue des différentes méthodes d'évaluation en santé animale (chapitre I) et présenté la tuberculose, sa surveillance et ses enjeux (chapitre II). L'évaluation coût-efficacité du dispositif Sylvatub à l'aide d'une méthode quantitative par arbres de scénarios est présentée dans le chapitre III. Cette méthode permet de réaliser une évaluation du dispositif de surveillance dans son contexte environnemental et économique, et de prendre en compte des facteurs comportementaux et sociaux (motivation, connaissance, peur des conséquences) qui peuvent influencer la déclaration et la participation au dispositif. Des méthodes complémentaires d'évaluation sont présentées dans le chapitre IV : une méthode semi-quantitative permettant l'évaluation du fonctionnement et de divers attributs du dispositif (méthode Oasis) et une méthode qualitative permettant l'investigation de l'acceptabilité de la surveillance et des facteurs motivationnels ou bloquants qui influencent l'implication des acteurs dans le dispositif. Enfin, le chapitre V propose une discussion générale sur ce travail, les méthodes d'évaluation utilisées et leur complémentarité, et présente les perspectives à court et moyen termes pouvant donner une suite à cette étude.

CHAPITRE I.

La surveillance en santé animale : enjeux et évaluation

I. La surveillance épidémiologique en santé animale

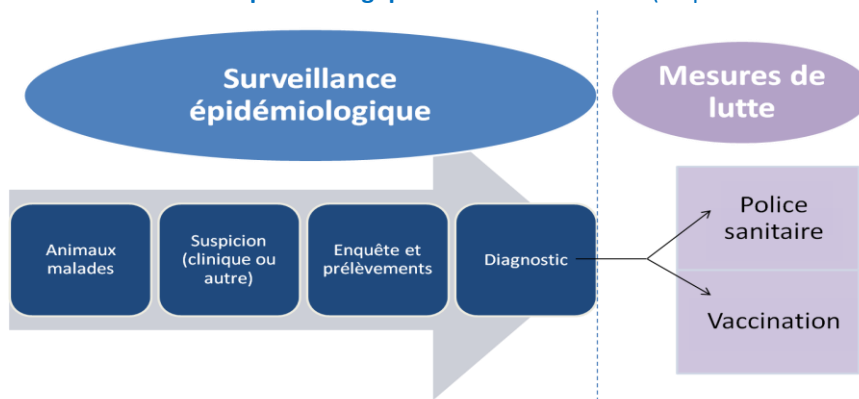
1.1. Définition de la surveillance épidémiologique

La surveillance en santé publique a été définie dans les années 1950 par les Centers for Disease Control (CDC) États-Uniens comme « *un processus systématique de collecte, d'analyse et d'interprétation de données sur des événements de santé spécifiques importants pour la planification, la mise en œuvre et l'évaluation des pratiques en santé publique, étroitement associées à leur juste diffusion à ceux qui ont besoin d'être informés* » (Langmuir, 1963), définition actuellement communément admise en santé publique.

La surveillance épidémiologique en santé animale a été définie comme « *une méthode d'observation, fondée sur des enregistrements, permettant de suivre de manière régulière et prolongée l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace, en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte* » (Toma et al., 1999).

De ces définitions découlent des notions particulièrement importantes : d'une part, la surveillance doit être réalisée de manière continue afin d'assurer le suivi de l'évolution des maladies ou infections dans le temps et dans l'espace, et relève du domaine de l'épidémiologie descriptive. Par ailleurs, la surveillance doit fournir des informations permettant la mise en œuvre de mesures de lutte appropriées : les mesures d'intervention et de contrôle sont donc des actions dissociées de la surveillance (Dufour et Hendriks, 2011) (Figure 1).

Figure 1 : Limite entre surveillance épidémiologique et mesures de lutte (d'après Dufour et Hendriks, 2011)



La surveillance épidémiologique peut ainsi être considérée comme un outil scientifique qui fournit des informations factuelles pour les décisions sanitaires ou politiques et pour l'allocation de ressources financières pour le contrôle de maladies (Häsler *et al.*, 2011a), et qui s'inscrit dans une démarche de communication et de retour d'informations vers les acteurs et partenaires du dispositif (Dufour et Hendrikx, 2011).

1.2. Les dispositifs de surveillance et leurs objectifs

Comme défini précédemment, la surveillance épidémiologique est un outil d'aide à la décision en matière de santé, permettant la prise de décisions sanitaires appropriées grâce à l'amélioration de la connaissance des situations épidémiologiques. Cet objectif général est souvent complété par des objectifs secondaires, spécifiques des agents pathogènes surveillés et dépendant des pays et du contexte dans lesquels cette surveillance est mise en œuvre (Morris, 1991 ; Dufour et La Vieille, 2000 ; Dufour et Hendrikx, 2011) :

- Estimer l'importance d'un problème de santé (incidence, prévalence, pertes économiques, ...) afin d'aider au choix de mesures de lutte appropriées ;
- Suivre les tendances spatio-temporelles d'une maladie, notamment pour évaluer les résultats d'un plan de lutte par le suivi de la situation épidémiologique ;
- Détecter de manière précoce l'introduction, l'émergence ou la réémergence d'un agent pathogène ou d'une maladie ;
- Hiérarchiser l'importance sanitaire et/ou économique de différentes maladies sévissant sur un même territoire afin de hiérarchiser les actions sanitaires ;
- Identifier et caractériser les strates de la population surveillée les plus sensibles ;
- Détecter des modifications d'agents infectieux (émergence d'un nouveau variant ou sérotype, comme dans le cas de la fièvre aphteuse ou de la fièvre catarrhale ovine par exemple) ;
- Prouver qu'un territoire est indemne d'une maladie particulière ;
- Etc.

La définition des objectifs spécifiques de la surveillance est une étape indispensable à la conception et à la mise en œuvre des dispositifs assurant la surveillance, et doit être réalisée en accord avec tous les participants (Morris, 1991). D'après Häsler *et al.* (2011a), les objectifs de la surveillance sont en étroite relation avec les mesures de lutte mises en œuvre : ainsi, les dispositifs de surveillance ne dépendent pas uniquement du contexte épidémiologique de la maladie, mais sont également liés à l'efficacité des mesures de lutte et aux objectifs poursuivis par les gestionnaires (Rich *et al.*, 2013).

La surveillance épidémiologique est assurée par des dispositifs ou des réseaux de surveillance, définis comme « l'ensemble des personnes et des organismes structuré pour assurer la surveillance sur un territoire donné d'une ou plusieurs entités pathologiques » (Dufour et Hendrikx, 2011). Le **Tableau 1** présente différents éléments à prendre en compte lors de la conception d'un dispositif de surveillance et pouvant être utilisés pour leur classification. Ce tableau est une synthèse d'éléments de la littérature avec des exemples illustratifs (Morris, 1991 ; Hueston, 1993 ; Dufour et Audigé, 1997 ; Dufour, 1999 ; Hoinville *et al.*, 2009 ; Dufour et Hendrikx, 2011 ; Hoinville, 2013), mais ne constitue pas une liste exhaustive.

Tableau 1 : Synthèse des principaux éléments à prendre en compte pour la conception de dispositifs de surveillance

Aspects du dispositif		Critères
Objectifs	Objectif de la surveillance	Détection précoce ; détection de cas ; description du niveau d'infection (suivi épidémiologique) ; prouver qu'une zone est indemne
	Objectif des mesures de lutte*	Suivi de plan de lutte ; hiérarchisation de maladies ; gestion de foyers ; informations pour le commerce
Maladie surveillée	Nombre de maladies*	Une ou plusieurs, définies : système « ciblé » Plusieurs (maladies ou syndromes) : système « global »
	Type de maladie*	Maladie présente (enzootique, épizootique) ou absente du territoire (exotique, émergente)
Population surveillée	Caractéristiques intrinsèques	Espèce (filière), âge, type d'élevage, ...
	Définition du « cas »	Signes cliniques (animaux vivants ou morts), syndromes ; lésions macroscopiques ; analyses de laboratoire ; indicateurs indirects (production, ...)
	Zone géographique*	Locale, régionale, nationale, internationale ; zones définies comme étant « à risque »
Collecte des données	Type de surveillance*	Programmée, événementielle, événementielle renforcée
	Echantillonnage*	Exhaustif, aléatoire, volontaire, méthodes participatives Basé sur le risque (probabilité d'exposition, d'infection, de transmission, de détection, ...)
	Source de données	Éleveur, vétérinaire, abattoir, laboratoire, industrie agro-alimentaire...
Gestion des données	Saisie et centralisation des données*	Saisie centralisée ou décentralisée Base de données ou fichiers de données
	Traitement	Nettoyage et validation des données Méthode d'analyse des données
	Interprétation	
	Modalités de diffusion	
Structure organisationnelle	Groupes d'acteurs	Propriétaires d'animaux, laboratoires...
	Dépendance à d'autres systèmes*	Système autonome ou intégré
	Communication	Communication interne (retour d'information aux acteurs) ; communication externe

* Éléments pouvant également être utilisés pour la classification des dispositifs de surveillance

1.3. Les enjeux de la surveillance épidémiologique en santé animale

Les animaux, qu'ils soient domestiques ou sauvages, occupent une place particulière au sein des sociétés humaines, leur place relative variant selon les pays, dépendant à la fois de critères culturels, économiques et sociaux. Les crises sanitaires, comme celle de l'encéphalopathie spongiforme bovine, ou, plus récemment, celle de l'influenza aviaire à virus H5N1, ont souligné l'importance de la surveillance des maladies animales.

L'importance des maladies animales est définie par leur impact direct ou indirect sur la santé humaine, la santé et le bien-être animal ou sur l'économie ; la surveillance des maladies zoonotiques présentant un enjeu particulier de protection de la santé publique. La majorité (60 %) des maladies infectieuses émergentes chez les hommes sont dues à des agents zoonotiques (Taylor *et al.*, 2001), et 72 % d'entre eux ont une origine sauvage (Merianos, 2007). Pour des agents communs aux populations domestiques et sauvages, la surveillance des populations sauvages devient ainsi nécessaire afin d'assurer l'efficacité du contrôle des maladies dans les populations domestiques.

L'augmentation du commerce et des mouvements de personnes, animaux ou matériels, aux échelles nationale, régionale ou internationale, le développement récent de programmes de conservation de la biodiversité, l'intensification des interactions entre les hommes et la faune sauvage, sont autant de facteurs de risque de diffusion de maladies animales ou d'introduction de nouvelles maladies sur un territoire. Ce phénomène s'est accentué depuis la création de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), le 1^{er} janvier 1995, proclamant une ouverture du marché mondial. Des accords sanitaires et phytosanitaires (SPS) ont été conclus (OMC, 1995), définissant des règles sur la sécurité des aliments et des standards en santé animale et végétale, permettant ainsi une augmentation du commerce des produits agricoles et la protection des santé humaine, animale et végétale. D'après ces accords, les mesures prises par les pays pour contrôler les risques doivent être fondées sur des preuves scientifiques : la surveillance épidémiologique est donc au cœur des décisions inhérentes au commerce des animaux et denrées d'origine animale (Zepeda *et al.*, 2001), en fournissant aux décideurs des informations sur la fréquence ou la répartition géographique des maladies.

Ces éléments ont contribué au besoin croissant de développer des dispositifs de surveillance organisés et structurés afin de faciliter la collecte des données, leur analyse et interprétation, ainsi que la diffusion et l'échange d'informations sur la situation sanitaire aux échelles nationale, régionale et internationale.

La surveillance des maladies animales, qu'elles affectent les populations domestiques, sauvages ou même humaines, doit ainsi faire face à des enjeux sociaux, culturels, environnementaux, économiques et politiques (Risksur, 2013), et doit être dynamique, adaptative et flexible au cours du temps (Häsler *et al.*, 2011a).

1.4. Les défis de la surveillance épidémiologique en santé animale

Les ressources humaines, matérielles et financières nécessaires pour assurer la conception et la mise en œuvre de la surveillance sont actuellement de plus en plus limitées : il est donc indispensable de hiérarchiser les priorités de la surveillance, afin d'augmenter son rapport coût-efficacité en allouant les ressources de manière efficace et efficiente (Stärk *et al.*, 2006). Cette considération économique a notamment conduit au développement de nouvelles méthodes de surveillance, comme la surveillance ciblée (Defra, 2011), souvent basée sur le risque (Stärk *et al.*, 2006), ou encore la surveillance participative (surveillance fondée sur des concepts épidémiologiques traditionnels mais qui utilise des méthodes participatives permettant aux acteurs de jouer un rôle actif dans la définition et l'analyse du problème qu'ils peuvent rencontrer et dans sa solution, à des degrés divers ; Jost *et al.*, 2007 ; Calba *et al.*, 2014).

La surveillance basée sur le risque prend en compte le fait que certains groupes de la population sont plus à risque d'être infectés par l'agent pathogène surveillé et se fonde sur un échantillonnage ciblé sur ces groupes, afin de rationaliser l'utilisation des ressources humaines et financières par rapport à un échantillonnage aléatoire traditionnel (Stärk *et al.*, 2006). L'évaluation de ce type de surveillance a montré que son efficacité (rapport entre les résultats obtenus et les objectifs fixés) est équivalente ou supérieure à celle des systèmes classiques, et que son efficience (rapport entre les résultats obtenus et les ressources mises en œuvre pour atteindre ces résultats) est supérieure (Stärk *et al.*, 2006 ; Reist *et al.*, 2012). Cette méthode permet en effet de diminuer les tailles d'échantillons, tout en augmentant la probabilité de détection des cas. L'utilisation d'une surveillance basée sur le risque pour démontrer le statut indemne de rhinotrachéite infectieuse bovine et de leucose bovine enzootique en Suisse a ainsi par exemple permis d'économiser six millions d'euros par rapport à un échantillonnage aléatoire stratifié (Reist *et al.*, 2012). Ce type de surveillance nécessite toutefois des connaissances préalables, notamment épidémiologiques (différence d'occurrence dans les sous-populations et principaux facteurs de risque d'exposition ou d'infection), qui résultent d'études préalables (études analytiques ou dispositifs de surveillance traditionnels).

Concernant les maladies de la faune sauvage, il n'existe actuellement pas de système universel de surveillance, en raison de difficultés spécifiques, telles qu'un manque de connaissances sur les populations cibles, des difficultés inhérentes à la mise en œuvre opérationnelle d'un échantillonnage adapté en termes de contraintes structurelles, financières, humaines ou matérielles (Wobeser, 1994 ; Artois, 2003 ; Hars *et al.*, 2013b).

Le manque potentiel de connaissances éco-éthologiques des espèces concernées suscite, en effet, des difficultés pour l'estimation des densités et des interactions éventuelles entre les espèces sauvages et entre les espèces domestiques et sauvages. Par ailleurs, d'un point de vue pratique, la difficulté d'accès aux animaux sauvages représente un obstacle pour l'observation de signes cliniques ou pour la réalisation de prélèvements. Les techniques d'échantillonnage utilisées présentent

souvent des biais de sélection, conduisant à prélever préférentiellement certains individus (animaux chassés sélectivement en termes d'âge et de sexe, animaux morts ou moribonds facilement accessibles, ...) et à sur-ou sous- représenter certaines strates de la population. L'échantillonnage est donc davantage opportuniste qu'aléatoire, ce qui peut engendrer des biais et limiter l'inférence des résultats à la population (Fromont et Rossi, 2000). Des biais de mesure peuvent également survenir, les outils de dépistage et de diagnostic utilisés étant souvent dérivés de leur utilisation chez les animaux domestiques et présentant des sensibilités et des spécificités inconnues.

Par ailleurs, la surveillance des maladies de la faune sauvage nécessite une collaboration pluridisciplinaire entre écologues, éthologistes, épidémiologistes et gestionnaires. Une bonne perception par l'opinion publique des opérations conduites est également importante pour une surveillance effective sur le long terme (Belant et Deese, 2010), car la faune sauvage est souvent considérée comme une ressource partagée publiquement, dont les efforts de conservation doivent faire face à des opinions parfois divergentes de différents groupes d'intérêt.

Enfin, la communication entre scientifiques et décisionnaires est indispensable à toutes les étapes de la surveillance (Nusser *et al.*, 2008). La communication auprès des acteurs et partenaires du dispositif (fournisseurs de données, propriétaires d'animaux, laboratoires, professionnels de la santé animale, etc.), et notamment le retour d'informations, permet d'encourager et de maintenir leur participation au dispositif de surveillance : l'augmentation de la sensibilisation des acteurs permet ainsi d'améliorer à la fois la sensibilité et la spécificité du dispositif. La compréhension des motivations et des freins à la participation et à la déclaration est donc un point critique pour assurer le bon fonctionnement de la surveillance, impliquant la prise en compte de facteurs socio-comportementaux (facteurs « inhibiteurs », par exemple la peur des conséquences économiques ou sanitaires ; facteurs « favorisants », par exemple l'indemnisation financière de certains actes ou un retour régulier d'information). Le comportement des acteurs de terrain doit donc être compris et influencé positivement pour optimiser la stratégie de surveillance (Hoinville *et al.*, 2009).

Il existe donc une grande diversité des dispositifs de surveillance en santé animale, en fonction des objectifs de la surveillance, des agents pathogènes et des populations surveillées, des modalités de surveillance mises en œuvre (événementielle, programmée), et des acteurs impliqués dans le dispositif. Toutefois, l'échantillonnage étant souvent complexe, notamment pour la surveillance des populations sauvages, et les outils de dépistage et de diagnostic étant souvent imparfaits, il est nécessaire d'évaluer régulièrement ces dispositifs de surveillance, de manière la plus objective possible, afin de s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur efficacité.

II. Evaluation des dispositifs de surveillance en santé animale

Le but des dispositifs de surveillance est de produire des données de qualité, fiables, afin de prendre des décisions sanitaires appropriées. Une évaluation de ces dispositifs est nécessaire pour vérifier leur bon fonctionnement, la qualité des données collectées et permettre, dans la mesure du possible, leur amélioration. Considérant que les dispositifs de surveillance sont soumis à des changements de contextes et de contraintes continus, qu'ils soient épidémiologiques, écologiques, économiques, sociaux ou environnementaux, il est essentiel d'effectuer cette évaluation de manière régulière et périodique (Shahab, 2009 ; Risksur, 2013). L'évaluation doit permettre la formulation de recommandations pour améliorer la qualité du dispositif, son efficacité et son utilité (German *et al.*, 2001) et doit être réalisée de manière transparente et le plus objectivement possible (Dufour et La Vieille, 2000 ; Stärk *et al.*, 2002 ; Salman, 2003 ; Dufour *et al.*, 2006).

Il existe différentes méthodes d'évaluation des activités de santé, qui dépendent principalement des objectifs de l'évaluation et des caractéristiques du dispositif étudié (Drummond *et al.*, 1997), ces méthodes pouvant être complémentaires. L'évaluation est considérée « partielle » si l'analyse ne concerne que les coûts (simple description des coûts ou analyse des coûts en cas de comparaison de plusieurs stratégies) ou les conséquences d'un programme de santé, qu'elles soient épidémiologiques ou sociologiques (simple description des conséquences comme le nombre de foyers observés, le taux de morbidité ou de mortalité par exemple, évaluation de l'efficacité d'un dispositif de surveillance en cas de comparaison de plusieurs scénarios). L'évaluation est également dite partielle si l'analyse concerne les conséquences et les coûts d'un dispositif, mais ne permet pas de comparaison de scénarios, ou si les conséquences épidémiologiques des stratégies étudiées sont équivalentes (analyse de minimisation des coûts). L'évaluation est considérée « complète » si l'analyse prend en compte à la fois les coûts et les conséquences d'un dispositif et permet la comparaison de plusieurs stratégies.

Les méthodes d'évaluation peuvent être classées selon la manière d'estimer les paramètres : méthodes qualitatives, semi-quantitatives, quantitatives ; le choix d'une méthode dépendant principalement de l'objectif de l'évaluation (Salman, 2003). Les attributs évalués peuvent être variés (sensibilité, spécificité, rapidité, flexibilité par exemple) (Drewe *et al.*, 2012). Toutefois, dans la mesure du possible, il est recommandé de ne pas seulement évaluer les critères ou attributs en rapport avec les aspects épidémiologiques, mais également les aspects sociaux ou économiques (Risksur, 2013).

2.1. Les principaux attributs d'un dispositif de surveillance à évaluer

D'après [German et al. \(2001\)](#), certaines qualités d'un dispositif de surveillance sont attendues : simplicité, flexibilité, représentativité, rapidité, stabilité, acceptabilité, sensibilité, spécificité, valeurs prédictives positive et négative, auxquelles peuvent être ajoutées l'utilité de la surveillance ou la qualité des données ([Drewe et al., 2012](#)). L'**Annexe 1** présente les principaux critères d'évaluation recensés dans la littérature ([Hoinville et al., 2009](#) ; [Hoinville, 2013](#) ; [Serval, 2013](#)), en fonction de l'aspect du dispositif concerné (processus de surveillance, données, performances du dispositif, etc.). D'après [Hoinville et al. \(2009\)](#), les critères les plus utilisés concernent la performance du dispositif (utilité, efficacité et efficience).

Les attributs d'un dispositif sont étroitement dépendants : ainsi, l'implication des acteurs dans un dispositif peu acceptable sera limitée, risquant d'induire une faible sensibilité de la surveillance. Il n'est toutefois pas nécessaire, ni forcément pertinent, d'évaluer tous ces attributs systématiquement ([CDC, 1988](#)) : les attributs à évaluer doivent être choisis et hiérarchisés pour chaque dispositif de surveillance, en fonction de ses objectifs, champs d'application, méthodologie utilisée, c'est-à-dire en fonction des caractéristiques et contraintes propres du dispositif ([Vergne, 2012](#)).

Divers guides et méthodes pour l'évaluation de programmes de santé publique ont été développés, par des organisations comme les CDC États-Uniens ([German et al., 2001](#)), l'OMS ([WHO, 1997](#)), Health Canada ([Health Canada, 2004](#)). Tous ces guides suggèrent que l'évaluation doit débiter avec la description précise des objectifs du dispositif de surveillance et de sa structure (composantes et activités de surveillance, interaction des composantes entre elles et éventuellement avec d'autres dispositifs), avant de lister les attributs à évaluer. L'élément clé dans toutes ces approches est l'obtention de preuves de la performance ou de l'efficacité du dispositif ([Stärk, 2003](#)). Toutefois, [El Allaki et al. \(2013\)](#) soulignent que l'évaluation des dispositifs sur leurs performances peut pénaliser certains pays pour lesquels le programme conceptuel est valide, mais les capacités et ressources techniques encore limitées pour atteindre les objectifs fixés.

Ces outils génériques méthodologiques incluent de plus en plus souvent les aspects économiques ([Dufour, 1999](#) ; [Häsler et al., 2011b](#) ; [Drewe et al., 2013, 2015](#) ; [Risksur, 2013](#)). L'objectif du projet Risksur, débuté en 2012, est par exemple de développer un outil pratique pour guider les décideurs dans la réalisation d'une évaluation économique en santé animale. Un modèle conceptuel a été développé (appelé « *EVA tool* »), permettant une approche standardisée, assez flexible pour s'adapter à des contextes spécifiques. Les utilisateurs doivent renseigner des informations en relation avec la question d'évaluation et le contexte général (situation épidémiologique, objectifs de surveillance, disponibilité des données) définissant ainsi le contexte du processus d'évaluation, puis l'outil fournit une hiérarchisation et une sélection optimale des attributs à évaluer et des méthodes correspondantes ([Risksur, 2013](#)). De même, l'outil Serval (« *Surveillance*

EVALuation framework »), est un guide générique récemment développé (Serval, 2013 ; Drewe *et al.*, 2013, 2015) qui propose une liste de 22 attributs et permet de choisir les plus adaptés au contexte de l'évaluation. Les auteurs encouragent à ne sélectionner qu'une courte liste d'attributs, afin que l'évaluation ne soit pas longue et décourageante. La flexibilité dans le nombre et le choix des attributs est soulignée comme étant une avancée positive de ce type de guide.

L'évaluation spécifique de la surveillance à proprement parler (opposée à l'évaluation des programmes de lutte contre les maladies) a été effectuée dans un nombre limité de cas et une grande variété d'approches et de méthodes ont été utilisées (Drewe, 2012 ; Risksur, 2013).

Par ailleurs, en santé animale, il n'y a pas de consensus sur une mesure d'efficacité particulière, qui permettrait de comparer plus facilement différents dispositifs de surveillance, comme cela existe en santé humaine pour évaluer l'impact de maladies (par exemple, DALYs et QALYs (« *disability-adjusted life years* » and « *quality-adjusted life years* ») (Dehove *et al.*, 2012)). Calba *et al.* (2014) ont par exemple identifié 38 attributs d'évaluation et 24 méthodes d'évaluation en santé animale, dont 10 quantitatives et 14 qualitatives ou semi-quantitatives.

2.2. Méthodes d'évaluation qualitative et semi-quantitative

Les CDC États-Uniens ont proposé en 1988 une méthode d'évaluation qualitative des dispositifs de surveillance en santé publique, qui repose sur plusieurs étapes : décrire l'importance et la distribution de l'agent pathogène surveillé, décrire le dispositif de surveillance (objectifs, activités, utilité, ressources) et enfin décrire et évaluer les attributs du dispositif afin d'énoncer des conclusions et recommandations (CDC, 1988 ; German *et al.*, 2001). Cette méthode, acceptée et utilisée depuis des années, ne peut toutefois fournir qu'une évaluation qualitative et générale.

Les méthodes semi-quantitatives reposent sur l'analyse du fonctionnement du dispositif de surveillance, partant du principe que la qualité du dispositif, et donc de l'information produite, est étroitement liée à son bon ou mauvais fonctionnement. Le principe de ces méthodes est donc de décrire et évaluer chaque étape du fonctionnement du dispositif, de l'identification des objectifs à la production et la diffusion des résultats, sans oublier l'évaluation de l'organisation institutionnelle (CDC, 1988 ; Dufour, 1999 ; Hendrikx *et al.*, 2005), afin d'identifier les points faibles du dispositif et de proposer des recommandations pour améliorer son fonctionnement (Dufour et Hendrikx, 2011).

Deux méthodes semi-quantitatives sont principalement utilisées en santé animale (Vergne, 2012) : une méthode d'évaluation « externe », ou audit, et une méthode d'évaluation « interne » permettant le suivi des performances du dispositif en continu, à travers l'identification et le calcul d'indicateurs de performance par les acteurs du système (Dufour et Hendrikx, 2011).

2.2.1. L'audit externe

L'audit externe permet de fournir, de manière ponctuelle, un avis objectif d'experts sur le fonctionnement du dispositif de surveillance, en utilisant une grille de lecture standardisée permettant l'évaluation des étapes essentielles d'un dispositif (Hendrikx *et al.*, 2011).

Hueston a proposé en 1993 (Hueston, 1993) une notation par score allant de 1 à 4 pour évaluer les dispositifs de surveillance (la note de 4 représentant un système idéal). Toutefois, ce type de notation montre peu de variabilité, et permet principalement d'indiquer la présence ou l'absence de caractéristiques spécifiques du dispositif (Stärk *et al.*, 2002). Dufour (1999) a également utilisé ce procédé de score en appliquant la méthode HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) aux dispositifs de surveillance. Cette méthode permet d'analyser de manière rigoureuse, logique et systématique, les différentes étapes du fonctionnement d'un dispositif ; l'objectif étant de proposer des améliorations adaptées après avoir identifié les points faibles. Elle repose sur une notation par score des huit points critiques d'un dispositif de surveillance qui influent fortement sur la qualité des informations (objectifs, échantillonnage, coordination et sensibilisation, facteurs environnementaux, dépistage et diagnostic, collecte, transfert des données et analyse, dissémination d'information). Ainsi, le potentiel d'amélioration de chaque point critique peut être évalué, permettant la formulation de recommandations et facilitant la comparaison de différents dispositifs. Cette méthode a été appliquée à l'évaluation de plusieurs dispositifs de surveillance en France (Dufour *et al.*, 1998 ; Dufour, 1999 ; Mariner *et al.*, 2003 ; Stärk, 2003).

Hendrikx *et al.* (2011) ont récemment proposé une nouvelle approche, appelée OASIS (*Outil d'Analyse de Système de Surveillance en Santé*), regroupant différentes méthodes d'évaluation existantes, dont le SNAT (*Surveillance Network Assessment Tool*) développé dans les Caraïbes, la méthode d'évaluation par le contrôle des points critiques proposée par Dufour en 1999 et les guides d'évaluation proposés par les CDC et l'OMS. Cette méthode permet l'évaluation de dix principaux domaines d'un dispositif de surveillance : objectifs, organisation institutionnelle centrale, organisation institutionnelle sur le terrain, diagnostic de laboratoire, formalisation des procédures de surveillance, gestion des données, coordination et supervision du dispositif, formation, diffusion de l'information et évaluation du dispositif. La notation s'effectue par un groupe d'experts, à travers une liste détaillée de 78 critères. Les résultats de l'évaluation combinée de ces critères sont présentés sous trois formes graphiques : une représentation en camembert illustrant le niveau de satisfaction des dix domaines évalués, une représentation en histogramme illustrant le niveau de maîtrise des points critiques et une représentation en toile d'araignée illustrant l'estimation semi-quantitative des dix attributs proposés par les CDC. Cet outil a été utilisé pour évaluer plusieurs dispositifs de surveillance en France (Dominguez *et al.*, 2012, 2014 ; Gorecki *et al.*, 2012 ; Hendrikx *et al.*, 2013).

Dans le cadre de l'audit externe, l'évaluation des attributs du dispositif doit être effectuée par un ou plusieurs expert(s) indépendant(s), afin de garantir une certaine objectivité. La notation de multiples critères (78 dans l'évaluation Oasis) par différents experts, est cependant susceptible

d'engendrer une hétérogénéité importante dans les notes attribuées. Cela peut être en partie limité grâce aux guides de notation standardisés (Anses, 2010 ; Peyre *et al.*, 2011 ; Hendriks *et al.*, 2011).

2.2.2. Les indicateurs de performance

Les indicateurs de performance sont définis comme « *des variables en nombre limité, réunies dans un tableau de bord, qui permettent de calculer en continu le niveau de réalisation des activités prioritaires d'un système de surveillance épidémiologique afin d'en faciliter le pilotage* » (Hendriks *et Dufour*, 2004 ; Dufour *et Hendriks*, 2011). Après description des activités et des résultats attendus du dispositif, des indicateurs spécifiques sont développés, agrégés, notés et classés ; puis des tables d'indicateurs avec des outils de calcul et de mise à jour sont développées.

Cette méthode peut être utilisée par les acteurs du dispositif de surveillance et implique donc l'accord préalable des différents partenaires du système, une bonne coordination et une implication active de tous les acteurs, sans lesquels le suivi régulier des indicateurs et le bon fonctionnement du dispositif seraient difficiles (Dufour *et Hendriks*, 2011).

Les indicateurs de performance peuvent être définis comme élément de diagnostic spécifique du dispositif évalué, afin de mettre en évidence des dysfonctionnements. Ils permettent de comparer les performances d'un même dispositif évalué à diverses périodes, mais ne permettent pas la comparaison de plusieurs dispositifs (cela serait possible avec les méthodes d'audits externes, standardisées, présentées précédemment) (Hendriks *et Dufour*, 2004). Toutefois, c'est une méthode rapide à mettre en œuvre, relativement peu onéreuse en fonction de la qualité du système d'information en place, qui a l'avantage de permettre le suivi en continu du fonctionnement du dispositif et donc son pilotage et sa réorientation éventuelle de façon régulière, permettant d'identifier les principaux aspects du dispositif à améliorer (Hendriks *et al.*, 2005). Sorbe *et al.* (2011) ont proposé une simplification de la méthode initiale, considérant que la plupart des dispositifs de surveillance sont construits sur le même schéma et ont ainsi proposé un ensemble de 25 indicateurs de performance génériques.

Le risque de subjectivité est particulièrement important pour cette méthode, car les indicateurs de performance sont définis par les acteurs du dispositif évalué. Le danger est que les indicateurs choisis soient ceux permettant d'obtenir une bonne évaluation, engendrant ainsi une surestimation artificielle des performances (Vergne, 2012). Par ailleurs, les indicateurs doivent être identifiés en fonction des objectifs du dispositif et de ses activités prioritaires ; sinon, les efforts d'amélioration pourraient nuire au bon fonctionnement et à la survie du dispositif (Majeed *et Voss*, 1995). L'implication d'une personne externe au dispositif pour l'identification d'indicateurs objectifs et pertinents peut permettre de limiter ces biais (Hendriks *et al.*, 2011).

L'audit externe et la méthode des indicateurs de performance sont les deux démarches semi-quantitatives les plus utilisées en santé animale. Ces méthodes permettent un diagnostic général du fonctionnement d'un dispositif de surveillance ainsi que l'identification de ses points critiques, mais sont souvent fondées sur des appréciations en partie subjectives et ne permettent pas d'estimer de manière précise l'efficacité réelle du dispositif quant à sa capacité à détecter les cas. Les recommandations issues de ces évaluations semi-quantitatives ont toutefois permis des améliorations pertinentes pour les dispositifs évalués par ces méthodes (Stärk *et al.*, 2002), qui restent indispensables pour identifier les points critiques du fonctionnement des dispositifs de surveillance épidémiologique et en permettre ainsi l'amélioration.

2.3. Méthodes d'évaluation quantitative

Les méthodes d'évaluation quantitative permettent généralement l'estimation de la sensibilité d'un dispositif de surveillance, principal attribut de son efficacité, ou de sa valeur prédictive positive. La sensibilité peut recouvrir deux notions : la capacité de détection d'une maladie présente sur un territoire, ou la capacité d'estimation de la prévalence réelle d'une maladie (German *et al.*, 2001). L'approche quantitative permet de réduire la subjectivité de l'évaluation, facilitant ainsi son acceptation par les acteurs, et permet de quantifier l'exhaustivité de l'information produite par le dispositif, sans forcément analyser les points critiques de son fonctionnement. Cette approche peut également permettre de prendre en compte l'incertitude, par l'utilisation de modélisations stochastiques et de lois de distributions, et est souvent complémentaire des approches semi-quantitatives (German, 2000).

Toutefois, l'estimation quantitative de la sensibilité des dispositifs de surveillance peut être limitée par la détection non-aléatoire des cas, cliniques ou non, et l'absence de test de diagnostic parfait (Martin *et al.*, 2007a). Comme évoqué précédemment, les dispositifs de surveillance permettant une détection équiprobable des cas sur un territoire sont très coûteux, notamment lorsque l'agent pathogène est présent à faible prévalence, et de nombreux systèmes sont actuellement basés sur le risque afin d'améliorer la détection et de réduire les coûts de la surveillance (Stärk *et al.*, 2006). Par ailleurs, les outils de dépistage et de diagnostic ne sont jamais parfaits (Joseph *et al.*, 1995), présentant des défauts de sensibilité ou de spécificité parfois difficiles à évaluer et souvent méconnus en pratique. Ces éléments rendent difficile l'estimation de la prévalence d'une maladie sur un territoire et donc l'estimation de la sensibilité d'un dispositif de surveillance (German *et al.*, 2001 ; Martin *et al.*, 2007a).

Deux méthodes sont aujourd'hui principalement utilisées pour l'évaluation quantitative de la surveillance en santé animale : les méthodes de capture-recapture et la modélisation par arbre de scénarios.

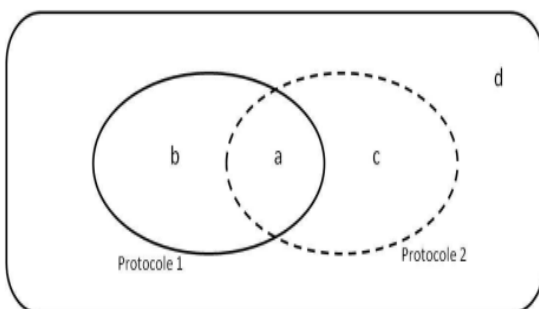
2.3.1. Les méthodes de capture-recapture

Les méthodes de capture-recapture permettent d'estimer le nombre total de cas (cliniques ou non) d'une maladie présente sur un territoire, et donc la sensibilité d'un dispositif de surveillance en termes de capacité à détecter l'ensemble des cas d'une maladie. Elles permettent ainsi d'estimer le nombre d'unités infectées qui ne sont pas détectées par le dispositif, d'identifier les facteurs favorisant la détection des cas, et d'étudier les facteurs de risque d'infection, tout en prenant en compte l'incertitude de la détection des unités infectées (Vergne, 2012).

Ces méthodes se fondent sur l'existence de listes d'individus infectés, générées par divers outils de surveillance, qui sont par hypothèse incomplètes ; le nombre de cas non recensés par ces listes étant inconnu. L'identification de cas communs aux différentes listes permet d'estimer le nombre de cas non détectés, et d'en déduire la taille totale de la population infectée, ainsi que les sensibilités de détection des différents protocoles de surveillance.

Il existe plusieurs méthodes de capture-recapture utilisées en épidémiologie : les approches multilistes et les approches unilistes. Dans les approches multilistes, les plus utilisées en épidémiologie, différents protocoles de détection sont considérés, chacun fournissant une liste d'unités infectées détectées et permettant d'identifier les cas de détection multiple en croisant les listes de détection des divers protocoles de surveillance. Il existe des méthodes dites à deux sources, permettant de modéliser les détections croisées de deux protocoles de détection, et des méthodes d'analyses dites à trois sources ou plus. Seule la méthode d'analyse à deux sources est présentée succinctement dans ce manuscrit (Figure 2 et Tableau 2).

Figure 2 : Diagramme de Venn représentant le croisement de deux sources de données (Vergne, 2012)



Dans la méthode d'analyse à deux sources, il est considéré que le protocole de surveillance n°1 détecte $N_1 = a + b$ cas, et que le protocole de surveillance n°2 détecte $N_2 = a + c$ cas. Le nombre a correspond donc au nombre de détections multiples.

Il est également admis qu'un nombre d de cas ne sont détectés par aucun des deux protocoles. Les analyses capture-recapture permettent d'estimer ce nombre d , et donc le nombre total de cas ($N = a + b + c + d$).

Tableau 2 : Tableau de contingence représentant le croisement de deux sources de données (Vergne, 2012)

		Protocole 1		
		Détecté	Non détecté	
Protocole 2	Détecté	a	c	N_2
	Non détecté	b	d	
		N_1		N

Afin d'éviter tout biais, les sources de détection doivent être indépendantes directement (la détection par un des protocoles ne doit pas modifier la probabilité d'être détecté par l'autre protocole) et indirectement (les facteurs induisant une hétérogénéité de détection ne doivent pas

être liés), il ne doit pas y avoir d'erreurs par excès (spécificité parfaite), et tous les cas communs et uniquement les cas communs aux deux sources doivent être identifiés (Vergne, 2012).

Toutefois, en santé animale, il est rare de disposer de plusieurs protocoles de détection, nécessaires pour la réalisation des approches multilistes. Dans les approches unilistes de capture-recapture, les détections multiples d'une unité infectée ne sont issues que d'un protocole de surveillance. Une modélisation des fréquences possibles de détection, pour estimer le nombre d'unités infectées non détectées, est donc nécessaire (Vergne, 2012). Il existe deux modèles, selon la population cible choisie : les modèles tronqués en zéro, qui ont pour population cible la population infectée et qui ont pour objectif d'estimer la taille totale de la population cible ; et les modèles enflés en zéro qui ont pour population cible la population totale, comprenant des individus infectés et des individus indemnes, et qui ont pour objectif d'estimer la proportion de la population infectée au sein de la population totale (Vergne, 2012).

2.3.2. Les arbres de scénarios

Les arbres de scénarios permettent le calcul de la sensibilité d'un dispositif de surveillance en matière de capacité à détecter une maladie si elle est présente, et sont souvent utilisés pour prouver qu'une zone ou un territoire est indemne d'une infection. Ce paragraphe présente le contexte de développement des arbres de scénarios, leurs principes généraux, ainsi qu'une revue des applications en santé animale. La méthodologie inhérente à leur application, largement utilisée dans ce travail, est détaillée dans la suite du manuscrit (chapitre III, paragraphe 1.1.).

2.3.2.1. Historique et contexte de développement des arbres de scénarios

Les méthodes d'estimation de sensibilité sont généralement bien établies pour les études conduites de manière aléatoire (Cannon et Roe, 1982 ; Cameron et Baldock, 1998 ; Dufour *et al.*, 2001). Toutefois, l'infection n'est pas toujours uniformément répandue dans la population, et des méthodes de surveillance ciblées sur les groupes à haut risque peuvent être utilisées pour rationaliser l'utilisation des ressources financières et humaines et augmenter l'efficacité et l'efficience de la surveillance (Martin et Cameron, 2003). L'échantillonnage n'étant pas représentatif de la population cible, l'inférence des résultats peut poser problème et l'estimation de la sensibilité du dispositif par les méthodes classiques est impossible. Ainsi, l'estimation de la sensibilité peut être limitée par la détection non-aléatoire des cas (Martin *et al.*, 2007a).

La modélisation stochastique par arbres de scénarios a été utilisée pour déterminer la probabilité de détection d'une maladie dès les années 2000 (Baldock, 2000 ; Hueston et Yoe, 2000), dans le cadre de dispositifs de surveillance complexes (plusieurs espèces surveillées, plusieurs composantes de surveillance, etc.). Par la suite, cette méthode a été utilisée comme méthode d'évaluation des dispositifs de surveillance, les « nœuds » des arbres représentant les facteurs affectant la probabilité d'occurrence ou de détection de l'infection dans des sous-populations

(Martin et Cameron, 2003 ; Stärk, 2003 ; Martin *et al.*, 2007a, 2007b). Cette technique permet de cibler les activités de surveillance sur les groupes à risque et d'identifier des événements pouvant conduire à une performance insatisfaisante du dispositif de surveillance, soulignant ainsi ses faiblesses (Stärk, 2003). Plus récemment, Martin *et al.* (2007a, 2007b) ont adapté cette méthode afin d'estimer si un territoire pouvait être considéré comme indemne d'une maladie à partir de sources de données multiples et complexes. La modélisation par arbres de scénarios est également utilisée dans le domaine de l'analyse de risque, pour estimer de manière quantitative les risques d'introduction d'agents pathogènes (AFFA, 2001 ; Murray, 2002 ; OIE, 2004).

La méthode de modélisation par arbres de scénarios permet d'estimer la sensibilité d'un dispositif de surveillance complexe, reposant sur des données collectées de manière non aléatoire (Martin *et al.*, 2007a). La sensibilité correspond alors à la capacité d'une composante ou d'un dispositif à détecter une maladie sur un territoire, sachant qu'elle est présente à une certaine prévalence. Le corollaire de cette méthode est de pouvoir estimer la probabilité qu'un territoire soit indemne, sachant que la maladie n'a jamais été détectée dans la zone étudiée.

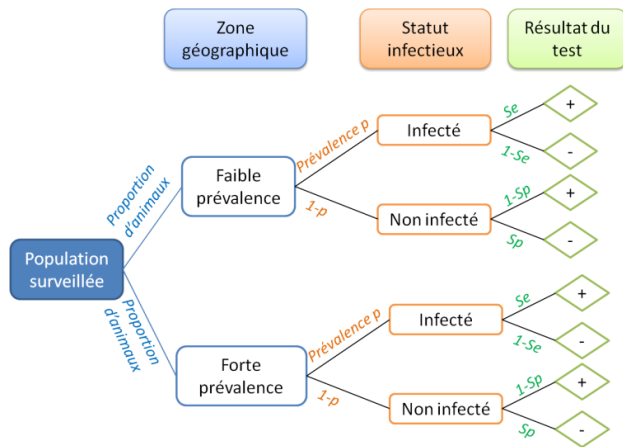
2.3.2.2. Principes généraux

Les arbres de scénarios divisent la population générale, au sein de laquelle la prévalence et la probabilité de détection peuvent être hétérogènes, en groupes à l'intérieur desquels chaque individu a la même probabilité d'être infecté et détecté. Chaque étape du processus de surveillance est représentée par un nœud ayant deux ou plusieurs branches représentant les événements possibles, auxquelles sont associées des proportions ou des probabilités d'occurrence (**Figure 3**). Les nœuds peuvent être de divers types : nœuds de catégorie (âge, sexe), nœuds de décision (choix d'un test diagnostique), nœuds aléatoires (résultat du test).

Cette méthode permet de modéliser l'ensemble du dispositif de surveillance et de ses composantes (appelées SSC, « *Surveillance system component* »). Le dispositif ou ses composantes sont ainsi assimilé(e)s à un test diagnostique appliqué à une population afin de détecter une maladie. La sensibilité du dispositif correspond alors à la probabilité d'obtenir un résultat positif, considérant que la population est réellement infectée.

Au contraire du calcul de la sensibilité d'un test diagnostique appliqué sur un animal, où la présence de la maladie est dichotomique, la sensibilité d'une composante de surveillance dépend du niveau de prévalence auquel est présente la maladie dans la population : on utilise le terme de prévalence limite, ou « *design prevalence* », donnée nécessaire au calcul final. Ainsi, une même activité de surveillance a une meilleure sensibilité si la maladie est présente à un niveau élevé de prévalence. Si le niveau de prévalence varie selon les strates de la population, il est possible de le prendre en compte en intégrant des « nœuds de catégories d'infection » (estimation de risques différentiels pondérés par la proportion des strates dans la population).

Figure 3 : Illustration schématique d'un arbre de scénarios



La probabilité d'occurrence du résultat final de chaque branche est obtenue par multiplication des probabilités intervenant le long de la branche concernée ; et la sensibilité de la composante de surveillance est obtenue après addition des probabilités associées aux branches permettant la détection d'un animal infecté.

Les sensibilités de chaque composante sont ensuite combinées pour évaluer la sensibilité globale du dispositif. Une analyse de sensibilité peut être réalisée afin d'identifier les paramètres importants influant sur l'efficacité de chaque composante.

Chaque composante de surveillance mise en œuvre pour détecter les cas de façon complémentaire possède une sensibilité propre et s'applique sur la totalité ou un échantillon de la population cible ; la combinaison de l'ensemble de ces composantes permettant d'évaluer la sensibilité globale du dispositif.

2.3.2.3. Prise en compte des aspects économiques

Les arbres de scénarios permettent également de modéliser la répartition des coûts par activité de surveillance, et ainsi d'identifier les étapes nécessitant un éventuel renforcement technique ou financier pour assurer la viabilité du réseau à long terme. Il est ainsi possible d'évaluer le ratio coût-efficacité de chaque composante puis du dispositif global par combinaison de ses composantes. La ou les stratégie(s) de surveillance optimale(s) d'un point de vue coût-efficacité peuvent alors être identifiée(s), en fonction de certains critères d'intérêt (zones géographiques, moyens disponibles, etc.), et des stratégies de surveillance alternatives aux méthodes actuelles peuvent éventuellement être proposées.

2.3.2.4. Revue des applications de la méthode d'arbres de scénarios en santé animale

La méthode de modélisation par arbres de scénarios a été largement utilisée pour optimiser la surveillance dans différents contextes (**Tableau 3**). Cette méthode a été notamment utilisée pour évaluer des dispositifs de surveillance et l'efficacité de potentielles stratégies de surveillance dans différents pays et pour différentes espèces, à travers l'évaluation de leur sensibilité. Lorsque le dispositif de surveillance comporte plusieurs composantes, cette méthode peut permettre d'évaluer la performance combinée de composantes, que l'approche soit basée sur le risque ou non (par exemple, [Knight-Jones et al., 2010](#) ; [Wahlström et al., 2010](#) ; [Welby et al., 2012, 2013](#)).

Depuis l'article de [Martin et al. \(2007a\)](#), de nombreuses études ont utilisé la modélisation par arbres de scénarios afin d'estimer la probabilité qu'un territoire soit indemne d'une maladie donnée (par exemple, [Welby et al., 2012, 2013](#)). Le calcul de la probabilité qu'un territoire soit indemne d'une infection, considérant que le dispositif de surveillance n'a pas détecté de cas, est fondé sur le

théorème de Bayes et doit prendre en compte la probabilité *a priori* d'infection dans le pays et la sensibilité du dispositif (en faisant l'hypothèse que sa spécificité est parfaite). Ce calcul peut ainsi être apparenté à celui de la valeur prédictive négative d'un test.

La majorité des études citées dans le **Tableau 3** ont estimé à la fois la sensibilité du dispositif de surveillance et la probabilité pour que le territoire soit indemne de la maladie étudiée.

Tableau 3 : Revue des études utilisant la modélisation par arbres de scénarios en santé animale

Espèce	Maladie	Pays	Source
Bovins	Tuberculose	Belgique	Welby <i>et al.</i> (2012)
		Suisse	Hadorn et Stärk (2008)
		Australie	Sergeant <i>et al.</i> (2010, 2011)
		Danemark	Foddai <i>et al.</i> (2015)
	Brucellose	Grande-Bretagne	Hesterberg <i>et al.</i> (2009)
	Fièvre catarrhale ovine	Belgique	Welby <i>et al.</i> (2013)
	Paratuberculose	Suède	Frössling <i>et al.</i> (2013)
Petits ruminants	Diarrhée virale bovine	Norvège	Norström <i>et al.</i> (2014)
	Brucellose	Suisse / Bosnie Herzégovine	Hadorn <i>et al.</i> (2008)
Porcs	Fièvre aphteuse	Belgique	Welby <i>et al.</i> (2013)
	Peste porcine classique	Australie	Hernandez-Jover <i>et al.</i> (2011)
		Danemark	Martin <i>et al.</i> (2007b)
		Danemark	Bocklund <i>et al.</i> (2013)
	Syndrome dysgénésique et respiratoire	Suède	Frössling <i>et al.</i> (2009)
		Danemark	Alban <i>et al.</i> (2008)
	Trichinellose	Canada	Vanderstichel <i>et al.</i> (2013)
Suisse		Schuppers <i>et al.</i> (2010)	
Echinococcose	Suède, Finlande, Norvège	Wahlström <i>et al.</i> (2011)	
Volailles	Influenza aviaire	Espagne	Alba <i>et al.</i> (2010)
		Belgique	Welby <i>et al.</i> (2010)
		Canada	Christensen <i>et al.</i> (2011) Christensen <i>et al.</i> (2014)
		Thaïlande	Goutard <i>et al.</i> (2011) Goutard <i>et al.</i> (2012)
		Australie	East et Hutchison (2011)
Cerfs	Tuberculose	Union Européenne	More <i>et al.</i> (2009)
		Suède	Wahlström <i>et al.</i> (2010)
Sangliers	Maladie d'Aujeszky	Danemark	Bocklund <i>et al.</i> (2013)
	Echinococcose	Suède, Finlande, Norvège	Wahlström <i>et al.</i> (2011)
Poissons	Maladie hémorragique virale du saumon	Norvège	Lyngstad <i>et al.</i> (2011)

Hadorn et Stärk (2008) ont développé un protocole pour optimiser la surveillance des maladies rares et émergentes en utilisant cette méthode, et l'ont par exemple appliqué à la surveillance de la tuberculose bovine. Toutefois, son application à la brucellose montre que pour les maladies non rares, enzootiques, des développements méthodologiques sont encore nécessaires (Hadorn *et al.*, 2008 ; Hoinville *et al.*, 2009 ; Oidtmann *et al.*, 2013).

Certains auteurs ont utilisé les arbres de scénarios pour définir les tailles d'échantillons adaptées à la surveillance conduite (Alba *et al.*, 2010 ; Christensen *et al.*, 2011 ; Blickenstorfer *et al.*,

2011 ; Bocklund *et al.*, 2013) ; ou pour estimer le risque lié à l'exportation ou à l'importation d'animaux (Knight-Jones *et al.*, 2014).

Les arbres de scénarios ont également été utilisés afin d'évaluer des stratégies de révision de procédures réglementaires, comme l'évaluation de la sensibilité de différentes procédures d'inspection des carcasses en Europe vis-à-vis de divers agents pathogènes (inspection *ante-mortem*, inspection visuelle seule, inspection et palpation). Ainsi, l'inspection visuelle seule a une bonne sensibilité pour la plupart des agents pathogènes provoquant des signes macroscopiques, mais est insuffisante pour la détection de la tuberculose bovine par exemple (Stärk *et al.*, 2014).

Peu de dispositifs de surveillance concernant des animaux non domestiques (espèces sauvages, animaux aquatiques) utilisent des méthodes fondées sur le risque. Toutefois, certaines études visant à l'évaluation de dispositifs de surveillance ont pris en compte les espèces sauvages, notamment lorsqu'elles jouent le rôle de réservoir d'un agent pathogène, menaçant ainsi la santé des filières de production (Wahlström *et al.*, 2011 ; Oidtmann *et al.*, 2013 ; Bocklund *et al.*, 2013). Ainsi, des études ont par exemple permis d'estimer la sensibilité de la surveillance de cerfs d'élevage pour la détection de la tuberculose, afin de prouver que le territoire pouvait être considéré comme indemne de cette maladie (More *et al.*, 2009 ; Wahlström *et al.*, 2010). Toutefois, la faune sauvage libre a rarement été prise en compte.

Certaines études ont également associé un aspect économique à la modélisation par arbres de scénarios (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Revue d'études utilisant la modélisation par arbres de scénarios en santé animale et incluant un aspect économique

Espèce	Maladie	Pays	Source
Bovins	Fièvre catarrhale ovine	Suisse	Hadorn <i>et al.</i> (2009)
	Leucose bovine enzootique, Rhinotrachéite infectieuse bovine	Suisse	Blickenstorfer <i>et al.</i> (2011)
Porcs	Cysticercose	Danemark	Calvo-Artavia <i>et al.</i> (2012)
	Peste porcine classique	Pays-Bas	de Vos <i>et al.</i> (2005)
Oiseaux sauvages aquatiques	Influenza aviaire	Autriche, Allemagne, Suisse	Knight-Jones <i>et al.</i> (2010)
Diverses	Diverses	Somalie	Knight-Jones <i>et al.</i> (2014)

La modélisation par arbres de scénarios, de plus en plus utilisée comme outil d'aide à la décision, permet aux évaluateurs d'inclure, entre autres choses, des facteurs épidémiologiques, économiques et sociaux qui influencent l'efficacité de la surveillance. Le paramétrage des arbres nécessite l'estimation de nombreuses probabilités pouvant être issues de diverses sources de données ; chacune de ces estimations étant associée à une incertitude qui doit être, dans la mesure du possible, incorporée à l'analyse. La structure des arbres permet de visualiser facilement les différents choix possibles pour un acteur du dispositif ou de modéliser des événements dits aléatoires, indépendants des décisions des gestionnaires. Cette méthode, par la prise en compte et l'étude des facteurs influençant les probabilités d'infection et de détection, permet la formulation de recommandations afin d'améliorer l'efficacité d'un dispositif de surveillance.

2.4. Méthodes d'évaluation socio-économique

Diverses modalités de surveillance comme la surveillance basée sur le risque ont émergé en réponse au besoin d'optimiser le rapport coût-efficacité des dispositifs (Rich *et al.*, 2013), par rapport aux approches traditionnelles. L'objectif est ainsi d'identifier les besoins en surveillance et de les hiérarchiser afin d'allouer les ressources de manière optimale (Stärk *et al.*, 2006).

La réflexion sur le développement d'approches d'optimisation épidémiologique et économique en santé animale s'est considérablement développée depuis plusieurs années, comme en attestent par exemple les publications de Dijkhuizen et Morris (« *Animal health economics : principles and application* », 2007) et de Rushton (« *Economics of animal health and production* », 2009). D'après la FAO (Otte et Chilonda, 2001), plusieurs facteurs peuvent expliquer le développement de l'analyse économique en santé animale. Alors que la lutte contre les épizooties majeures, telle que celle due au virus H5N1, est mise en œuvre dans l'urgence et avant tout calcul des bénéfices, les maladies enzootiques pour lesquelles l'urgence est moindre sont souvent étudiées afin d'évaluer le rapport coût-bénéfice de divers scénarios de lutte. Par ailleurs, l'importance du secteur de l'élevage et de l'agriculture en général a diminué ces dernières années, notamment dans les pays développés, impliquant une rationalisation des investissements qui leur sont consacrés. Ainsi, les acteurs de la surveillance et les contribuables exigent davantage de transparence dans le choix des décisions publiques.

L'évaluation socio-économique est fondée sur une expertise scientifique semi-quantitative ou quantitative des impacts économiques et sociaux d'une action conduite par un décideur, en termes de coûts et de bénéfices, sur les différents acteurs de la société et tenant compte d'incertitudes multiples (Cavalerie, 2012). Elle a ainsi pour objectif d'évaluer le plus objectivement possible la pertinence d'une action publique et d'aider à choisir l'option la plus efficiente. Cette démarche peut être conduite avant la mise en place d'un projet, pendant son suivi ou en bilan de la réalisation d'une activité de surveillance.

2.4.1. L'étude d'impact : une étape préliminaire

L'étude d'impact est une étape préliminaire indispensable à toute évaluation socio-économique qualitative ou quantitative, au cours de laquelle les informations sur les avantages et les inconvénients des options sont étudiées, par le biais de leurs impacts potentiels. Différents types d'impacts ont été identifiés dans le domaine de la santé animale :

- Impacts directs : conséquences directement induites par la maladie, comme les pertes de production en élevage (baisse de fertilité, avortement, diminution de la production laitière, mortalité, coûts des traitements, etc.) ;
- Impacts indirects et effets de résonance : coûts des mesures de lutte, impacts en amont (patrimoine génétique, intrants), en aval (abattoir, transformation, commercialisation), sur l'emploi

- (fermeture d'usine), sur le revenu des acteurs ou sur les prix (perte de production et déséquilibre entre l'offre et la demande), perte d'accès aux marchés ;
- Effets de débordement à d'autres secteurs de la société : création ou perte de revenus dans d'autres secteurs, tourisme (perte d'image, restriction de mouvements), hôtellerie, restauration, image de marque de produits commercialisés, effets sur l'environnement (perte de biodiversité, pollution induite par les mesures de lutte, mesures d'abattage ou de confinement des populations sauvages);
 - Impacts à long terme : perte de confiance du consommateur, des entreprises ou des pays importateurs vis-à-vis des services vétérinaires ou des entreprises agro-alimentaires, perte de production indirecte (perte de qualité génétique, baisse de fertilité, etc.) ;
 - Impacts à distance : impacts sur les marchés internationaux.

Peu d'études aussi complexes sont toutefois réalisées en santé animale : la plupart ne concernent qu'une étude des coûts et des pertes estimées, qu'ils soient directs ou indirects, sans forcément prendre en compte les avantages. Par ailleurs, la santé animale est souvent approchée d'un point de vue microéconomique, et non pas macroéconomique (les effets de résonance et de débordements sont rarement étudiés).

2.4.2. Les différents types d'analyse économique

Il existe différentes méthodes d'évaluation économique, en fonction notamment de la façon dont sont mesurés les effets étudiés. Les principales méthodes actuellement reconnues sont présentées succinctement ci-après. En santé animale, ces méthodes permettent souvent de comparer les pertes liées à un phénomène de santé à des avantages engendrés par un programme de lutte ou de surveillance. Toute analyse économique doit être réalisée selon le point de vue d'un acteur, à définir avant la réalisation de l'évaluation (Etat, éleveur, industries agro-alimentaires, ...).

2.4.2.1. Analyse coût-bénéfice (ACB)

L'analyse coût-bénéfice (ACB) est la méthode d'évaluation économique la plus connue et la plus utilisée. Dans cette méthode, les conséquences des programmes de santé sont exprimées en valeur monétaire. Cette méthode a l'avantage de permettre une comparaison facile entre les bénéfices et les coûts, car exprimés dans des unités monétaires identiques, et donc de déterminer si les avantages attendus du programme justifient les coûts de mise en œuvre ; les bénéfices devant être *a minima* égaux aux coûts, et si possible supérieurs.

L'ACB est souvent considérée comme la technique la plus complète d'évaluation économique, facilitant la prise de décision pour les gestionnaires. Toutefois, il est parfois difficile d'estimer la valeur monétaire de certaines conséquences épidémiologiques ou sociales (diminution de la prévalence, valeur d'une vie, ...), ce qui peut restreindre l'évaluation, la rendant alors moins exhaustive qu'une analyse coût-efficacité par exemple. Par ailleurs, d'après Rich ([Rich et al., 2005a](#),

2005b), l'ACB comptable, la première réalisée par les vétérinaires qui s'intéressaient aux coûts des mesures de lutte en élevage, n'est pas appropriée pour les évaluations à long terme car elle ne considère pas les modifications comportementales des acteurs et les réactions du marché (évolution de l'offre et de la demande). Toutefois, la combinaison d'une ACB avec des modèles plus complexes peut permettre d'obtenir une vision plus générale et l'identification éventuelle de stratégies optimales tenant compte des liens potentiels entre plusieurs secteurs d'activités (Rault et Krebs, 2010). Dans cette méthode, les aspects temporels peuvent être pris en compte par la pratique de l'actualisation, permettant la comparaison de l'investissement actuel avec ses bénéfices futurs.

2.4.2.2. Analyse coût-efficacité (ACE)

Dans une analyse coût-efficacité (ACE), les conséquences des programmes de santé sont exprimées en termes non monétaires, sous forme d'indicateurs (par exemple le nombre d'animaux correctement détectés s'il s'agit d'un dispositif de surveillance). La prise en compte des conséquences sous forme d'un indicateur épidémiologique, et non monétaire, est parfois préférable, car plus facilement compréhensible par les acteurs et moins complexe à déterminer. Les conséquences peuvent être exprimées soit par un indicateur unique, illustrant l'efficacité du dispositif évalué, soit par des indicateurs multiples, laissant ainsi la possibilité au gestionnaire de leur attribuer des valeurs relatives dans un objectif d'aide à la décision.

Pour réaliser une ACE, il faut calculer les coûts des activités de surveillance et identifier la mesure d'efficacité adéquate pour le dispositif évalué, puis évaluer si les coûts investis correspondent à l'efficacité attendue de la surveillance. L'objectif est souvent de comparer plusieurs dispositifs entre eux et donc de déterminer quel dispositif permet d'atteindre l'effet souhaité au moindre coût, ou d'optimiser l'efficacité d'une action à budget contraint. Le résultat d'une ACE est présenté sous forme d'un ratio qui exprime le coût par unité d'efficacité, ou l'efficacité par unité de coût. L'indicateur ainsi obtenu peut être exprimé comme un ratio moyen ($\frac{\text{coût de l'intervention}}{\text{efficacité de l'intervention}}$), ou un ratio dit « différentiel », où les alternatives d'un programme de santé ou d'un dispositif de surveillance sont comparées ($\frac{\text{coût de l'intervention} - \text{coût de l'alternative}}{\text{efficacité de l'intervention} - \text{efficacité de l'alternative}}$). Ce ratio différentiel permet la comparaison de stratégies, mais n'indique pas si la stratégie actuelle est efficace.

En gestion de projet, l'efficacité est définie comme un degré d'atteinte d'un objectif. L'ACE est donc utilisable si un objectif spécifique peut être précisément identifié. Il est toutefois difficile en santé animale d'identifier un objectif unique, représentant à lui seul l'ensemble des conséquences possibles : cette approche peut donc être considérée comme réductrice par certains auteurs. Une revue de la littérature médicale entre 1990 et 2000 a toutefois révélé qu'en moyenne 497 articles sur l'ACE étaient publiés chaque année, et que les ACE étaient plus fréquentes que les ACB en santé humaine. En santé animale, les ACB et les analyses de coûts semblent plus utilisées, notamment en raison de la plus grande facilité à attribuer une valeur monétaire aux impacts de morbidité et de

mortalité (Rich *et al.*, 2005b ; Häsler *et al.*, 2006 ; Bocklund *et al.*, 2009 ; Babo-Martins et Rushton, 2014).

L'ACE implique une mesure d'efficacité, qui reflète l'intérêt des personnes impliquées dans le processus et peut être utilisée pour des décisions en temps réel (ce type d'évaluation est moins chronophage qu'une ACB). Cette méthode est parfois insuffisante dans le cas de prise de décision complexe sur l'allocation de ressources, car elle n'incorpore pas les impacts budgétaires généraux, la faisabilité des mesures et les valeurs sociales (Pinkerton *et al.*, 2002 ; Cohen et Reynolds, 2008). Par ailleurs, la surveillance génère d'autres bénéfices qui ne sont pas facilement mesurables, mais qui ont tout de même une valeur : confiance des consommateurs, sentiment de sécurité, réputation, etc.

2.4.2.3. Analyse coût-utilité (ACU)

L'analyse coût-utilité (ACU) est une forme particulière d'ACE, dans laquelle les conséquences des programmes de santé sont ajustées avec des mesures de préférence, appelées pondérations d'utilité (par exemple, des années de vie gagnées grâce à un traitement, pondérées par la qualité de ces années de vie). Cette méthode est fréquemment utilisée en santé publique, mais ne l'est actuellement pas en santé animale. Elle permet de prendre en compte les préférences des acteurs (plus grande est la préférence, plus grande est l'utilité qui lui est accordée). Ainsi, l'estimation des avantages inclut une évaluation économique de la vie humaine, à la fois en termes de vies épargnées mais aussi en termes de qualité de vie (amélioration de la santé de la population) (Treich, 2005).

L'indicateur classiquement utilisé est le QALY, qui agrège en une mesure unique la morbidité et la mortalité, le résultat étant exprimé en « coût par QALY », qui permet la comparaison entre plusieurs stratégies. Cet indicateur est actuellement largement accepté et utilisé, malgré des réticences éthiques à estimer la valeur de la vie humaine.

2.4.2.4. Analyse de minimisation des coûts

Dans l'analyse de minimisation des coûts, l'efficacité de différentes options est considérée comme équivalente ; les conséquences étant ainsi prises en compte de façon implicite. Une simple comparaison des coûts est donc effectuée (analyse partielle) : la stratégie engendrant des coûts les plus faibles est considérée comme la plus efficiente.

2.4.3. L'analyse multicritères (AMC)

L'analyse multicritères (AMC) n'est pas une méthode d'évaluation économique en soi mais permet d'établir des priorités à partir d'un certain nombre de critères indépendants, dont des critères économiques. Ces critères sont estimés et pondérés à partir de la littérature ou de dires d'experts ; la pondération pouvant représenter un jugement de valeur fondé sur des orientations ou des enjeux sociaux, financiers, culturels ou politiques (Van der Fels-Klerx *et al.*, 2000 ; King, 2009 ; Mourits *et al.*, 2010). L'AMC permet de prendre en compte la multiplicité des acteurs du dispositif et

leurs préférences respectives, et ainsi une certaine subjectivité dans l'évaluation ; la perception des risques sanitaires n'étant pas la même pour les différents groupes d'acteurs (éleveurs, vétérinaires, Etat ou consommateurs par exemple). L'AMC est également utilisée lorsque plusieurs objectifs doivent être pris en compte et que leur monétarisation pour une ACB est impossible ou difficile (l'AMC peut être réalisée même en l'absence de données chiffrées).

Guo *et al.* (2014, 2015) ont proposé une nouvelle approche conceptuelle quantitative qui permet de prendre en compte les impacts socio-économiques d'options alternatives de surveillance en intégrant la valeur subjective de chaque impact pour les différents acteurs. L'utilisation du processus de décision multicritères permet de rendre comparables les différents impacts par leur standardisation en les exprimant en scores de performance (pondération en fonction des préférences pour chaque groupe d'acteurs), ce qui permet de réduire la subjectivité de l'évaluation et de proposer un score de performance global pour chaque composante de surveillance.

2.4.4. Les particularités et difficultés de l'évaluation économique des dispositifs de surveillance en santé animale

La principale difficulté de l'évaluation économique en santé animale est de combiner les conséquences épidémiologiques et les conséquences économiques de méthodes de surveillance ou de lutte, ce qui nécessite une pluridisciplinarité parfois difficile à mettre en œuvre. Certaines études associent ces deux types de modélisation, et utilisent souvent des combinaisons d'outils économiques, rendant le modèle parfois complexe et difficile à reproduire et à interpréter. Par ailleurs, il est essentiel de sélectionner les critères d'efficacité économique prenant en compte le contexte de l'évaluation et le point de vue de l'analyse (Risksur, 2013).

2.4.4.1. Interaction entre surveillance et intervention

La plupart des évaluations économiques en santé animale concernent l'évaluation des programmes de lutte contre les maladies, et l'impact financier (au niveau de l'exploitation) ou économique (à l'échelle nationale) des maladies dans les populations (Rushton *et al.*, 2009 ; Antoine-Moussiaux *et al.*, 2011 ; Risksur, 2013). Une revue systématique des méthodes d'évaluation des dispositifs de surveillance réalisée par Drewe *et al.* (2012) a souligné un manque de standardisation et d'inclusion de l'aspect économique dans les évaluations de dispositifs de surveillance. Ces auteurs préconisent que l'évaluation économique doit être une partie à part entière du processus d'évaluation d'un dispositif de surveillance, car elle fournit des critères permettant d'orienter les décisions, permettant ainsi d'optimiser les bénéfices nets de l'utilisation de ressources limitées (Häsler *et al.*, 2011a).

Par son rôle de production et de transmission d'informations nécessaires à la mise en œuvre de mesures de lutte, l'évaluation de la surveillance représente un défi méthodologique car elle est difficilement dissociable des aspects de prévention et contrôle qu'elle alimente. La surveillance doit

donc être évaluée en tant que système d'information, notamment pour l'efficacité de la collecte, du traitement et de la diffusion de données. Ainsi, [Häsler \(2011\)](#) a identifié neuf étapes à prendre en compte : planification de la surveillance, encadrement et animation, échantillonnage, analyses de laboratoire, collecte, analyse et interprétation des données, diffusion et communication des résultats, révision et adaptation éventuelle des programmes de surveillance. L'évaluation de la lutte peut tout de même être réalisée, sans nécessairement intégrer cette évaluation à celle de la surveillance. Toutefois, certains auteurs considèrent que la surveillance ne peut être évaluée correctement sans considérer simultanément la lutte ([Häsler et al., 2011a](#) ; [Howe et al., 2013](#) ; [Rich et al., 2013](#)). En effet, une surveillance efficace permet de compenser les effets négatifs de la maladie sur les animaux et la production animale, en facilitant le succès de la lutte : ainsi, les gains obtenus par la réduction des maladies suite aux interventions de contrôle doivent être comparés aux coûts de la surveillance afin d'aider à la prise de décision, pour maximiser les bénéfices en utilisant des ressources limitées, afin d'atteindre le résultat net optimal ([Häsler et al., 2011a](#)).

2.4.4.2. Aspects sociaux et comportementaux

L'efficacité et la viabilité d'un dispositif de surveillance sont fortement dépendantes de l'acceptation et de l'appropriation des méthodes par les acteurs. La compréhension des déterminants du choix des individus et des collectivités locales à participer à la surveillance est nécessaire pour appréhender au mieux les avantages et les coûts du dispositif. L'économie, souvent perçue comme une science ne traitant les phénomènes qu'à travers leurs aspects monétaires, est devenue ces dernières années une science comportementale, en tant qu'entité de prise de décision, fonction de préférences, attentes subjectives et contraintes politiques, culturelles ou sociales.

L'utilisation des sciences sociales est ainsi en augmentation dans le domaine vétérinaire, le comportement humain étant actuellement reconnu comme composant décisif dans la mise en œuvre d'un dispositif de surveillance ou de lutte. Une des premières études dans le domaine vétérinaire à aborder les interactions entre épidémiologie, politiques sanitaires et décisions individuelles a porté sur l'étude des motivations des éleveurs dans la lutte contre la tuberculose bovine en Nouvelle-Zélande ([Bicknell et al., 1999](#)), étude en partie reprise par [Gramig et Horan \(2011\)](#), qui a mis en évidence l'effet de l'interaction entre ces trois facteurs sur le délai d'éradication de la maladie.

Il y a toutefois peu de recherches appliquées à l'interaction entre l'allocation des ressources, le ratio coût-efficacité et les considérations comportementales des acteurs dans le cadre d'un dispositif de surveillance, alors que les rétroactions entre les décisions de surveillance et l'évolution de la maladie peuvent être influencées par des facteurs contextuels qui modifient le ratio coût-efficacité d'un dispositif de surveillance ([Rich et al., 2013](#)). Ces auteurs ont identifié un certain nombre d'aspects comportementaux impliqués dans la surveillance en santé animale et proposent un cadre conceptuel dynamique pour l'allocation des ressources, prenant en compte des facteurs

socio-économiques et contextuels qui peuvent influencer la prise de décision. Les actions de surveillance elles-mêmes peuvent influencer les aspects économiques, si par exemple, des stratégies engendrent des coûts pour les producteurs, ce qui peut altérer leur modèle de production et donc également modifier la diffusion de la maladie (Rich *et al.*, 2013).

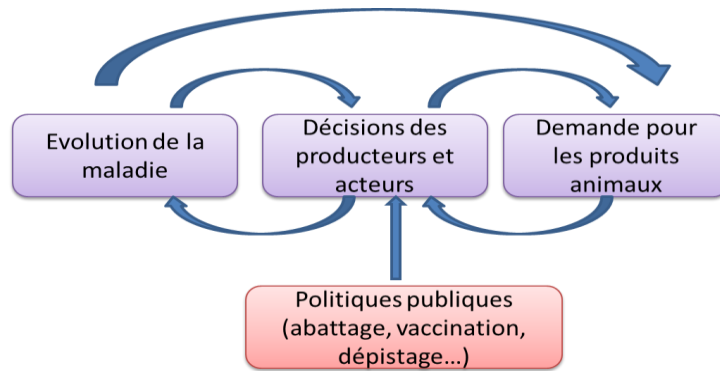
Le maintien voire le renforcement de la sensibilisation des acteurs est essentiel pour tout dispositif de surveillance événementiel. Des études par questionnaires ou entretiens conduites pour identifier les facteurs influençant le comportement de déclaration (Elbers *et al.*, 2010a, 2010b), de mise en œuvre de mesures de biosécurité renforcées (Heffernan *et al.*, 2008), et de mise en œuvre de programmes de lutte (Ellis-Iversen *et al.*, 2010), ont permis d'estimer l'effet de la prise de décision sur la sensibilité d'un dispositif. Récemment, Gilbert *et al.* (2014) ont développé un protocole d'enquêtes pour évaluer de manière probabiliste les différents facteurs influençant les comportements des acteurs de terrain (éleveurs, vétérinaires) qui peuvent influencer leur déclaration et leur participation à la surveillance (des prédicteurs à l'échelle de l'élevage peuvent être le type de production, la taille de l'élevage, la fréquence de contact avec le vétérinaire par exemple).

Enfin, les acteurs impliqués dans le financement des activités de surveillance doivent être identifiés en amont, car leurs motivations peuvent être différentes (obligations réglementaires, indemnisations pour le secteur public, facteurs compétitifs pour le secteur privé par exemple). L'analyse multicritères permet de prendre en compte ces intérêts variés, parfois conflictuels, de différents groupes d'acteurs.

2.4.4.3. Approche dynamique et rétroactions

Alors que le comportement des acteurs peut influencer activement l'épidémiologie de la maladie (Rich, 2007), il est primordial d'évaluer l'allocation des ressources dans une approche de système dynamique (Rich *et al.*, 2013). Les décisions des gestionnaires des programmes de surveillance et de lutte peuvent avoir un effet sur le comportement des producteurs et d'autres acteurs de la chaîne agro-alimentaire, qui peut à son tour influencer l'épidémiologie de la maladie (et *vice-versa*), et en conséquence, l'efficacité du dispositif au cours du temps (Rich, 2007) (**Figure 4**). Ces rétroactions ont des implications potentiellement importantes à court et long termes et sont souvent négligées. L'allocation optimale des ressources de surveillance doit donc tenir compte des effets dynamiques comme contrainte supplémentaire, les rétroactions pouvant parfois être complexes et non intuitives.

Figure 4 : Concept d'un modèle dynamique intégré épidémiologique et économique (d'après Rich, 2007)



L'objectif de l'évaluation des dispositifs de surveillance est de vérifier que les problèmes de santé sont surveillés de manière efficace et efficiente (German *et al.*, 2001 ; Groseclose *et al.*, 2010). De nombreuses méthodes d'évaluation en santé animale existent, qu'elles soient qualitatives, semi-quantitatives, quantitatives, qu'elles ne considèrent que les conséquences directes d'une maladie ou les conséquences indirectes sur le secteur économique notamment.

L'évaluation économique en santé animale peut s'avérer délicate, en raison du lien étroit entre les activités de surveillance et d'intervention, du manque de disponibilité des données nécessaires pour évaluer les performances épidémiologiques et économiques, et du faible nombre d'outils standardisés, pratiques et applicables en économie animale (Risksur, 2013). Les évaluations de la surveillance épidémiologique ont ainsi rarement été réalisées, au contraire des évaluations de programmes de contrôle ou de prévention, plus abondantes dans la littérature.

Avant de débiter toute évaluation, il faut placer les efforts de surveillance dans leurs contextes épidémiologique et socio-économique, qui peuvent avoir une influence directe sur l'épidémiologie de la maladie à travers les mesures de lutte, et un effet indirect sur le comportement des acteurs (Peyre *et al.*, 2011 ; Rich *et al.*, 2013). La compréhension des moteurs de la participation des acteurs à un dispositif de surveillance est primordiale pour améliorer la sensibilité de la surveillance.

III. Problématique et objectifs de la thèse

L'évaluation des dispositifs de surveillance, sur lesquels sont fondées les décisions sanitaires, est indispensable afin de garantir leur bon fonctionnement et la qualité des données collectées. La qualité des dites données est un point critique essentiel du bon fonctionnement d'un dispositif, et dépend notamment de leur méthode de collecte, d'analyse et de partage (Thurmond, 2003). Le manque de ressources, humaines ou financières, peut affecter la possibilité de collecte sur le terrain, la qualité du diagnostic de laboratoire, et la capacité des services vétérinaires à prévenir et contrôler la diffusion de la maladie (Perez *et al.*, 2011).

Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation en santé animale, intégrant des aspects économiques ou non, et de nombreux aspects d'un dispositif peuvent être évalués. Toutefois, alors que l'évaluation des programmes de lutte contre les maladies a fait l'objet de nombreuses études, l'évaluation de la surveillance au sens strict n'a été réalisée que dans un nombre limité de cas.

L'évaluation de dispositifs de surveillance complexes, qui combinent plusieurs composantes de divers types (surveillance programmée, surveillance événementielle, surveillance événementielle renforcée), concernent plusieurs populations domestiques ou sauvages et font intervenir un large réseau d'acteurs et de multiples sources de données, pose des problèmes méthodologiques pour certains encore non résolus. De nouvelles méthodes sont en cours de développement ou d'application pour tenter de remédier à ces difficultés, ouvrant de nouvelles perspectives dans l'évaluation de dispositifs en santé animale.

La problématique générale de ce travail de thèse était la suivante : « **comment évaluer des dispositifs de surveillance complexes et optimiser leur efficacité ?** ». Pour répondre à cette question, nous avons choisi d'étudier le dispositif de surveillance de la tuberculose bovine à *Mycobacterium bovis* en France. La finalité de cette thèse était ainsi de contribuer au développement de modalités d'évaluation de dispositifs de surveillance complexes, en prenant l'exemple appliqué de ce dispositif de surveillance.

L'évaluation globale de la surveillance de la tuberculose en France suppose d'étudier à la fois la composante domestique et la composante sauvage des activités de surveillance. Une évaluation semi-quantitative du dispositif de surveillance de la tuberculose en élevage bovin à l'aide de la méthode Oasis a été réalisée en 2011 (Gorecki *et al.*, 2012 ; Anses, 2012), mais cette évaluation ne propose qu'une estimation peu précise de la valeur de la sensibilité et de la spécificité de la surveillance. Par ailleurs, les particularités de la surveillance de la faune sauvage n'ont été prises en compte que de manière globale et aucune approche économique n'a été réalisée.

Dans ce travail, nous avons circonscrit notre approche à la composante faune sauvage de la surveillance. Le dispositif de surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage, appelé dispositif Sylvatub, a été mis en place récemment, en 2011, par le Ministère en charge de l'Agriculture. Face à

ce nouveau dispositif et dans le contexte économique contraint actuel, l'évaluation de la sensibilité de ce dispositif, au regard de ses objectifs, contraintes et de l'investissement humain et financier nécessaire, paraissait ainsi essentielle.

L'objectif de cette étude a consisté en l'évaluation du dispositif Sylvatub à l'aide de plusieurs méthodes : (1) une méthode quantitative d'estimation de la sensibilité de la surveillance par arbres de scénarios, (2) une méthode quantitative d'estimation du coût de la surveillance, permettant le calcul d'un ratio coût-efficacité, (3) une méthode semi-quantitative permettant d'investiguer le fonctionnement général du dispositif et (4) une méthode qualitative sociologique permettant d'investiguer son acceptabilité par les différents groupes d'acteurs y participant. L'efficacité d'un dispositif de surveillance dans le contexte d'éradication d'une maladie animale repose principalement sur le calcul de la sensibilité des activités mises en place. En effet, pour qu'un dispositif soit efficace à moindre coût, il faut qu'il soit capable de détecter correctement les individus infectés et les individus indemnes. La sensibilité est un attribut classique de l'efficacité de la surveillance, tandis que la spécificité influence fortement les coûts liés à la surveillance en générant des coûts supplémentaires, et l'acceptabilité des mesures par les acteurs de terrain.

Le manuscrit suit le plan suivant :

- Le chapitre II présente la tuberculose bovine, maladie réglementée pouvant affecter des espèces domestiques ou sauvages et présentant des enjeux économiques et de santé publique importants.
- Le chapitre III présente l'application d'une méthode d'évaluation coût-efficacité par arbres de scénarios au dispositif Sylvatub. L'utilisation de la modélisation par arbres de scénarios permet de réaliser une évaluation du dispositif dans son contexte environnemental et économique, et de prendre en compte des facteurs comportementaux et sociaux (motivation, connaissance, peur des conséquences) qui peuvent influencer la déclaration et la participation au dispositif, comme proposé par [Rich et al. \(2013\)](#) et [Gilbert et al. \(2014\)](#).
- Le chapitre IV présente l'application de méthodes complémentaires d'évaluation du dispositif Sylvatub, à savoir (1) une méthode semi-quantitative permettant l'évaluation du fonctionnement et de divers attributs du dispositif (méthode Oasis Flash) et (2) une méthode qualitative sociologique permettant l'investigation de l'acceptabilité et des différents facteurs motivationnels ou bloquants qui influencent l'implication des acteurs dans le dispositif.
- Enfin, le chapitre V permet une discussion générale sur l'utilisation des méthodes d'évaluation par arbres de scénarios pour l'évaluation de dispositifs de surveillance complexes comme celui de la tuberculose bovine, et sur la complémentarité des méthodes d'évaluation utilisées dans ce travail. Les perspectives sont également présentées, notamment dans le cadre de l'application de cette méthode au dispositif de surveillance de la tuberculose en élevage bovin et du développement méthodologique de l'intégration synergique de diverses méthodes d'évaluation.

CHAPITRE II.

La tuberculose bovine et sa surveillance en Europe et en France

I. La tuberculose bovine : généralités

1.1. Etiologie et espèces sensibles

La tuberculose est une maladie infectieuse réglementée due à des bactéries de l'ordre des Actinomycétales, de la famille des *Mycobacteriaceae* et du genre *Mycobacterium*, qui peut infecter l'Homme et de nombreuses espèces animales (vertébrés). Trois groupes sont distingués au sein des mycobactéries selon leur pouvoir pathogène : les mycobactéries pathogènes, qui appartiennent au complexe *Mycobacterium tuberculosis* ou au complexe *Mycobacterium avium intracellulare* ; les mycobactéries opportunistes, qui provoquent des affections souvent bénignes et peu contagieuses chez les bovins ; et les mycobactéries saprophytes, présentes dans l'environnement (eau, sol, végétaux) et chez les animaux (tube digestif, lait, peau et muqueuses notamment).

La tuberculose bovine est principalement due à des bactéries du complexe *Mycobacterium tuberculosis* : *Mycobacterium bovis*, ou, plus rarement, *Mycobacterium caprae* ou *Mycobacterium tuberculosis*. L'infection par des mycobactéries atypiques (opportunistes ou saprophytes) n'est pas réglementée mais peut interférer avec le dépistage ou le diagnostic de la tuberculose bovine en provoquant des réactions faussement positives.

Les bovins sont le principal réservoir de la tuberculose à *M. bovis*. Toutefois, des espèces sauvages comme les blaireaux (*Meles meles*), les sangliers (*Sus scrofa*) ou les cerfs (*Cervus elaphus*), peuvent être contaminées par les bovins et les infecter en retour, à l'occasion de contacts rapprochés, entretenant ainsi le cycle épidémiologique (Corner, 2006 ; Anses, 2011). Des animaux sauvages infectés ont été ainsi détectés dans plusieurs pays, en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique et en Nouvelle-Zélande ; le rôle des espèces dans le cycle épidémiologique de la tuberculose variant selon les pays (réservoir, hôte transmetteur, cul-de-sac épidémiologique).

1.2. Physio-pathogénie de l'infection tuberculeuse

La contamination des animaux se fait essentiellement par contact direct, par inhalation d'aérosols infectieux dans 95 % des cas (Neill *et al.*, 2001 ; Corner, 2006), ou, plus rarement, par voie digestive par ingestion ou léchage de matières contaminées (lait, eau, fourrage, pierre à lécher, etc.) ou par voie vénérienne (OIE, 2011). Les mycobactéries étant très résistantes dans le milieu extérieur, la contamination peut également se faire par transmission indirecte à partir des locaux, matériels ou pâturages contaminés (Phillips *et al.*, 2003).

L'infection se manifeste par une réaction immunitaire cellulaire suite à l'activation des lymphocytes T (Ritacco *et al.*, 1991 ; Pollock *et al.*, 2001), induisant la formation de granulomes (Pritchard, 1988) puis d'une hypersensibilité retardée (HSR). La réaction allergique est irrégulière, avec des phases d'anergie à certains stades physiologiques (animaux jeunes, âgés, femelles autour du part), pouvant générer des résultats faussement négatifs lors du dépistage. La production d'anticorps est quant à elle tardive et irrégulière (Neill *et al.*, 2001).

L'incubation est relativement longue, les premiers signes apparaissant généralement plusieurs mois à plusieurs années après la contamination. L'expression clinique d'une affection tuberculeuse est relativement rare chez l'animal et se manifeste le plus souvent par un syndrome chronique débilitant (Anses, 2011), associé à une diminution des performances zootechniques (production de lait et viande). Les lésions peuvent être localisées (tubercules) dans des ganglions lymphatiques ou certains organes (poumons, foie...) ou étendues et mal délimitées (épanchements tuberculeux), mais sont souvent de petite taille (< 1 cm) et ne sont associées à aucune manifestation clinique, nécessitant ainsi un examen approfondi pour leur détection (McIlroy *et al.*, 1986). L'excrétion du bacille tuberculeux est durable, bien que son intensité soit irrégulière au cours du temps (Neil *et al.*, 1988). Elle est plus importante chez les animaux présentant des lésions ouvertes, évoluées ; cette situation étant toutefois actuellement rare chez les bovins. Les matières virulentes sont variées et dépendent des voies d'infection et d'excrétion (jetage, salive, expectorations, lait, déjections, sécrétions génitales et sperme, ainsi que les tissus et le sang dans les formes évolutives) (Payne, 2014).

La pathogénie peut varier selon les espèces, en fonction notamment des voies de pénétration des bacilles, de la localisation et de la sévérité des lésions, dont dépendent les voies et niveaux d'excrétion et donc la transmission intra- ou inter-espèces (Biet *et al.*, 2005 ; Corner, 2006). Ainsi, par exemple, les blaireaux avec une tuberculose généralisée excrètent *via* l'appareil respiratoire, dans l'urine et dans les fèces, ainsi que dans les exsudats d'éventuelles blessures (Gallagher *et al.*, 1976 ; Clifton-Hadley *et al.*, 1993 ; Corner, 2006). Chez les cerfs, la distribution des lésions suggère que la voie d'infection est à la fois l'inhalation et l'ingestion (Morris *et al.*, 1994).

1.3. Dépistage et diagnostic

Les performances moyennes des tests présentés ci-après sont synthétisées dans l'**Annexe 2**.

1.3.1. Dépistage *ante-mortem*

1.3.1.1. Dépistage clinique

La tuberculose est une maladie chronique d'évolution lente avec une symptomatologie peu spécifique : perte d'appétit, amaigrissement, faiblesse, perte de production. Une adénomégalie, des signes respiratoires et/ou digestifs peuvent être observés selon la localisation des organes atteints.

Les infections inapparentes sont de loin les plus fréquentes : le dépistage ne peut donc pas se fonder uniquement sur l'examen clinique, et doit s'appuyer sur un examen lésionnel toutefois également peu sensible et peu spécifique. Des examens complémentaires sont donc indispensables, notamment pour permettre une détection précoce de la maladie (de la Rua-Domenech *et al.*, 2006).

1.3.1.2. Dépistage allergique

Le dépistage allergique repose sur des intradermotuberculinations (injection de tuberculine, un allergeo-haptène, dans le derme). Deux méthodes sont utilisées à l'heure actuelle, l'intradermotuberculination simple (IDS) et l'intradermotuberculination comparative (IDC). Elles permettent de révéler le phénomène d'HSR si l'animal est infecté, par apparition d'une réaction inflammatoire locale dans les 48 à 72 heures suivant l'injection (Francis, 1947 ; Snider, 1982 ; Lepper *et al.*, 1997). L'HSR est décelable par tuberculination entre 15 jours et 6 mois après contamination, mais l'intensité de la réaction allergique est fluctuante, notamment en fonction de facteurs physiologiques ou thérapeutiques (de la Rua-Domenech *et al.*, 2006). Il est donc important de renouveler régulièrement les tuberculinations, en respectant un délai minimum de 42 jours entre les injections afin d'éviter les phénomènes d'anergie. L'IDC, par injection simultanée de tuberculine bovine et aviaire, permet de comparer les réactions dues à *M. bovis* et celles dues à des mycobactéries atypiques et est donc plus spécifique que l'IDS.

Les tuberculinations ne sont pas adaptées pour le dépistage de la tuberculose dans la faune sauvage libre (de Lisle *et al.*, 2002) : la dose de tuberculine adaptée n'est pas connue, la recapture des animaux tuberculins pour la lecture des résultats est pratiquement impossible (Chambers, 2009, 2013) et l'exposition à des mycobactéries environnementales peut fortement influencer les qualités des tests (de la Rua-Domenech *et al.*, 2006 ; Maas *et al.*, 2013). Le dépistage allergique est cependant parfois utilisé dans des élevages de gibiers (Wahlström *et al.*, 2010).

1.3.1.3. Dépistage par dosage de l'interféron gamma (IFN- γ)

Le dosage de l'IFN- γ , interleukine produite par les lymphocytes T suite à une stimulation antigénique par des mycobactéries (Pollock et Neill, 2002), a été développé dans les années 1980 en Australie. Le phénomène d'HSR est révélé *in vitro* suite à un prélèvement sanguin en mesurant la libération d'IFN- γ après stimulation d'une culture de sang total par de la tuberculine ou des antigènes spécifiques de *M. bovis* (Rothel *et al.*, 1990 ; Wood *et al.*, 1991 ; Wood et Rothel, 1994 ; Wood et Jones, 2001). Ce test est en cours de validation chez les bovins à l'échelle européenne et est utilisable chez certaines espèces sauvages (blaireaux et cerfs notamment) (Dalley *et al.*, 2008 ; EFSA, 2009). Il permet une détection plus précoce qu'avec la tuberculination et ne nécessite qu'une seule manipulation des animaux. Il fournit un résultat indépendant de l'opérateur, avec une sensibilité équivalente à celle de l'IDS et supérieure à celle de l'IDC (de la Rua-Domenech *et al.*, 2006 ; Vordermeier *et al.*, 2008). Toutefois, l'analyse est onéreuse et les prélèvements doivent être traités rapidement (dans les 8 heures), ce qui engendre des contraintes logistiques.

1.3.1.4. Dépistage sérologique

Les tests sérologiques ont des avantages en terme de logistique (stabilité des anticorps lors du transport, stockage, manipulation), mais sont peu utilisés car la production d'anticorps est tardive, limitant ainsi la détection d'animaux récemment infectés, et leur concentration sérique est irrégulière, les résultats variant selon le stade de l'infection (Bezous *et al.*, 2014b). Le dépistage sérologique est davantage développé pour les animaux sauvages que pour les bovins, chez qui la maladie ne progresse pas assez pour faire face à une diminution de la réaction à médiation cellulaire et à une augmentation de la réaction sérologique (Pollock *et al.*, 2001). Plusieurs tests sont à l'étude actuellement (Cousins, 2001 ; Wood et Jones, 2001 ; Pollock et Neill, 2002 ; Schiller *et al.*, 2010 ; Boadella *et al.*, 2011b, 2011c ; Chambers, 2013 ; Maas *et al.*, 2013).

1.3.2. Dépistage et diagnostic *post-mortem*

1.3.2.1. Inspection *post-mortem*

Les lésions évocatrices de tuberculose pouvant être détectées lors d'une inspection *post-mortem* sont des granulomes nodulaires également appelés « tubercules », nodules de taille variable, de consistance caséuse, caséo-calcaire ou calcifiée. La spécificité de l'inspection *post-mortem* est faible, car d'autres agents pathogènes peuvent causer des lésions macroscopiques similaires, comme par exemple les Actinomycètes (Norton, 1976), *Rhodococcus equi* (Meijer et Prescott, 2004), ou des mycobactéries du complexe *M. avium* (de Lisle *et al.*, 1995). *M. microti* a par exemple été isolée chez des sangliers et des porcs présentant des lésions évocatrices de tuberculose en Italie et en Suisse (Vicente *et al.*, 2006 ; Dondo *et al.*, 2007 ; Schöning *et al.*, 2013).

Les lésions peuvent être petites et localisées aux nœuds lymphatiques, et ainsi passer facilement inaperçues. La sensibilité de l'examen nécropsique est donc également faible (Schiller *et al.*, 2010, 2011 ; EFSA, 2013), bien que difficilement estimable : elle dépend en effet de plusieurs facteurs, dont l'expérience du technicien réalisant l'inspection (vétérinaire en abattoir, chasseur lors de l'examen des venaisons), de la cadence imposée par l'abattoir (contraintes économiques), du stade d'infection (conditionnant la présence et la taille des lésions) et de l'animal soumis à l'inspection (expression lésionnelle variable selon les espèces). Ainsi, une étude conduite en France a montré que les lésions macroscopiques chez les cerfs étaient souvent caséuses et localisées aux nœuds lymphatiques mésentériques, tandis qu'elles étaient davantage caséo-calcaires et localisées aux nœuds lymphatiques rétropharyngiens chez les sangliers, avec peu de formes généralisées (Zanella *et al.*, 2008a, 2008b). De nombreuses études ont ainsi montré que la prévalence de la tuberculose estimée à partir d'examen macroscopiques était largement sous-estimée, et que la réalisation d'analyses de laboratoire permettait d'augmenter la sensibilité chez les sangliers (O'Brien *et al.*, 2004 ; Vicente *et al.*, 2006 ; Santos *et al.*, 2010), les cerfs (jusqu'à un quart des cerfs infectés ne présenterait pas de lésions macroscopiques détectables d'après Lugton *et al.*, 1998), et les blaireaux (environ 2/3 des blaireaux infectés ne présenteraient pas de lésions macroscopiques d'après Murphy *et al.*, 2010). La corrélation entre le statut infectieux de l'animal et la présence de lésions

macroscopiques évocatrices de tuberculose dépend ainsi de l'espèce, du stade de l'infection, du milieu environnant et de la présence éventuelle d'autres infections (Rohonczy *et al.*, 1996).

1.3.2.2. Histologie

L'examen histologique n'est pas spécifique de *M. bovis*, toutes les mycobactéries étant des bacilles acido-alcoolo-résistants identifiables par la coloration de Ziehl Nielsen. La sensibilité est toutefois satisfaisante, bien que variant selon les espèces et la sévérité de l'infection (Maas *et al.*, 2013) et le résultat est obtenu rapidement (quelques jours).

1.3.2.3. Culture bactérienne et typage génétique

La culture bactérienne, qui permet l'isolement et l'identification de l'espèce de mycobactérie, est considérée comme le test de référence pour les bovins et les espèces sauvages. L'isolement et l'identification de *M. bovis* suffisent ainsi à établir le diagnostic, mais le résultat est long à obtenir : la culture des bacilles tuberculeux nécessite l'utilisation de milieux enrichis et la croissance des mycobactéries est lente (en moyenne quatre à six semaines pour *M. bovis*). Sa spécificité est de 100 % (de Lisle *et al.*, 2002 ; Gavier-Widen *et al.*, 2009 ; Santos *et al.*, 2010), car elle permet de discriminer *M. bovis* des autres mycobactéries. Toutefois, la culture peut produire des résultats faussement négatifs, notamment lors de processus de décontamination trop sévères qui peuvent détruire les bacilles (O'Brien *et al.*, 2004). La culture est souvent utilisée comme test de référence lors de l'évaluation de nouvelles méthodes diagnostiques (Thoen *et al.*, 1995 ; de Lisle *et al.*, 2002 ; Maas *et al.*, 2013) ; l'interprétation des résultats devant se faire avec prudence en raison des défauts de sensibilité de cette méthode (Gavier-Widen *et al.*, 2009 ; Santos *et al.*, 2010).

Le génotypage de la souche isolée en culture permet d'étudier l'origine de l'infection (Haddad *et al.*, 2001, 2004). Le spoligotypage est la méthode la plus utilisée (plus de 180 spoligotypes de *M. bovis* ont été identifiés en France à partir d'animaux domestiques ou sauvages). L'identification des souches peut être affinée par une technique d'analyse par microsatellites (VNTR).

1.3.2.4. Polymerase Chain Reaction (PCR)

Introduite récemment dans les textes réglementaires, cette technique permet de réduire le délai d'obtention des résultats par rapport à la culture, et présente une bonne spécificité, ainsi qu'une sensibilité équivalente ou supérieure à celle de la culture (Courcoul *et al.*, 2014). Elle peut être réalisée après la culture, ou directement sur des échantillons suspects ; la deuxième technique nécessitant toutefois des charges bactériennes élevées. Les résultats sont variables, et souvent insatisfaisants sur les échantillons contenant peu de bacilles (Drewe *et al.*, 2009). Une PCR discriminant les infections par *M. bovis* de celles dues à d'autres mycobactéries (comme *M. microti*, fréquemment retrouvée chez les sangliers) est en cours de développement dans plusieurs pays, dont la France. La bactériologie est toutefois réalisée systématiquement, notamment pour les besoins des enquêtes épidémiologiques nécessitant l'identification précise de la souche par spoligotypage.

Il existe de nombreux tests de dépistage ou de diagnostic de la tuberculose bovine, qui sont souvent utilisés de façon combinée (en parallèle ou en série) afin d'améliorer la qualité de la détection. Ainsi, l'utilisation de tests en parallèle permet d'augmenter la sensibilité et la valeur prédictive négative du diagnostic (Santos *et al.*, 2010). L'utilisation des tests et l'interprétation de leurs résultats dépendent toutefois du contexte épidémiologique local.

Ces dernières années, de nombreux tests diagnostiques ont été évalués chez les espèces sauvages (Cousins et Florisson, 2005 ; Chambers, 2009, 2013 ; Maas *et al.*, 2013), bien que cette évaluation soit difficile en raison des modalités de travail sur ces espèces (Artois *et al.*, 2001 ; Santos *et al.*, 2010) (diverses contraintes ont été recensées : difficultés d'accès aux animaux, prélèvements dans des zones géographiques parfois étendues, conditions de terrain difficiles, prélèvements dégradés – blessure par balle, consommation partielle des viscères par des charognards, contamination des tissus par des fèces ou des agents environnementaux, ...).

II. Situation épidémiologique de la tuberculose bovine

2.1. Situation mondiale et européenne

L'infection à *M. bovis* est cosmopolite. L'Union Européenne (U.E.) est actuellement composée de 15 pays « officiellement indemnes », 10 pays non indemnes, et 3 pays « régionalisés » (dans lesquels seulement certaines zones sont considérées « indemnes ») ([Décision de la Commission 2003/467/CE, dernièrement amendée en 2012](#)). Le statut « officiellement indemne de tuberculose bovine » est attribué si le taux d'infection des troupeaux est inférieur à 0,1 %. Une hétérogénéité des situations épidémiologiques est toutefois observée, pour des pays de même statut ou au sein même d'un pays. Ainsi, en 2013, six pays non officiellement indemnes avaient une prévalence en élevage bovin relativement élevée à l'échelle nationale : le Royaume-Uni (prévalence générale de 12,1 % dans les zones infectées d'Angleterre, d'Irlande du Nord et du Pays de Galles), l'Irlande (4,0 %), l'Espagne (1,2 %), la Grèce (0,9 %), l'Italie (0,4 %) et le Portugal (0,5 % en 2011, pas de données déclarées à l'échelle nationale en 2013). Des foyers ont également été recensés dans certains pays indemnes, par exemple en 2013 en France (112 troupeaux, soit un taux de troupeaux infectés de 0,05 %), Pologne (20 troupeaux, 0,03 %), Pays-Bas (3 troupeaux, 0,008 %), Belgique (9 troupeaux, 0,03 %) et Allemagne (46 troupeaux, 0,05 %) ([Commission Européenne, 2012 ; EFSA et ECDC, 2013, 2015](#)).

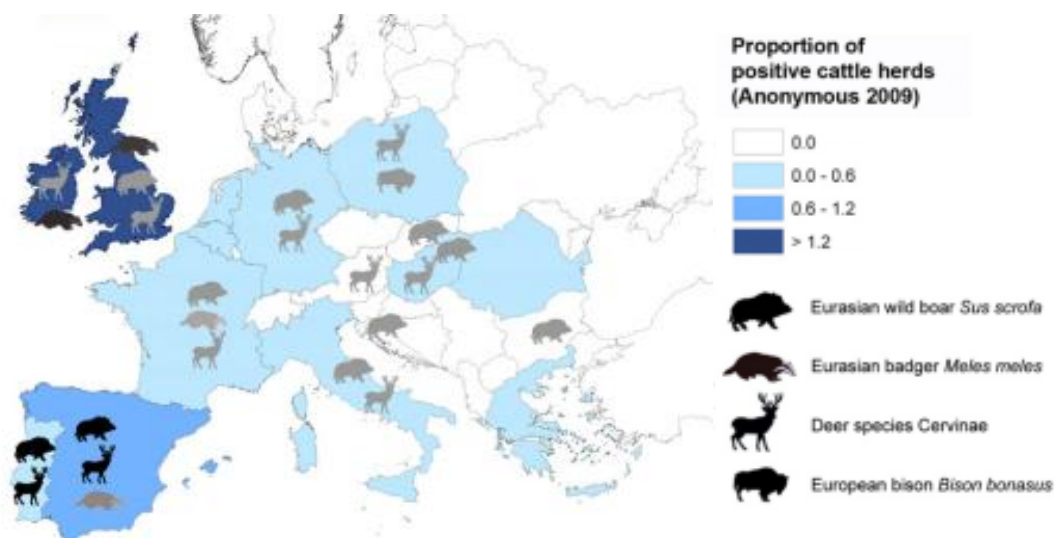
La tuberculose bovine a été décrite dans la faune sauvage libre de plusieurs pays ([de Lisle et al., 2002 ; Hars et al., 2007 ; Anses, 2011 ; Gortazar et al., 2011, 2012 ; Palmer et al., 2012 ; Maas et al., 2013 ; Fitzgerald et Kaneene, 2013](#)). Il est généralement admis que l'origine de ces foyers sauvages est bovine : ce phénomène est très inquiétant car il laisse craindre, sous certaines conditions environnementales et démographiques, la constitution d'un réservoir sauvage capable d'entretenir l'infection tuberculeuse et potentiellement de la transmettre à nouveau aux animaux domestiques et à l'Homme à plus ou moins long terme. Les espèces sauvages peuvent jouer différents rôles dans l'épidémiologie de la tuberculose ([Nugent et al., 2002 ; Haydon et al., 2002 ; Corner, 2006 ; Palmer et al., 2012 ; Fitzgerald et Kaneene, 2013](#)), en fonction notamment des voies d'infection, de la localisation anatomique des lésions, des voies et du niveau d'excrétion, de la dynamique de l'infection dans la population sauvage (liée notamment à la biologie de l'espèce), de la densité de population, des phénomènes d'agrégation des animaux (parfois artificiels, par distribution d'eau ou d'aliments par exemple), de la distribution géographique de l'hôte sauvage et des potentielles interactions entre la population sauvage et la population domestique ([Corner, 2006](#)).

Certaines populations sont capables d'entretenir à elles seules la tuberculose dans des conditions naturelles, indépendamment d'autres espèces : elles constituent alors de véritables réservoirs (parfois qualifiés de « réservoirs primaires ») et sont potentiellement capables de retransmettre l'infection aux bovins. C'est le cas par exemple du Blaireau (*Meles meles*) au Royaume-

Uni et en Irlande (Delahay *et al.*, 2001), du Sanglier (*Sus scrofa*) dans certaines régions d'Espagne (Naranjo *et al.*, 2008), du Cerf élaphe (*Cervus elaphus*) dans la forêt de Brotonne en France (Hars *et al.*, 2006), du Phalanger-renard (*Trichosurus vulpecula*) en Nouvelle-Zélande (de Lisle *et al.*, 2001), du Cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) dans le Michigan (U.S.A) (Schmitt *et al.*, 2002) ou du Buffle d'Afrique (*Syncerus caffer*) en Afrique du Sud (Michel, 2002). D'autres populations peuvent transmettre la tuberculose, mais ne sont pas capables de l'entretenir sans la présence d'un réservoir : elles sont qualifiées d'« hôte de liaison » ou « hôte transmetteur ». C'est le cas par exemple du Sanglier en Australie (McInerney *et al.*, 1995) ou du Furet (*Mustela putorius furo*) en Nouvelle-Zélande (Ryan *et al.*, 2006). Enfin, des populations sont incapables de transmettre et d'entretenir l'infection : ce sont des « culs-de-sac épidémiologiques », comme cela a été montré par exemple pour les carnivores et les rongeurs sauvages au Royaume-Uni (Delahay *et al.*, 2002) ou les sangliers en Italie (Serraino *et al.*, 1999). Dans le cas de systèmes multi-hôtes, le réservoir est constitué de plusieurs populations d'espèces différentes et peut inclure des compartiments abiotiques (éléments non-vivants d'un écosystème). L'ensemble forme alors une « communauté réservoir » de l'infection, dans laquelle peuvent aussi se trouver des hôtes non essentiels au maintien du pathogène, mais jouant un rôle dans sa transmission (Haydon *et al.*, 2002).

La **Figure 5** illustre la situation de quelques pays européens au regard de l'infection à *M. bovis* chez les bovins et dans la faune sauvage. L'**Annexe 3** présente une synthèse du rôle joué par certaines espèces sauvages dans le cycle épidémiologique de la tuberculose et illustre l'hétérogénéité du rôle joué par ces espèces, constatée entre certains pays (Rivière *et al.*, 2014b).

Figure 5 : Situation européenne au regard de l'infection à *M. bovis* chez les bovins et dans la faune sauvage (en noir : réservoir avéré ; en gris : rôle épidémiologique inconnu) (Gortazar *et al.*, 2012)



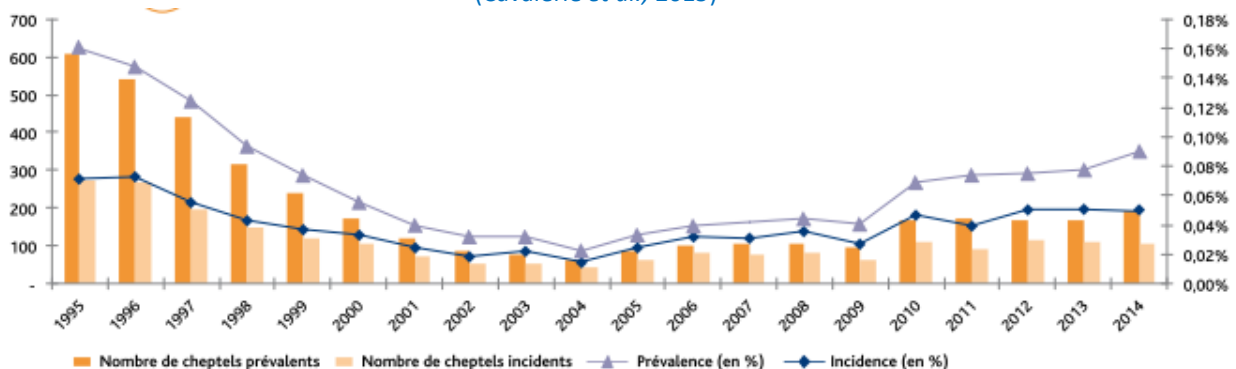
Certaines espèces sauvages sont de potentiels réservoirs pour la faune domestique et l'Homme, et peuvent entraver les programmes de lutte voire d'éradication mis en place dans les cheptels bovins (Gortazar *et al.*, 2012 ; EFSA, 2013). La connaissance de leur rôle dans le cycle épidémiologique de la tuberculose est primordiale pour déterminer si des mesures de contrôle doivent être mises en œuvre et pour déterminer les priorités d'action (Naranjo *et al.*, 2008).

2.2. Situation en France

2.2.1. Situation épidémiologique en élevage bovin

La lutte contre la tuberculose bovine en France a débuté en 1954, par une prophylaxie facultative mise en œuvre par les Groupements de Défense Sanitaire (GDS), devenue obligatoire à l'échelle nationale en 1965. En 1955, la prévalence à l'échelle troupeau était estimée à environ 25 % (Bénet *et al.*, 2006). La France a obtenu le statut officiellement indemne de tuberculose au plan européen en 2001 (Décision de la Commission 2001/26/CE), malgré la persistance de quelques foyers chaque année. Les mesures de lutte ont permis une amélioration de la situation épidémiologique jusqu'en 2004, mais depuis, l'incidence de la tuberculose est de nouveau en augmentation (Figure 6).

Figure 6 : Evolution de l'incidence et de la prévalence de la tuberculose bovine en France de 1995 à 2014
(Cavalerie *et al.*, 2015)



Un nombre limité de départements ou zones géographiques cumulent la majorité des foyers observés depuis quelques années : Côte-d'Or, Dordogne, Camargue, Pyrénées-Atlantiques et Landes notamment ; des foyers isolés étant également identifiés dans un nombre croissant de départements, remettant ainsi en question le statut officiel du pays (Figure 7). L'augmentation de la sensibilisation des acteurs (éleveurs et vétérinaires) a permis d'améliorer la détection de foyers qui permettaient certainement l'entretien de l'infection à bas bruit (Anses, 2011). Les foyers sont parfois circonscrits à une zone géographique particulière et dus à un même spoligotype, laissant craindre l'existence d'un facteur local assurant l'entretien et la propagation de l'infection.

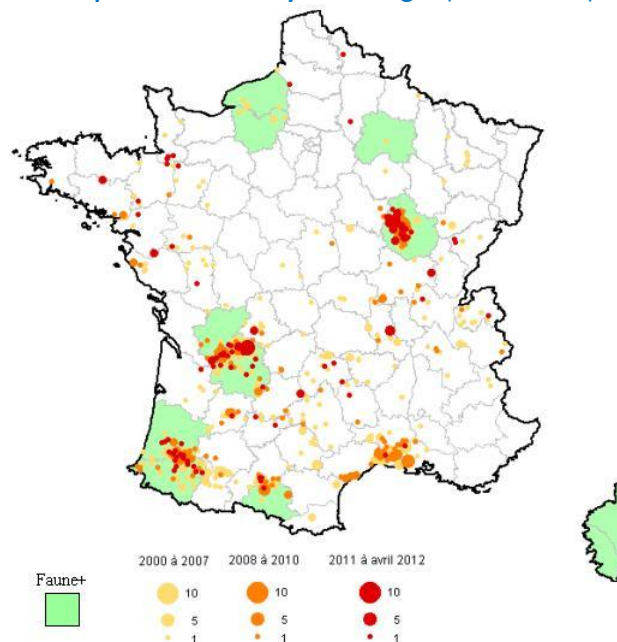
2.2.2. Situation épidémiologique dans la faune sauvage libre

La tuberculose à *M. bovis* a été découverte dans la faune sauvage pour la première fois en France en 2001, chez un cerf tué à la chasse en forêt de Brotonne (Normandie). Des enquêtes épidémiologiques conduites les années suivantes ont mis en évidence des taux d'infection élevés (14 % chez les cerfs et 28 % chez les sangliers en 2001-2002, et respectivement jusqu'à 20 % et 40 % en 2005-2006) (Hars *et al.*, 2013a). En 2006, l'éradication de la population de cerfs, considérée comme réservoir, a été entreprise (mesure rendue possible grâce au caractère bien délimité et fermé de cette forêt), ainsi qu'une réduction significative des populations de sangliers, considérés comme

hôtes transmetteurs. Actuellement, la prévalence apparente d'infection chez les sangliers est devenue très faible, même si la découverte de deux sangliers infectés en 2012 laisse craindre la persistance d'une source d'infection.

Des animaux sauvages infectés (sangliers, cerfs, chevreuils, blaireaux) ont par la suite été détectés dans plusieurs zones d'infection en élevage bovin (Côte-d'Or, Dordogne, Charente, Pyrénées-Atlantiques, Corse et Ariège notamment), toujours à proximité de foyers bovins (**Figure 7**) et avec des souches de *M. bovis* similaires à celles identifiées chez les bovins ; sans toutefois que leur rôle épidémiologique ne soit correctement identifié et avec une forte hétérogénéité de situations selon les départements en termes d'espèces concernées et de niveaux de prévalence (Hars *et al.*, 2013a).

Figure 7 : Distribution par commune des foyers bovins incidents de 2000 à 2012 (ronds de couleur) et par département des foyers sauvages (Source DGA)



L'émergence apparente de la tuberculose bovine dans la faune sauvage libre complique l'éradication de la maladie en élevage bovin. Les animaux domestiques peuvent être considérés comme étant à l'origine de la contamination des espèces sauvages (Hars *et al.*, 2010 ; Anses, 2011), chez lesquelles on peut par ailleurs craindre la constitution d'un réservoir. La forêt de Brotonne est le seul site où, à ce jour, un véritable réservoir sauvage de *M. bovis* a été révélé en France. Dans les autres zones, la question est de savoir si un tel réservoir est en voie de constitution. Afin de mieux comprendre le rôle des populations sauvages dans les différents départements français, et d'évaluer les risques de recontamination des bovins par les animaux sauvages, un dispositif de surveillance harmonisé à l'échelle nationale, nommé « Sylvatub », a été mis en place en 2011.

III. Surveillance de la tuberculose bovine

3.1. Réglementation européenne de la surveillance

3.1.1. Surveillance de la tuberculose en élevage bovin

La surveillance de la tuberculose en élevage bovin est réglementée à l'échelle européenne et repose sur trois principales composantes de surveillance : dépistage régulier en élevage, contrôles lors des mouvements des animaux, et examens *post-mortem* à l'abattoir ([Directive 64/432/CEE, 1964](#) ; [Directive 64/433/CEE, 1964](#) ; [Directive 92/46/CEE, 1992](#) ; [Règlement 854/2004/CE, 2004](#)).

Un dépistage annuel de tous les bovins âgés de plus de 6 semaines est en principe obligatoire, l'intradermotuberculination étant le test de référence. L'IDS est souvent utilisée en première intention, mais l'IDC, plus spécifique ([de la Rua-Domenech et al., 2006](#)), peut être préférable dans certaines situations. Le test IFN- γ peut être utilisé en parallèle d'une intradermotuberculination (le même jour, afin d'augmenter la sensibilité), mais n'est pas autorisé seul lors du dépistage ou pour un contrôle à l'introduction d'animaux dans un élevage ([Règlement 1226/2002/CE, 2002](#)). En fonction de l'évolution de la prévalence annuelle, des allègements de rythme et d'âge de dépistage sont possibles, car la baisse de prévalence peut conduire à une diminution des valeurs prédictives positives et donc à de nombreuses erreurs par excès en raison de la spécificité limitée des tests.

Les contrôles à l'introduction ne sont pas systématiques si les bovins proviennent d'une zone indemne, mais doivent être maintenus sur les animaux issus d'élevages classés « à risque », d'élevages où le taux de rotation est important, et si la durée de transport excède 6 jours.

La surveillance à l'abattoir correspond à un examen systématique des carcasses des animaux abattus pour la consommation humaine, par une inspection visuelle, une palpation et une incision de certains organes et nœuds lymphatiques. Si des lésions évocatrices de tuberculose sont détectées, les organes et/ou nœuds lymphatiques anormaux doivent être prélevés, ainsi que d'autres nœuds lymphatiques, lésés ou non, pour réalisation d'analyses de laboratoire : culture, afin de confirmer la présence de *M. bovis*, et éventuellement PCR pour détecter le complexe *M. tuberculosis* ([Directive 64/432/CEE, 1964](#)). Cette composante permet une détection tardive et a une faible sensibilité ([Schiller et al., 2011](#) ; [EFSA, 2013](#)), mais a l'avantage d'être effectuée en continu, et complète donc efficacement le dépistage par intradermotuberculination réalisé de façon périodique.

3.1.2. Surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre

La surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage n'est actuellement pas réglementée au plan européen : chaque pays est libre d'effectuer ou non une surveillance et, dans ce cas, de mettre en œuvre la ou les mesures(s) de son choix. Une grande hétérogénéité entre les pays est ainsi recensée, à la fois pour les espèces surveillées et pour les protocoles ou tests diagnostiques utilisés ([Gortazar et al., 2012](#)).

3.2. Enquête européenne sur la surveillance

La majorité des données européennes sur la tuberculose concernent la situation épidémiologique des pays, mais peu de publications décrivent précisément les dispositifs de surveillance mis en œuvre, alors que la réglementation prévoit des adaptations afin de prendre en compte l'hétérogénéité des situations épidémiologiques entre les Etats Membres de l'U.E. (renforcement de la surveillance dans les pays non indemnes et allègement de la surveillance dans les pays indemnes par exemple), et que leur connaissance est indispensable pour comparer les situations entre les Etats Membres de l'U.E. et avec d'autres pays. Nous avons donc réalisé une enquête afin de recenser les dispositifs de surveillance actuels de la tuberculose dans les Etats Membres de l'U.E. et d'identifier d'éventuelles différences entre les pays selon leur statut officiel et leur situation épidémiologique.

Cette étude a fait l'objet d'un article publié dans une revue internationale à comité de lecture : Rivière J., Carabin K., Le Strat Y., Hendrikx P., Dufour B. (2014) Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013: a survey-based review. *Vet. Microbiol.* **173**, 323-331 (**Annexe 4**).

3.2.1. Matériel et méthode

Cette enquête a été conduite en ligne avec le logiciel LimeSurvey[®], entre avril et juillet 2013, à partir de deux questionnaires indépendants, l'un pour la surveillance en élevage bovin (**Annexe 5**) et l'autre pour la surveillance dans la faune sauvage libre (**Annexe 6**). La surveillance a été décrite à travers des questions générales sur (1) la situation dans les troupeaux bovins et dans les populations sauvages (20 questions), (2) la surveillance chez les bovins et les protocoles de dépistage (52 questions) et (3) la surveillance dans la faune sauvage libre (55 questions). Environ 100 personnes (gestionnaires et/ou scientifiques) ont été contactées dans les 28 Etats Membres par l'intermédiaire des points focaux de l'EFSA et la section étrangère de l'AEEMA. Trois autres pays européens, n'appartenant pas à l'U.E., ont également été intégrés à l'enquête (Suisse, Norvège, Macédoine¹) en raison de leur proximité géographique et de l'opportunité d'y contacter un expert. Les données ont été analysées avec Excel[®] et cartographiées avec QuantumGis[®]. Lorsque des réponses discordantes ont été observées entre des personnes d'un même pays, les correspondants ont été à nouveaux contactés.

3.2.2. Résultats

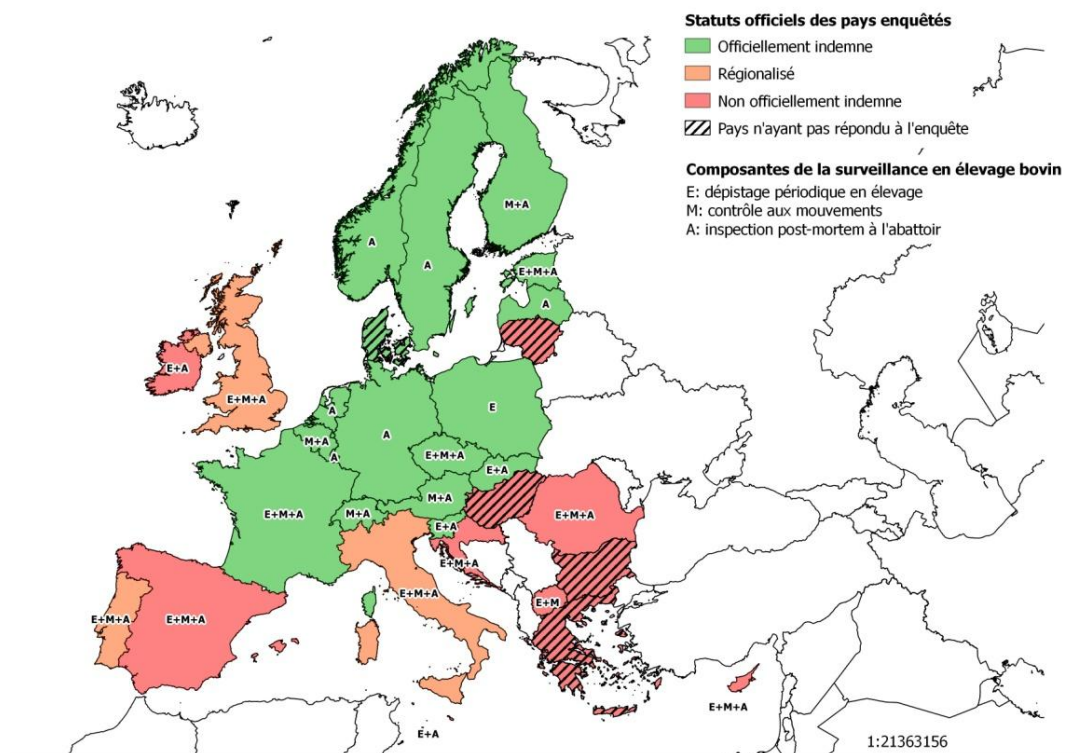
Parmi les 31 pays contactés, 26 ont répondu à l'enquête, parmi lesquels 5 n'ont pas renseigné le questionnaire relatif à la surveillance dans la faune sauvage libre (Lettonie, Luxembourg, Roumanie, Malte et Chypre). Des réponses multiples (c.-à-d. d'experts différents pour un même pays) ont été obtenues pour trois pays (Belgique, Irlande, Slovaquie). Un pays indemne (Danemark) et quatre pays non indemnes (Bulgarie, Grèce, Hongrie et Lituanie) n'ont pas répondu à l'enquête.

¹ Ancienne République yougoslave de Macédoine (ARYM)

3.2.2.1. Surveillance en élevage bovin

Tous les pays non officiellement indemnes et les pays régionalisés ayant participé à l'enquête, à l'exception de la Macédoine, de Malte et de l'Irlande, ont indiqué qu'ils appliquaient les trois composantes de surveillance recommandées par la réglementation européenne (dépistage périodique en élevage (« E »), contrôle aux mouvements des animaux (« M »), et inspection *post-mortem* à l'abattoir (« A »). Parmi les 16 pays indemnes ayant participé à l'enquête, six ont indiqué qu'ils réalisaient seulement une surveillance à l'abattoir, six ont déclaré effectuer une seconde méthode de surveillance (E+A ou M+A), et trois ont déclaré pratiquer les trois composantes de la surveillance (E+M+A). Seule la Pologne (pays indemne) a déclaré ne réaliser qu'un dépistage périodique en élevage, sans surveillance à l'abattoir (**Figure 8**). La description des modalités de surveillance par composante est présentée dans l'**Annexe 7**. Les résultats individuels par pays ont été publiés en ligne en tant que matériel supplémentaire de l'article précité.

Figure 8 : Surveillance de la tuberculose dans les élevages bovins des Etats Membres de l'U.E., de la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, selon le statut officiel des pays



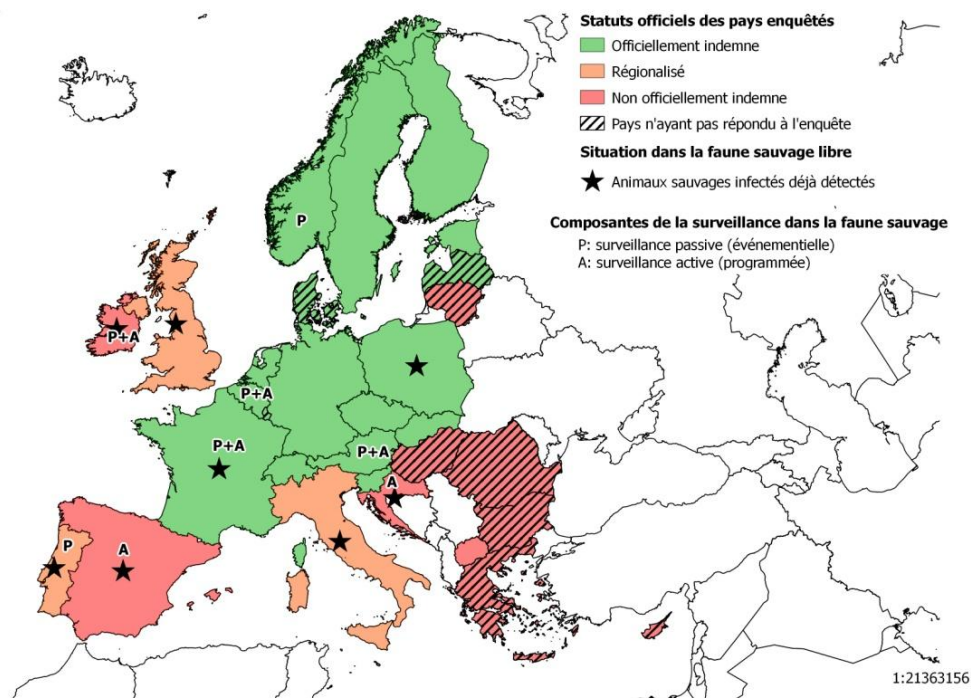
3.2.2.2. Surveillance dans la faune sauvage libre

Vingt-et-un pays ont répondu au questionnaire relatif à la surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre : huit ont déclaré que des cas d'infection à *M. bovis* avaient déjà été détectés chez des animaux sauvages (les six pays non indemnes ayant participé à l'enquête, à l'exception de la Macédoine qui n'a pas fourni de réponse, et deux pays indemnes qui notifient tous les ans des foyers d'infection bovine), et huit ont déclaré avoir mis en œuvre une surveillance spécifique de l'infection à *M. bovis* (dont cinq sont des pays ayant déjà détecté des cas dans la faune sauvage) (**Figure 9**). Les dispositifs de surveillance mis en œuvre sont décrits dans le **Tableau 5**. Tous les pays enquêtés

considèrent que la présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose sur une carcasse est insuffisante pour prouver l'infection tuberculeuse. Plusieurs analyses de laboratoire sont réalisées dans la plupart des pays : histologie, PCR, culture, tests sérologiques (Belgique et Italie pour les tests sérologiques seulement). Seuls l'Autriche, la Finlande et le Royaume-Uni ne réalisent qu'un test, la culture.

Figure 9 : Etats Membres de l'U.E. dans lesquels des animaux sauvages infectés par *M. bovis* ont déjà été détectés et surveillance effectuée sur des animaux sauvages au cours de l'année 2013, selon le statut officiel des pays

(Si aucune inscription n'est affichée sur un pays, cela signifie qu'il a participé à l'enquête mais n'a ni rapporté de cas d'infection dans la faune sauvage ni déclaré effectuer une surveillance de la faune sauvage)



3.2.3. Discussion

La plupart des personnes ayant répondu à cette étude étaient des gestionnaires (17/30 répondants pour le questionnaire bovin et 11/23 répondants pour le questionnaire faune sauvage), principalement issus des services vétérinaires officiels. Les autres répondants étaient des scientifiques travaillant dans des laboratoires, des épidémiologistes experts de la tuberculose ou professeurs d'université. La connaissance des textes réglementaires et des dispositifs de surveillance varie toutefois selon le statut des répondants. De plus, certains pays, de part leur régionalisation, n'ont pas de gestion centralisée : les réponses à cette étude doivent donc être considérées comme des réponses individuelles, et non pas comme une position nationale officielle. Par ailleurs, les résultats de cette enquête n'ont pas pu être vérifiés ou confirmés par d'autres sources de données (rares sur le sujet), ce qui constitue l'une de ses principales limites. Enfin, certains aspects n'ont pas été suffisamment explorés pour permettre une comparaison complète des activités de surveillance, comme les techniques utilisées pour les intradermotuberculinations, les doses de tuberculine, le choix des seuils d'interprétation, et le niveau de formation des vétérinaires en abattoir par exemple.

Tableau 5 : Surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre dans les Etats Membres de l'U.E., en Suisse, en Norvège et en Macédoine, au cours de l'année 2013

	Surveillance programmée			Surveillance événementielle		
	Espèce(s)	Zone(s) géographique(s)	Mode(s) de collecte	Espèce(s)	Zone(s) géographique(s)	Mode(s) de collecte
Autriche (OI)	Cerf	Zones à risque : - Densité élevée de l'espèce - Animaux sauvages infectés	- Chasse - Echantillonnage spécifique	Cerf	Nationale	- Chasse : animaux tués et présentant des lésions - Animaux trouvés morts (forêt, bord de route, ...) - Animaux moribonds ou comportement anormal
Belgique (OI)	Cerf Sanglier Blaireau	Régionale (Wallonie)	- Chasse - Echantillonnage spécifique - Tirs sanitaires	Cerf Chevreuil Sanglier Blaireau	Régionale (Wallonie)	- Chasse : animaux tués et présentant des lésions - Animaux trouvés morts (forêt, bord de route, ...) - Animaux moribonds ou comportement anormal
France (OI)	Cerf Sanglier Blaireau	Zones à risque : - Prévalence élevée en élevage bovin - Animaux sauvages infectés	- Chasse - Echantillonnage spécifique - Tirs sanitaires - Piégeage (blaireaux)	Cerf Chevreuil Sanglier Blaireau	Nationale	- Chasse : animaux tués et présentant des lésions - Animaux trouvés morts (forêt, bord de route, ...) - Animaux moribonds ou comportement anormal
Norvège (OI)				Cerf	Nationale	- Chasse : animaux tués et présentant des lésions - Animaux trouvés morts (forêt, bord de route, ...)
Portugal (R)				Cerf Sanglier	Zones à risque : Densité élevée de l'espèce	- Chasse : animaux tués et présentant des lésions
Croatie (NOI)	Sanglier	Zones à risque : Prévalence élevée en élevage bovin	Chasse			
Espagne (NOI)	Cerf Sanglier	Nationale	Chasse			
Irlande (NOI)	Blaireau	Zones à risque : Prévalence élevée en élevage bovin	Piégeage (blaireaux)	Cerf Chevreuil Blaireau	Nationale	- Chasse : animaux tués et présentant des lésions - Animaux trouvés morts (forêt, bord de route, ...) - Animaux moribonds ou comportement anormal

OI : pays officiellement indemne

NOI : pays non officiellement indemne

R : pays régionalisé

Cet inventaire des dispositifs de surveillance au sein de l'U.E. illustre une situation complexe et contrastée, à la fois en élevage bovin et dans la faune sauvage, pour chaque composante de surveillance (tests réalisés, interprétation des réactions, définition d'un animal ou d'un troupeau infecté, procédure en cas de résultat non-négatif, ...). Cela peut être dû à la diversité des situations épidémiologiques et des systèmes d'élevages, des situations environnementales et des espèces impliquées dans le cycle épidémiologique, ainsi qu'à des interprétations variées de la réglementation.

3.2.3.1. Surveillance de la tuberculose en élevage bovin

La plupart des pays non indemnes mettent en œuvre les trois composantes de surveillance recommandées par la réglementation européenne (E+M+A) (sauf la Macédoine, l'Irlande et Malte), ainsi que trois pays indemnes (France, République Tchèque et Estonie). Dans les pays avec une prévalence élevée de tuberculose, l'utilisation de plusieurs composantes permet d'augmenter la sensibilité du dispositif et favorise la détection précoce de cas. Les pays ayant une faible prévalence ne réalisent souvent qu'une surveillance à l'abattoir. La mise en œuvre des trois composantes en Estonie est cependant notable, car le dernier foyer dans ce pays date de 1986 (données de l'OIE).

Le dépistage périodique en élevage peut être effectué selon différents protocoles, variant notamment par la nature des tests effectués (IDS ou IDC), leur fréquence d'application, leur interprétation et les procédures en cas de résultat non-négatif. Ainsi, les pays non indemnes utilisent davantage l'IDC en première intention, certainement en raison de l'importance des réactions atypiques avec d'autres mycobactéries, avec une fréquence de dépistage plus importante pour assurer une détection précoce des élevages infectés. Certains ont une interprétation sévère des résultats afin d'augmenter la sensibilité des tests et le ratio coût-efficacité (EFSA, 2013). Cette modification d'interprétation diminue toutefois la spécificité, ce qui explique probablement pourquoi aucun pays indemne ne l'applique. Le test IFN- γ est utilisé dans dix pays, en parallèle d'une intradermotuberculination dans six pays, ou suivant une première intradermotuberculination non-négative dans quatre pays (utilisation actuellement non reconnue par l'U.E.). Enfin, il faut souligner que les Etats Membres de l'U.E. n'ont pas tous la même définition d'un élevage infecté (résultat positif en élevage seul ou résultat non négatif confirmé par des analyses de laboratoire), rendant difficiles les comparaisons des situations épidémiologiques entre pays.

Dans le contexte actuel de l'augmentation des échanges nationaux et internationaux, le contrôle des mouvements d'animaux est essentiel afin de limiter la diffusion de l'infection et prévenir sa réintroduction dans des zones considérées indemnes. L'utilisation de l'IDS est recommandée car elle a la meilleure sensibilité individuelle (de la Rua-Domenech *et al.*, 2006). Des dérogations sont possibles pour les élevages localisés dans des zones à faible prévalence. Nos résultats sont cohérents avec ces règles. Les contrôles aux mouvements sont également recommandés dans certaines situations hors contexte de commerce (transhumance, utilisation de

pâtures communes, ou prêt d'un animal), qui sont considérées comme présentant un risque et doivent donc être prises en compte dans la surveillance, comme cela a été déclaré par dix pays sur les 26 participants.

Seules la Macédoine et la Pologne ont déclaré ne pas réaliser de surveillance à l'abattoir, ce qui est surprenant pour la Pologne, car ce pays indemne semble effectuer seulement un dépistage quinquennal en élevage, alors qu'une dizaine de foyers par an sont recensés (prévalence troupeau de 0,02 % en 2011). Il est possible qu'il s'agisse d'une erreur du participant ou d'une mauvaise interprétation. L'inspection en abattoir est la composante qui présente le meilleur ratio coût-efficacité (EFSA, 2013) et est ainsi parfois la seule mise en œuvre, notamment dans des pays indemnes ou ayant une faible prévalence de tuberculose, dans lesquels la fréquence de dépistage a été progressivement diminuée suivant les dérogations autorisées par la réglementation européenne. Son efficacité dépend en grande partie du type d'inspection réalisée (visuelle seulement, visuelle et palpation si lésion, palpation et incision systématique de certaines organes), et du niveau de sensibilisation et de formation des inspecteurs. Un rapport récent de l'EFSA a montré que l'inspection visuelle seule n'était pas suffisante pour détecter l'infection tuberculeuse dans les pays avec une faible prévalence, risquant de retarder la détection d'une éventuelle réintroduction ou réémergence de la maladie (EFSA, 2013).

3.2.3.2. Surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage libre

Bien qu'aucune réglementation européenne ou internationale ne l'impose, certains pays ont mis en œuvre une surveillance fondée sur un dépistage par intradermotuberculination de la faune sauvage captive, notamment dans des élevages de cerfs (Nouvelle-Zélande, Royaume-Uni, Danemark, Canada, Suède, Etats-Unis (Wahlström *et al.*, 1998, 2010). Pour ce qui concerne la faune sauvage libre, seulement 8/21 pays participants à notre enquête ont déclaré avoir mis en œuvre une surveillance, dont cinq avaient déjà détecté des cas chez un animal sauvage. La Pologne, l'Italie, et le Royaume-Uni ont déclaré que des animaux sauvages infectés avaient déjà été détectés, mais sans surveillance spécifique de ces populations. A l'inverse, en Autriche, en Belgique et en Norvège, aucun animal sauvage infecté n'a été détecté jusqu'à présent, bien que ces pays aient mis en œuvre une surveillance de la faune sauvage.

Quatre pays effectuent à la fois une surveillance programmée (échantillonnage ciblé avec analyse systématique des animaux prélevés) et une surveillance événementielle (déclaration de cas suspects porteurs de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose), deux autres pays effectuent seulement une surveillance programmée, et deux autres pays seulement une surveillance événementielle. Le nombre d'espèces surveillées varie d'une (par exemple surveillance événementielle sur des cerfs en Autriche ou surveillance programmée sur des sangliers en Croatie) à quatre (en France et en Belgique). Le type de surveillance dépend des espèces ciblées : chez les sangliers, les lésions sont souvent petites et limitées aux nœuds lymphatiques, particulièrement rétro-pharyngiens, qui ne sont pas facilement décelables par les acteurs de terrain ; alors que les

cerfs présentent généralement des lésions plus étendues, localisées au tube digestif (Zanella *et al.*, 2008b). Le dépistage chez les cerfs repose donc souvent sur l'identification de lésions macroscopiques suivie par une autopsie et des analyses de laboratoire (surveillance événementielle). Au contraire, chez les sangliers, un échantillonnage ciblé est souvent effectué, avec analyse systématique d'un échantillon d'animaux dans les zones à risque (surveillance programmée) (Maas *et al.*, 2013). Dans tous les pays enquêtés, la définition d'un animal infecté dépend des résultats des analyses effectuées en laboratoire, considérant que le diagnostic fondé seulement sur la présence de lésions visibles à l'autopsie conduirait à un biais notable dans l'estimation de la prévalence. Tous les tests sont effectués *post-mortem* (autopsie puis histologie, PCR et/ou culture).

Considérant que le rôle des espèces sauvages diffère considérablement entre les pays, et même entre les zones géographiques au sein d'un pays, la diversité des situations observées dans notre enquête n'est pas surprenante.

D'après la littérature, des animaux sauvages libres infectés ont déjà été détectés dans d'autres pays enquêtés : République Tchèque (sanglier, cerf) (Pavlik *et al.*, 2002), Slovaquie (sanglier) (Machackova *et al.*, 2003), Allemagne (sanglier, cerf, chevreuil) (EFSA, 2009), Suisse (cerf, chevreuil, blaireau) (EFSA, 2009), Autriche (cerf) (Trcka *et al.*, 2006). Par ailleurs, d'autres pays semblent avoir mis en œuvre une surveillance : un projet a été initié en 2011, pour deux ans, dans certaines régions alpines (Autriche, Allemagne, Italie et Suisse), sur les cerfs dans les quatre pays et les sangliers en Italie et en Suisse, avec un échantillonnage et un plan d'analyse harmonisés de façon transnationale, la formation commune de collecteurs et de chasseurs, et une base de données commune.

Cette enquête européenne sur la surveillance de l'infection à *M. bovis* confirme qu'il existe une hétérogénéité importante dans la mise en œuvre des directives européennes réglementant la surveillance en élevage bovin, principalement en termes de combinaison des composantes de surveillance, des tests utilisés et de la définition du statut infectieux d'un élevage ou d'un animal. La réglementation européenne doit être considérée comme le niveau minimum de surveillance à mettre en œuvre ; des dérogations pouvant être mises en place dans des pays ou régions ayant une faible prévalence afin d'augmenter le ratio coût-efficacité de la surveillance. Des mesures supplémentaires adaptées aux situations locales sont mises en œuvre dans des zones ayant une prévalence moyenne à élevée de tuberculose.

La stratégie pour la surveillance de l'infection à *M. bovis* des populations sauvages dépend des situations épidémiologiques nationales ou régionales, des espèces impliquées dans le cycle épidémiologique de la tuberculose et des facteurs de risque épidémiologiques identifiés.

3.3. Surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France : présentation du dispositif Sylvatub

Ce paragraphe présente en détail le dispositif de surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage libre en France, qui a été évalué au cours de ce travail.

Le ministère en charge de l'Agriculture a mis en place fin 2011 un dispositif national de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage, nommé Sylvatub ([Note de service DGAL/SDSPA N2011-8214](#)), dont l'animation et le pilotage technique ont été confiés à la Plateforme nationale d'épidémiologie en santé animale (Plateforme ESA) ([Calavas et al., 2012](#)). Ce dispositif a pour objectifs la détection de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage libre, le suivi du niveau d'infection dans les zones où elle a été détectée chez des espèces sauvages et l'amélioration des connaissances des interactions entre faune sauvage et faune domestique par le typage moléculaire des souches, à travers l'harmonisation de la surveillance et des procédures diagnostiques à l'échelle nationale. La surveillance de l'infection à *M. bovis* en France concerne les cerfs, les chevreuils (*Capreolus capreolus*), les sangliers et les blaireaux ; espèces déjà trouvées infectées sur le territoire et susceptibles de constituer un réservoir sauvage sous réserve de conditions démographiques et environnementales appropriées. Le Sanglier est l'espèce sauvage autochtone la plus réceptive à la tuberculose, et constitue une bonne sentinelle épidémiologique de la circulation de *M. bovis*.

Le dispositif Sylvatub est un dispositif complexe qui repose sur plusieurs composantes de surveillance, événementielles et programmées, appliquées seules ou de manière combinée selon une analyse de risque départementale voire locale ([Rivière et al., 2012](#)) (**Tableau 6**). Trois niveaux de risque ont été définis (**Tableau 7**), reposant principalement sur la proximité avec des foyers bovins, l'existence de foyers identifiés dans la faune sauvage, ou une simple proximité géographique avec des zones considérées à risque selon les critères précédents. La révision des niveaux de risque est effectuée deux fois par an afin de prendre en compte l'évolution de la situation épidémiologique chez les différentes espèces sensibles (**Figure 10**).

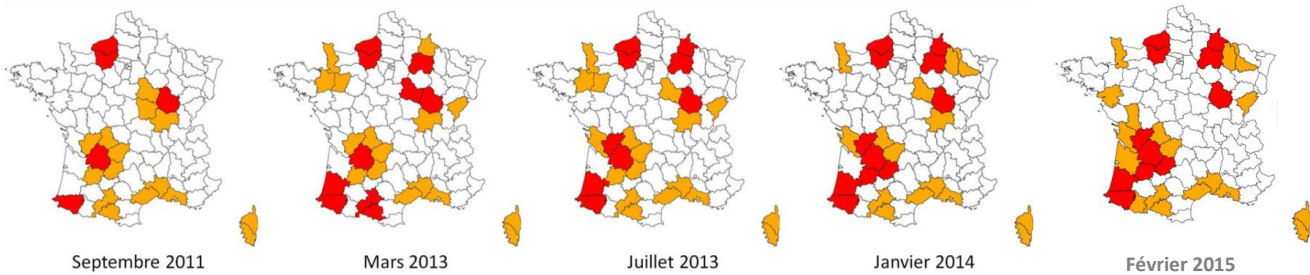
Tableau 6 : Composantes de surveillance du dispositif Sylvatub appliquées en fonction du niveau de risque estimé ([Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 du 29 juillet 2013](#))

Composantes de surveillance		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Événementielle	Surveillance de lésions évocatrices de tuberculose chez les cervidés et sangliers lors de l'examen de carcasse, dans le cadre d'une pratique de chasse habituelle			
	Surveillance de lésions évocatrices de tuberculose chez les cervidés, sangliers et blaireaux prélevés dans le cadre du réseau Sagir (animaux morts ou mourants), dans son fonctionnement normal	X	X	X
Événementielle renforcée	Surveillance des cerfs, sangliers et blaireaux prélevés dans le cadre d'un renforcement du réseau Sagir		X	X
	Surveillance des cadavres de blaireaux signalés sur les routes			
Programmée	Surveillance des blaireaux piégés en zone à risque		X	X
	Surveillance des cerfs et sangliers tués à la chasse dans les zones à risque			X

Tableau 7 : Définition des niveaux de risque utilisés dans le dispositif Sylvatub (Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 du 29 juillet 2013)

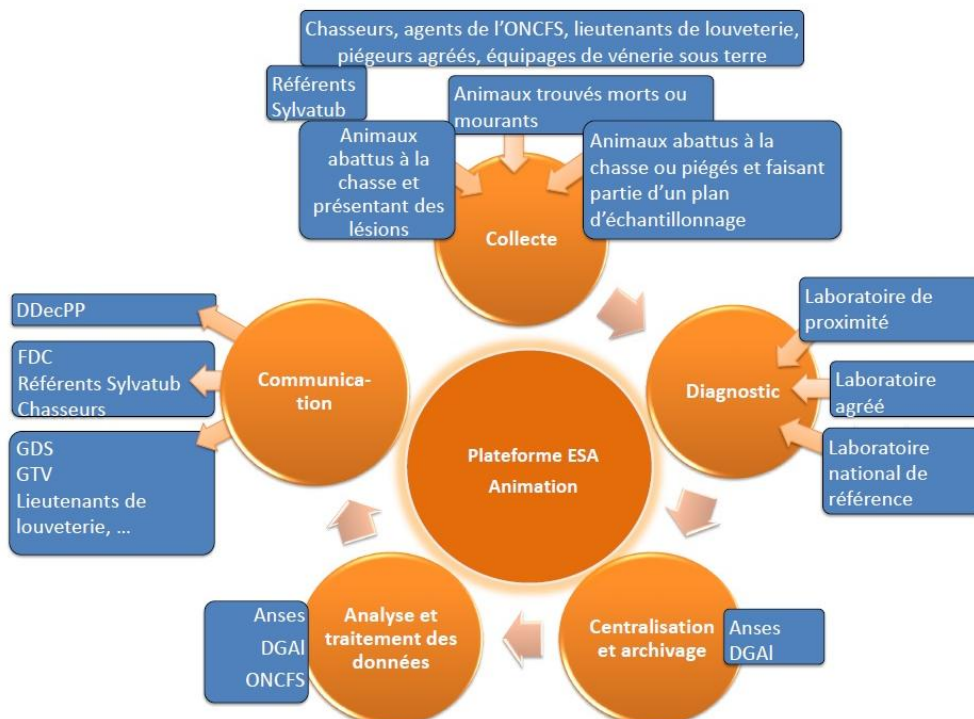
Niveau de risque	Conditions d'applications	Objectifs de la surveillance
Niveau 1	Tous les départements n'étant pas en niveau 2 ou 3	Vérifier l'absence de circulation de <i>M. bovis</i> ; détection précoce
Niveau 2	Détection de foyers bovins de façon régulière ; Augmentation soudaine d'incidence en élevage bovin, notamment si le rythme de prophylaxie est allégé ; Cas récents dans la faune sauvage ; Proximité géographique avec des zones de niveau 3	Détection précoce ; Suivi du niveau d'infection
Niveau 3	Prévalence élevée de tuberculose en élevage bovin (seuil indicatif : 10 foyers en 2 ans dans une zone) ; Animaux sauvages infectés, possible réservoir sauvage	Suivi du niveau d'infection ; Suivi de l'efficacité de mesures de lutte dans la faune sauvage

Figure 10 : Evolution des niveaux de risque départementaux entre 2011 et 2015 (Niveau 1 : blanc ; Niveau 2 : orange ; Niveau 3 : Rouge) (Source : Edouard Réveillaud, www.plateforme-esa.fr)



Au niveau national, les partenaires du dispositif Sylvatub sont la DGAI, le MEDDE, l'Anses, l'ONCFS, la FNC, l'Adilva, GDS France et l'association des piégeurs agréés ; et au niveau départemental les DDecPP, les DDT, les FDC, les services départementaux de l'ONCFS (SD ONCFS), les lieutenants de louveterie, les piégeurs agréés et les laboratoires départementaux d'analyses (LDA) (**Figure 11**). Un comité de pilotage présidé par la DGAI et une cellule d'animation regroupant les principaux partenaires du dispositif permettent de suivre les résultats et d'adapter les modalités de surveillance en fonction de l'évolution de la situation épidémiologique.

Figure 11 : Organigramme simplifié du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub (Rivière et al., 2012)



3.3.1. Surveillance événementielle par examen de carcasse

Dans tous les départements, quel que soit le niveau de risque estimé, une surveillance événementielle est effectuée par les chasseurs sur les cervidés et les sangliers tués à la chasse. L'examen attentif de la carcasse lors de l'éviscération, en particulier du bloc pulmonaire et du bloc digestif, permet de repérer d'éventuelles lésions évocatrices de tuberculose (tout abcès interne étant considéré comme évocateur de tuberculose pour des personnes non vétérinaires). L'examen initial de la venaison est obligatoire depuis la saison cynégétique 2010-2011 pour tout gibier destiné à la consommation (commercialisation, repas de chasse ou associations - la consommation directe par le chasseur et son entourage n'est pas concernée) ([Arrêté du 18 Décembre 2009](#)). Cette composante de surveillance s'appuie donc sur un réseau de chasseurs formés à l'examen initial de la venaison, capables de détecter l'aspect anormal d'une carcasse afin de l'exclure de la chaîne alimentaire, sans toutefois aller plus loin dans le domaine du diagnostic ou de la suspicion d'une maladie. Toutefois, tout chasseur de grand gibier, même non formé à l'examen initial de la venaison, peut déclarer une suspicion de tuberculose, que l'animal soit commercialisé ou non.

En cas de découverte de lésion évocatrice, le chasseur contacte une personne référente afin d'organiser la prise en charge de la carcasse ou des viscères suspects jusqu'à un laboratoire où les prélèvements et les analyses diagnostiques sont effectués. Un ou plusieurs référents peuvent être identifiés par département (formateur à l'examen initial de la venaison, interlocuteur technique départemental (ITD) de la FDC ou de l'ONCFS, vétérinaire, chasseur volontaire...). Si la carcasse suspecte ne peut pas être transportée entière, le bloc comprenant la langue, la trachée, les nœuds lymphatiques rétropharyngiens, l'œsophage, le cœur, le foie, les poumons et les nœuds lymphatiques trachéobronchiques et médiastinaux est prélevé sur le terrain ; ainsi que la masse intestinale si les conditions de transport le permettent. Il est recommandé de ne pas consommer la venaison et d'orienter la carcasse vers l'équarrissage.

La FDC organise l'information des chasseurs, les sensibilise sur l'existence et les modalités du dispositif Sylvatub et met à leur disposition des documents descriptifs (fiches techniques élaborées conjointement par l'ONCFS, la FNC et l'Anses notamment). Des formations théoriques et pratiques sur la reconnaissance de lésions évocatrices sont proposées aux acteurs de terrain, et des activités de communication et de restitution des résultats sont régulièrement effectuées afin d'entretenir leur implication et leur motivation. Cette surveillance est saisonnière, ne s'appliquant que lors de la saison cynégétique.

3.3.2. Surveillance événementielle par le réseau Sagir

Dans tous les départements, quel que soit le niveau de risque estimé, la surveillance événementielle par examen de carcasse est couplée au fonctionnement normal du réseau Sagir qui existe depuis 1986 ([Lamarque et al., 2000](#)). Ce réseau a pour objectif l'analyse des causes de mortalité des animaux sauvages : les animaux morts ou moribonds découverts incidemment sont apportés au LDA en accord avec la FDC pour recherche diagnostique. Les collecteurs sont

principalement des agents des SD de l'ONCFS et des techniciens des FDC déjà impliqués dans le réseau Sagir et dans l'activité Carnet de bord petits carnivores. Une recherche spécifique de *M. bovis* est effectuée seulement si des lésions évocatrices de tuberculose sont détectées par un technicien lors de l'autopsie réalisée au LDA. Cette surveillance est réalisée en continu, tout au long de l'année.

3.3.3. Surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir

Le renforcement des activités de surveillance événementielle dans les départements de niveau 2 et 3 concerne les sangliers, les cerfs et les blaireaux, et consiste en des efforts de collecte des cadavres par le réseau Sagir et des cadavres de blaireaux signalés au bord des routes, dans des zones où des foyers bovins ou sauvages ont été identifiés. Ces zones peuvent être assez larges et la surveillance n'implique pas de recherche active particulière, ni de tri préalable des animaux, en particulier pour le grand gibier. Ces cadavres doivent être acheminés entiers au LDA le plus proche, sous réserve que leur état de conservation soit compatible avec une analyse, et font systématiquement l'objet d'une recherche de *M. bovis* par culture, que des lésions soient détectées ou non au LDA.

3.3.4. Surveillance programmée

3.3.4.1. Surveillance programmée des blaireaux dans les départements de niveau 2

Dans les départements de niveau 2, une surveillance programmée sur les blaireaux peut être réalisée à proximité des foyers bovins et des sources potentielles d'infection (pâtures occupées par des bovins infectés, terrier de blaireau infecté...), dans un rayon de un à deux kilomètres en fonction du contexte et de la géographie locale, en raison de la territorialité des blaireaux qui migrent peu hors de leur territoire (Rogers *et al.*, 1998 ; Pope *et al.*, 2006). L'unité épidémiologique d'intérêt est le terrier, qui héberge souvent entre deux et cinq individus : la surveillance prend en compte la densité et la répartition des blaireaux, l'objectif étant de prélever une quinzaine de blaireaux autour de chaque foyer bovin, préférentiellement des adultes, avec au maximum deux individus par terrier.

3.3.4.2. Surveillance programmée du grand gibier et des blaireaux dans les départements de niveau 3

Dans les départements de niveau 3 où l'infection dans la faune sauvage a déjà été mise en évidence, la surveillance programmée doit être réalisée pendant plusieurs années afin de suivre l'évolution du niveau d'infection, en parallèle d'éventuelles mesures de gestion (réduction des densités et des postes fixes d'agraine, élimination des viscères des animaux tués à la chasse, mesures de biosécurité dans les élevages bovins, etc.) (Anses, 2011). L'objectif est de détecter une prévalence cible de 3 % (appelée « prévalence limite ») avec un risque d'erreur de 5 %, ce qui correspond, pour les sangliers et les blaireaux, à un échantillon d'environ 100 individus, et 60 individus pour les cerfs (en raison des tailles de populations cibles inférieures chez les cerfs). Pour le

grand gibier, l'échantillon est réparti par classes d'âge afin de simplifier le protocole de terrain tout en permettant une représentativité équilibrée de jeunes et d'adultes ; les premiers permettant d'estimer la dynamique de la contamination et les seconds de suivre l'évolution de la prévalence au cours du temps. Les prélèvements de grand gibier sont réalisés sur le tableau de chasse, de manière aléatoire. La surveillance des blaireaux, qui s'établit sur les bases législatives du code de l'environnement ([article L427-6](#)), est conduite sous l'égide des DDecPP et des DDT et sous la responsabilité des lieutenants de louveterie qui collaborent avec les piégeurs agréés pour la capture.

Ces recommandations d'échantillonnage s'appliquent à des populations considérées comme homogènes et sont appliquées dans chaque zone d'infection identifiée dans un département de niveau 3. La zone de surveillance est ainsi déterminée en fonction de la distribution des foyers et des éléments géographiques locaux, en raisonnant sur la notion de massif et d'unité de gestion cynégétique afin que les populations soumises à un risque infectieux soient surveillées dans leur globalité : la surveillance des cerfs et des sangliers est ainsi conduite sur des territoires assez larges correspondant à l'aire de répartition des animaux susceptibles d'avoir été en contact avec la source d'infection. La zone de surveillance correspond à une zone dite « infectée », qui comprend les communes où des foyers bovins ont été observés depuis deux ans (incluant les pâtures), les communes où l'infection a été détectée dans la faune sauvage et les communes limitrophes. Dans le reste du département, présumé indemne, les composantes de surveillance événementielle et événementielle renforcée s'appliquent.

Si les résultats de la surveillance révèlent une prévalence élevée qui pourrait favoriser une extension de la maladie au-delà de la zone infectée du fait des déplacements d'animaux, le dispositif recommande de tester un échantillon de cerfs et de sangliers dans une zone d'environ 20 km et un échantillon de blaireaux dans une zone de cinq km autour de la zone infectée (zones de surveillance périphérique ou zones « tampon ») ([Anses, 2011](#) ; [Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129](#)). Lorsque l'infection est confirmée chez les blaireaux, une régulation des populations doit être conduite pendant quatre ans, visant à la suppression des familles de blaireaux en milieu infecté afin de prévenir le risque de diffusion et la constitution d'un réservoir ([Anses, 2011](#)). Les blaireaux à analyser sont alors prélevés parmi les blaireaux capturés dans ce cadre.

L'organisation pratique de la surveillance programmée est déterminée par une convention locale, sous l'autorité de la DDecPP et en accord avec les différents intervenants, en fonction des conditions de terrain (délais d'acheminement, éventuel stockage sous régime du froid, dédommagements éventuels du transport des animaux au LDA, etc.).

3.3.5. Analyses diagnostiques et définitions des cas

Les analyses de laboratoire doivent être réalisées par un LDA agréé (si le LDA n'est pas agréé, il effectue les prélèvements appropriés et les adresse avec les commémoratifs à un LDA agréé). Une culture bactérienne est systématiquement réalisée sur un mélange de nœuds lymphatiques sur la base des localisations connues des lésions tuberculeuses dans chaque espèce (nœuds lymphatiques

rétropharyngiens pour les sangliers ; rétropharyngiens, pulmonaires (trachéobronchiques et médiastinaux) pour les cervidés ; rétropharyngiens, pulmonaires et hépatiques pour les blaireaux), et, en cas de lésion identifiée, sur le tissu lésé et les nœuds lymphatiques drainant la zone. Une PCR peut être effectuée sur les animaux présentant des lésions évocatrices de tuberculose pour obtenir un premier diagnostic plus rapide. Toutefois, la PCR utilisée actuellement dans les LDA n'est pas spécifique de *M. bovis*, des réactions croisées pouvant être observées avec *M. microti*, bactérie notamment présente chez le Sanglier. En cas de résultat non négatif obtenu au LDA, le matériel biologique est alors envoyé au laboratoire national de référence (LNR) de l'Anses Maisons-Alfort pour la réalisation d'une PCR plus spécifique permettant de différencier les mycobactéries réglementées ainsi que pour l'identification et le typage (VNTR) des souches.

En conséquence, les cas sont définis comme suit pour les différentes modalités de surveillance du dispositif Sylvatub ([Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129](#)) :

- **cas suspect** : animal présentant des lésions évocatrices de tuberculose ;
- **cas possible** : animal présentant une PCR positive non discriminante ou une culture bactérienne positive en attente d'identification ;
- **cas confirmé** : animal sur lequel *M. bovis*, *M. tuberculosis* ou *M. caprae* a été identifié.

3.3.6. Coûts de la surveillance

Les activités de surveillance sont difficiles à mettre en œuvre et nécessitent un investissement humain et financier important, le dispositif reposant en grande partie sur des acteurs de terrain bénévoles et non professionnels. Des conventions financières sont établies à l'échelle nationale entre les partenaires du dispositif, l'Etat en étant le principal financeur (**Tableau 8**). Des conventions départementales sont établies lorsque des opérations de surveillance programmée sont mises en œuvre dans les départements de niveau 2 ou 3. Le matériel nécessaire à la collecte ou la réalisation des prélèvements dans le cadre de la surveillance programmée est fourni par la DDecPP. Le ramassage et la destruction des carcasses des animaux présentant des lésions suspectes sont financés par l'Etat dans le cadre du service public d'équarrissage.

Les DDecPP sont responsables de l'animation départementale du dispositif et doivent organiser *a minima* une réunion annuelle avec tous les acteurs (DDT, FDC, sections départementales des OVS et OVVT, ONCFS, LDA, lieutenants de louveterie, associations des piégeurs agréés). Les DDecPP et les FDC participent également au retour d'informations vers les acteurs de terrain, afin de fédérer au mieux les acteurs participant au dispositif.

Tableau 8 : Activités de surveillance indemnisées dans le cadre du dispositif Sylvatub
(Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129)

Acteurs	Activités prises en charge
Convention DGAI-Anses	Animation nationale du dispositif : animation, centralisation et analyse des données, suivi du dispositif, déplacements et formations
Convention DGAI-FNC	Indemnisation forfaitaire des frais liés à la prise en charge d'une carcasse suspecte suite à un examen de carcasse (frais de transports depuis l'alerte donnée par un chasseur jusqu'au dépôt de l'animal suspect ou des prélèvements au LDA le plus proche) Nombre de suspicions financées à l'échelle nationale : 500
Convention DGAI-ONCFS-FNC	Indemnisation forfaitaire des frais liés à la prise en charge des cadavres de cerfs, sangliers ou blaireaux collectés dans le cadre du renforcement du réseau Sagir et des cadavres de blaireaux trouvés au bord des routes (département de niveau 2 et 3) Nombre d'animaux financés à l'échelle nationale : 100 cerfs ou sangliers et 500 blaireaux (soit, à titre indicatif, 5 à 10 cerfs ou sangliers et 20 blaireaux par département et par an)
Convention DGAI-Adilva	Autopsie, réalisation de prélèvements, culture (systématique), PCR (si présence de lésions évocatrices), envoi de matériel biologique ou d'ADN entre laboratoires Indemnisation en fonction du tarif pratiqué par chaque laboratoire, sous réserve d'un plafond maximal défini par la convention
Convention Adilva-LNR	Identification et typage moléculaire des souches de <i>M. bovis</i>

Remarque : Dans le cadre du fonctionnement normal du réseau Sagir, les frais de collecte et de laboratoire sont pris en charge par les acteurs du réseau, en particulier les FDC et l'ONCFS. L'ONCFS prend par ailleurs en charge la collecte et les frais d'analyses de deux blaireaux trouvés morts, par département et par an.

Des modalités de surveillance événementielle, reposant sur la collecte d'animaux morts ou mourants par le réseau Sagir ou sur la déclaration spontanée de suspicions par les acteurs de terrain suite à la découverte fortuite de lésions évocatrices lors de l'éviscération d'animaux chassés, sont appliquées dans tous les départements, quel que soit le niveau de risque estimé. Toutefois, les signes cliniques et lésionnels d'une infection par *M. bovis* peuvent être discrets : ainsi, une surveillance fondée uniquement sur l'observation de lésions macroscopiques sous-estime la prévalence réelle et l'efficacité de la surveillance est fortement dépendante du niveau de sensibilisation des acteurs.

Un renforcement de ces activités de surveillance événementielle et une surveillance programmée des blaireaux à proximité de foyers bovins sont mis en œuvre dans les départements de niveau de risque intermédiaire, et sont complétés, pour les départements à haut niveau de risque, par une surveillance programmée plus étendue, sur un échantillon défini de sangliers, cervidés et blaireaux. La surveillance programmée repose sur l'analyse systématique d'un échantillon d'animaux tués à la chasse ou piégés dans des zones où la tuberculose est présente : elle permet ainsi d'avoir une meilleure estimation de la prévalence, mais est plus coûteuse et la détermination de la taille d'échantillon adéquate peut être difficile, notamment car les densités des populations sauvages sont souvent méconnues.

Trois groupes d'acteurs sont impliqués dans le dispositif Sylvatub : l'Etat (DGAI, DDecPP), le monde la chasse (FNC et FDC, ONCFS et services départementaux, piègeurs agréés) et les laboratoires ; le financement étant principalement assuré par l'Etat à travers des conventions nationales et départementales.

IV. Enjeux liés à la tuberculose bovine

La tuberculose bovine, en tant que maladie zoonotique majeure ayant des conséquences sanitaires et économiques notables, est considérée comme danger sanitaire de première catégorie en France depuis juillet 2013 ([Arrêté du 29 juillet 2013](#)).

4.1. Enjeux de santé publique

La lutte contre la tuberculose bovine a été initialement motivée par le caractère zoonotique de cette maladie ; *M. bovis* pouvant être transmis à l'Homme par aérosols, ou, plus rarement, par voie digestive (ingestion de lait) ou par voie cutanée ([Biet et al., 2005](#)). Ainsi, en 1955, environ 10 à 30 % des cas de tuberculose humaine étaient dus à *M. bovis* ([Francis, 1958](#)). La mise en œuvre de mesures de lutte réglementaires comme l'inspection systématique des carcasses, la pasteurisation du lait et l'abattage systématique des animaux réagissant aux tests de dépistage a permis la diminution des cas zoonotiques à moins de 2 % ces dernières années ([Biet et al., 2005](#) ; [Antoine et Jarlier, 2010](#) ; [Müller et al., 2013](#) ; [Bezou et al., 2014a](#)). La tuberculose bovine à *M. bovis* est inscrite sur la liste des maladies professionnelles depuis le 9 janvier 1958.

Compte tenu de la faible prévalence actuelle de l'infection à *M. bovis* en France et dans la plupart des pays développés, les enjeux de santé publique sont actuellement moins importants que les enjeux économiques liés au statut officiellement indemne du pays, dont la perte limiterait les échanges avec les Etats membres de l'U.E. et les pays tiers.

4.2. Enjeux économiques

La surveillance de la tuberculose en élevage bovin représente un coût non négligeable, car en raison de la faible valeur prédictive du dépistage, les résultats positifs doivent être confirmés par des examens complémentaires. Les outils de dépistage et de diagnostic étant imparfaits, des combinaisons d'outils sont souvent utilisées afin d'améliorer la qualité du dépistage. Il n'est en effet pas rare d'observer des réactions croisées avec des mycobactéries environnementales telles que *M. avium* ou *M. microti* par exemple, et les échantillons prélevés sur des animaux sauvages sont souvent polycontaminés ou en état de dégradation avancée ce qui peut engendrer des erreurs par excès et des erreurs par défaut. Durant le délai nécessaire à la confirmation ou à l'infirmité de la suspicion, les élevages sont bloqués afin d'éviter toute diffusion de l'infection (interdiction d'introduction et de sorties d'animaux), ce qui conduit à des pertes économiques pour l'éleveur. Enfin, lorsque l'infection tuberculeuse est confirmée en élevage, tous les animaux du foyer doivent être abattus ([Arrêté du 15 septembre 2003](#), dernièrement amendé le 18 août 2014), sauf dérogations (l'abattage partiel peut être réalisé sous certaines conditions).

La tuberculose à *M. bovis* étant en voie d'éradication en France, il devient de plus en plus difficile de détecter les animaux atteints, à la fois au regard de la discrétion des manifestations cliniques, du caractère chronique de l'infection et de la réaction allergique irrégulière. Par ailleurs, la faible proportion d'animaux atteints implique de nombreuses erreurs par excès lors du dépistage, engendrant de lourdes conséquences sociales et économiques. L'impact économique de la tuberculose est principalement indirect, lié aux mesures de gestion en élevage et à la menace qui pèse sur les échanges intracommunautaires.

4.3. Enjeux liés aux populations sauvages infectées

Les bovins représentent le danger le plus important vis-à-vis de la tuberculose bovine pour la plupart des pays de l'U.E., mais la contribution significative jouée par certaines espèces sauvages dans le cycle épidémiologique doit être prise en compte, en considérant l'expansion démographique et parfois géographique de certaines espèces (sangliers et cervidés notamment) (Hardstaff *et al.*, 2013). La présence de réservoirs sauvages, capable d'entretenir l'infection, peut ainsi constituer un frein à l'éradication de la tuberculose dans le cheptel bovin (Corner, 2006 ; Gortazar *et al.*, 2012 ; Palmer *et al.*, 2012 ; EFSA, 2013) et doit être prise en compte dans la conception des plans de lutte. Une inquiétude en France est d'être confronté à une situation similaire à celle du Royaume-Uni ou de l'Irlande, où les blaireaux, après avoir été infectés par les bovins, constituent actuellement un réservoir sauvage (More, 2009).

La surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage libre n'est actuellement pas réglementée au plan européen et sa mise en œuvre, lorsqu'elle existe, est tardive, faisant suite à la détection souvent fortuite de cas d'infection dans la faune sauvage ou à la réémergence de foyers bovins inexplicables (Boadella *et al.*, 2011a ; Gortazar *et al.*, 2012). Par ailleurs, la surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage se heurte à des contraintes particulières, qu'elles soient inhérentes à la surveillance sanitaire de la faune sauvage ou spécifiquement liées à la surveillance de la tuberculose (Rivière *et al.*, 2012 ; Hars *et al.*, 2013b) : surveillance souvent événementielle reposant sur des acteurs majoritairement bénévoles, mauvaise corrélation entre lésions et statut infectieux, performance limitée des tests diagnostiques, échantillonnage complexe (Artois *et al.*, 2001 ; Thulke *et al.*, 2009). Ces contraintes peuvent induire des biais de sélection parfois importants, limitant ainsi la qualité des données collectées et l'interprétation des résultats de la surveillance, et limitant la possibilité de détection précoce de la circulation de *M. bovis* dans les populations sauvages (Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006 ; Rivière *et al.*, 2012 ; Hars *et al.*, 2013b).

Dans le domaine de la faune sauvage, il est rarement envisageable d'effectuer une détection fondée sur des cultures bactériennes systématiques dans un large échantillon d'animaux, compte tenu des ressources financières limitées (O'Brien *et al.*, 2004), alors qu'un grand nombre d'animaux

devrait être testé afin d'avoir une puissance statistique suffisante pour pouvoir détecter une faible prévalence : la plupart des dispositifs utilisent donc l'examen nécropsique comme test de criblage, puis la culture comme test de confirmation sur les animaux à lésions (Parra *et al.*, 2006 ; Vicente *et al.*, 2006 ; Santos *et al.*, 2009, 2010 ; Bollo *et al.*, 2010), ce qui sous-estime la prévalence (Santos *et al.*, 2010).

La mise en œuvre de mesures de surveillance et de gestion de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage nécessite la coopération des services de l'Etat, des services vétérinaires, des éleveurs, des chasseurs, des associations de protection de la nature ou de l'environnement et des laboratoires (Hars *et al.*, 2013b). Les mesures de gestion sont essentiellement fondées sur le contrôle et la réduction des densités des populations sauvages (grands ongulés et blaireaux notamment), *via* des mesures d'abattages massifs ou de contrôle de la fertilité (agents immunocontraceptifs par exemple, Hobbs *et al.*, 2000). Des modifications des pratiques cynégétiques pouvant favoriser la concentration artificielle des animaux et donc les risques de transmission intra et interspécifiques sont également mises en œuvre. La vaccination des espèces sauvages réservoirs est actuellement considérée comme une alternative nécessaire dans les pays où la tuberculose est enzootique et difficilement contrôlable dans certaines populations sauvages. Plusieurs pays, dont la France, travaillent actuellement à l'élaboration d'un vaccin administrable par voie orale et à la mise au point d'appâts pour chaque espèce sauvage cible (par exemple, essais sur le blaireau au Royaume-Uni (Lesellier *et al.*, 2011 ; Wilson *et al.*, 2011 ; Robinson *et al.*, 2012), sur le sanglier en Espagne (Beltran-Beck *et al.*, 2012), ou encore sur le phalanger-renard en Nouvelle-Zélande (Robinson *et al.*, 2012)). La stratégie vaccinale, complexe et coûteuse, doit toutefois être associée aux mesures de réduction de densité de population pour avoir une chance d'être efficace.

Les mesures de surveillance et de lutte en élevage bovin sont nécessaires à l'éradication de la tuberculose bovine, mais peuvent être insuffisantes si des espèces sauvages infectées peuvent entretenir le cycle épidémiologique de la maladie. Il est donc primordial de pouvoir identifier les espèces sauvages infectées et de comprendre leur rôle dans le cycle épidémiologique de la maladie afin de mettre en œuvre des mesures de lutte adaptées pour éradiquer la tuberculose à l'échelle du pays.

Pour cela, des dispositifs de surveillance de l'infection à *M. bovis* parmi les espèces sauvages d'intérêt doivent être mis en œuvre. Toutefois, au regard des contraintes opérationnelles auxquelles ils sont soumis, une évaluation de tels dispositifs est nécessaire afin de vérifier leur efficacité, leur pertinence, et s'assurer de la qualité des données qu'ils produisent.

CHAPITRE III.

Evaluation coût-efficacité du dispositif Sylvatub

Ce chapitre présente l'application de la méthode de modélisation quantitative par arbres de scénarios à l'évaluation coût-efficacité du dispositif Sylvatub. Après une description de la méthode, les arbres de scénarios élaborés pour l'évaluation du dispositif Sylvatub sont présentés, ainsi que les résultats de l'évaluation de l'efficacité, du coût, et du ratio coût-efficacité des différentes composantes de surveillance et du dispositif dans son ensemble.

I. Matériel et méthodes

1.1. Présentation de la méthode de modélisation par arbres de scénarios

1.1.1. Construction et paramétrage des arbres de scénarios

La construction des arbres de scénarios repose sur plusieurs étapes : (1) la description précise du dispositif de surveillance et de ses composantes, afin d'identifier chaque étape du processus et les facteurs influençant les probabilités d'infection et de détection ; (2) l'estimation de la sensibilité de chaque composante ; (3) l'estimation de la sensibilité du dispositif global ; (4) l'identification par une analyse de sensibilité des paramètres influençant la sensibilité des composantes ; (5) l'identification de la composante ou de la combinaison de composantes la plus efficace (calcul d'un ratio de sensibilités).

1.1.1.1. Description du dispositif de surveillance

Le dispositif de surveillance doit être décrit le plus précisément possible. Il faut notamment préciser :

- *Le champ d'application de la surveillance* : agent pathogène ou syndrome, infection ou maladie, population couverte (espèces, zones géographiques, groupes à risque, ...) ;
- *L'unité d'analyse* (animal, échantillon, échantillons groupés, groupe d'animaux, élevages, ...) ;
- *La période temporelle* : le choix de la période temporelle dépend notamment de l'épidémiologie de la maladie (vitesse de diffusion, durée de la maladie, saisonnalité éventuelle), de la fréquence de réalisation des analyses et de production des résultats (tests ponctuels, rapports mensuels, cultures dont le résultat peut être long à obtenir) et de l'importance économique et politique de la maladie (pertes commerciales, coût d'un dépistage répété). [Martin et al. \(2007a\)](#) proposent une période d'étude mensuelle pour les maladies d'évolution rapide, et annuelle pour les maladies d'évolution lente ;
- *La définition des cas* : les cas (« positifs » et « négatifs ») doivent être clairement définis (exemple : isolement du virus), notamment si des tests diagnostiques séquentiels sont utilisés.

Le dispositif Sylvatub a fait l'objet d'une description précise dans le chapitre II (paragraphe 3.3.).

1.1.1.2. Les différents types de nœuds

L'arbre de scénarios doit inclure tous les facteurs influençant les probabilités qu'une unité de surveillance (animal ou élevage) soit infectée et/ou détectée. La prise en compte des facteurs influençant la probabilité d'infection permet notamment d'estimer les avantages d'une surveillance ciblée. Les arbres se composent généralement de trois principaux types de nœuds : nœuds d'infection, nœuds de détection et nœuds de catégorie.

- Les nœuds d'infection permettent de spécifier le statut infectieux d'une unité ou d'un groupe d'unités. Ils comportent deux branches : « infecté » et « non infecté ».
- Les nœuds de détection représentent chaque événement (appel du vétérinaire, envoi des échantillons au laboratoire, réalisation d'un test, ...) qui peut contribuer à la détection d'une unité. Ils contiennent souvent deux branches (« détecté » et « non détecté »).
- Les nœuds de catégorie représentent les facteurs qui influencent les probabilités qu'une unité soit infectée (« catégorie d'infection ») ou détectée (« catégorie de détection »). Ces nœuds peuvent avoir plusieurs branches, une pour chaque niveau de facteur représenté par le nœud (par exemple, jeune et adulte), au sein desquelles les unités doivent être homogènes vis-à-vis du risque d'infection ou de la probabilité de détection. Dans cette catégorie, on distingue également les nœuds de « catégorie de groupe », utilisés pour décrire le champ d'application de la surveillance (espèce ou zone géographique par exemple). Alors que tout arbre doit contenir au moins un nœud d'infection et un nœud de détection, les nœuds de catégorie sont optionnels.

Les nœuds de l'arbre doivent être ordonnés de manière chronologique selon les événements du processus de surveillance. Les nœuds de catégorie doivent précéder les nœuds d'infection et les nœuds de détection auxquels ils s'appliquent, et les nœuds d'infection doivent précéder les nœuds de détection. Ainsi, sur la **Figure 3**, la zone géographique correspond à un nœud de catégorie d'infection (les unités n'ont pas la même probabilité d'être infectées dans les zones à faible prévalence et dans les zones à forte prévalence), le statut infectieux correspond à un nœud d'infection et le résultat du test diagnostique correspond à un nœud de détection, influençant la probabilité de détection d'une unité infectée.

1.1.1.3. Estimation des probabilités associées aux branches

➤ Sources de données

Des probabilités ou proportions doivent être associées à chaque branche de l'arbre. Les données à l'origine de ces probabilités peuvent être qualitatives, semi-quantitatives, ou quantitatives. Les sources utilisées pour leur estimation peuvent être variées : données épidémiologiques, données historiques, opinions d'experts (Clemen et Winkler, 1999 ; Stärk et al., 2000 ; Vose, 2000). La méthode d'arbres de scénarios permet de combiner les données issues d'études structurées, représentatives, avec des données non représentatives (par exemple obtenues auprès d'éleveurs, d'échantillonnages à l'abattoir, de données de laboratoire ou de projets de recherche), qui étaient avant souvent utilisées pour une estimation qualitative par des experts.

Alors que dans la plupart des cas, l'inclusion de plusieurs sources d'information nécessite des étapes séparées ou de multiples analyses, la modélisation par arbres de scénarios permet de combiner de multiples sources de données dans un même arbre de probabilités (Hoinville *et al.*, 2009), et fournit un outil quantitatif permettant de prendre en compte la variabilité et d'éventuelles incertitudes associées à ces estimations.

➤ **Valeur de la prévalence limite**

L'estimation de la sensibilité de la surveillance est valable pour une valeur de prévalence donnée, notée P^* et appelée prévalence limite, associée au nœud d'infection (Martin *et al.*, 2007a). Elle est souvent assignée à l'échelle de l'animal, mais peut être déterminée à plusieurs niveaux (à l'échelle de l'élevage ou d'une zone par exemple, afin de prendre en compte d'éventuels clusters).

La valeur de P^* n'est pas déterminée en fonction de la prévalence réelle de la maladie dans la population étudiée, mais en fonction de standards internationaux (OIE, directives européennes, conditions nécessaires aux échanges commerciaux) ou de facteurs biologiques (prévalence minimale estimée si la maladie était présente), et n'est pas soumise à une variabilité ou incertitude (estimation déterministe). Elle correspond ainsi à la prévalence minimale que l'on souhaite pouvoir détecter grâce au dispositif de surveillance en place.

Ainsi, lorsque la modélisation par arbres de scénarios est utilisée pour prouver qu'une zone est indemne, la prévalence réelle est nulle, et la prévalence utilisée pour l'évaluation repose sur des contraintes réglementaires (prévalence minimale tolérée ou prévalence minimale permettant de considérer qu'une non-détection de cas est cohérente avec l'absence de la maladie). De manière paradoxale, il est possible de fixer une prévalence limite élevée lorsque que la maladie est peu présente. En effet, la mise en œuvre d'un dispositif de surveillance capable de détecter une prévalence très faible est souvent onéreuse et nécessite beaucoup de ressources. Le choix de la valeur d'une prévalence limite plus élevée dépend alors de la nature de la maladie (de l'intérêt notamment à détecter une prévalence faible), des ressources disponibles, des conséquences de l'infection et de considérations pratiques (faisabilité).

Les arbres de scénarios permettent d'évaluer la capacité d'un dispositif de surveillance à détecter une maladie sur un territoire (c'est-à-dire à détecter au moins un animal infecté), en partant de l'hypothèse qu'elle est présente à une prévalence spécifiée, la prévalence limite, notée P^* .

➤ **Risque différentiel**

Certains groupes de la population ont une probabilité plus élevée d'être infectés. La prise en compte de ce risque différentiel d'infection dans l'analyse, associé aux branches d'un nœud de « catégorie d'infection », permet d'étudier les avantages de la mise en œuvre d'une surveillance ciblée. Les risques relatifs peuvent être estimés à partir de données historiques, de dires d'experts, prenant en compte l'épidémiologie de la maladie et les caractéristiques de la population surveillée,

et doivent être associés à chaque branche du nœud, en étant calculés par rapport à la branche ayant le risque le plus faible.

Le risque moyen dans la population de référence devant être égal à 1, les risques relatifs ajustés pour un nœud sont calculés par une somme pondérée des risques relatifs associés à chaque branche du nœud, tel que : $AR_i = \frac{RR_i}{\sum_{i=1}^K RR_i \times PrP_i}$ (avec AR_i le risque relatif ajusté, RR_i le risque relatif associé à la $i^{ème}$ branche du nœud, PrP_i la proportion d'unités de la population de référence dans la branche i et K le nombre de branches du nœud) et $\sum_{i=1}^K (AR_i \times PrP_i) = 1$. Si un nombre élevé d'unités à haut risque d'infection est prélevé, le risque différentiel augmente la sensibilité de la surveillance (probabilité plus élevée d'obtenir un résultat positif). Le risque ajusté est ensuite utilisé pour calculer la probabilité effective d'infection, notée EPI, telle que : $EPI_i = AR_i \times P^*$.

1.1.2. Calculs

1.1.2.1. Probabilités conditionnelles : rappels

Les calculs sont fondés sur le principe des probabilités conditionnelles, telles que $P(A \text{ et } B) = P(A) \times P(B)$. Ainsi, par exemple, la probabilité qu'un animal infecté soit détecté (c.-à-d. donne un résultat positif à un test diagnostique) peut être exprimée par la probabilité que l'animal soit infecté (prévalence) multipliée par la probabilité que cet animal fournisse un résultat positif au test (sensibilité du test). Toutes les probabilités sont conditionnelles aux précédentes branches de l'arbre.

1.1.2.2. Sensibilité individuelle

La sensibilité individuelle (notée SeU) correspond à la probabilité qu'une unité infectée soit détectée : elle est obtenue par multiplication des branches donnant un résultat favorable à chaque nœud de détection pour un animal infecté.

Lorsque des facteurs influençant la probabilité de détection sont pris en compte (dans des nœuds de « catégorie de détection »), la SeU calculée est alors une moyenne pondérée des sensibilités des sous-groupes étudiés, les poids étant les proportions d'unités dans ces sous-groupes.

1.1.2.3. Sensibilité de groupe

Dans le contexte d'unités groupées (élevages ou régions), les groupes sont supposés homogènes vis-à-vis de la probabilité d'infection. La sensibilité à l'échelle du groupe dépend de plusieurs facteurs : prévalence limite dans le groupe, risque différentiel du groupe, sensibilité de détection, nombre d'unités dans chaque groupe échantillonné. Les résultats des diverses unités sont agrégés pour calculer une sensibilité de groupe (notée SeH), telle que $SeH_h = 1 - (1 - P_U^* \times SeU)^{n_h}$ (avec P_U^* la prévalence limite à l'échelle de l'unité, et n_h le nombre d'unités dans le groupe h), formule classique utilisée en l'absence de nœud de catégorie d'infection.

1.1.2.4. Sensibilité d'une composante de surveillance

La sensibilité individuelle d'une composante de surveillance (notée CSeU) correspond à la probabilité pour qu'un animal, choisi aléatoirement dans la population, soit infecté et détecté. Il convient donc de calculer la probabilité d'occurrence d'un résultat positif en considérant que la maladie est présente sur le territoire à la prévalence spécifiée P^* pour chaque branche, puis de sommer les probabilités associées aux branches ayant donné un résultat positif.

La sensibilité globale ou collective d'une composante de surveillance (notée CSe) est la probabilité qu'une ou plusieurs unités infectées soient détectées, si la prévalence réelle était égale à P^* , tel que : $CSe = 1 - (1 - CSeU)^n$. Lorsque plusieurs groupes sont étudiés, leurs sensibilités respectives doivent être prises en compte dans le calcul de la CSe, tel que $CSe = 1 - \prod_{l=1}^L (1 - SeC_l)$ (où L est le nombre de groupes étudiés, SeC_l la sensibilité pour le groupe l).

1.1.2.5. Ratio de sensibilités

Les sensibilités de deux composantes de surveillance peuvent être comparées en utilisant leur ratio : le ratio de sensibilités mesure ainsi la performance d'une composante du dispositif relativement à une autre. Cela permet par exemple d'estimer quantitativement les avantages d'une surveillance ciblée, en comparant la sensibilité d'une composante ciblée sur des unités à risque et la sensibilité d'une composante fondée sur un échantillonnage aléatoire représentatif de la population, tel que : $SR = \frac{CSe_{cibl\acute{e}}}{CSe_{repr\acute{e}sentatif}}$ (Martin et Cameron, 2003 ; Stärk *et al.*, 2006). Un ratio de sensibilités de 1 indique une efficacité équivalente des composantes comparées ; un ratio supérieur à 1 indique que la surveillance ciblée sur les catégories les plus à risque est plus sensible qu'un échantillonnage aléatoire (les animaux ciblés sont plus à risque d'être infectés, ou ont une plus grande probabilité d'être détectés). Le ratio de sensibilités peut être exprimé par une distribution de fréquence, comme sortie d'un modèle stochastique, et peut prendre en compte la combinaison de plusieurs composantes dans le cas de dispositifs de surveillance complexes.

1.1.2.6. Sensibilité d'un dispositif de surveillance

La sensibilité globale d'un dispositif de surveillance complexe (notée SSe) peut être estimée à partir des estimations de sensibilité de chacune de ses composantes (CSe).

Cannon (2001) a décrit deux techniques de combinaison de sensibilités de plusieurs sources. La première méthode correspond à une simple combinaison de probabilités, basée sur la formule suivante : $SSe = 1 - \prod_{j=1}^J (1 - CSe_j)$ (J représentant le nombre de composantes étudiées) ; la seconde méthode est une méthode qualitative. Ces deux approches supposent que les composantes de surveillance sont indépendantes, ce qui est toutefois rarement le cas.

Martin *et al.* (2007a) ont proposé une méthode pour prendre en compte l'absence d'indépendance entre plusieurs composantes d'un même dispositif, par exemple notées SSC_1 et SSC_2 : le calcul de la sensibilité de SSC_2 doit prendre en compte les informations calculées lors de

l'analyse de SSC₁, en utilisant les probabilités calculées dans le SSC₁ comme distribution *a priori* dans SSC₂, à la place des valeurs de P* ou EPI. Si certains groupes du SSC₂ n'ont pas été examinés dans le SSC₁, les valeurs initiales de P* (ou EPI) peuvent alors être utilisées. L'ordre dans lequel les composantes du dispositif sont analysées n'influence pas le calcul final de la sensibilité du dispositif. Une autre approche est de modéliser toutes les composantes dans le même arbre, comme réalisé par [Hueston et Yoe \(2000\)](#), mais cela conduit à des arbres complexes et parfois peu lisibles.

1.2. Sources de données

Diverses sources de données ont été utilisées pour paramétrer le modèle. Les données sur le fonctionnement et les résultats de la surveillance exercée depuis la mise en œuvre du dispositif Sylvatub en 2011 ont ainsi été utilisées ; le dispositif étant considéré comme opérationnel sur la majeure partie du territoire français depuis la saison 2012-2013. 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.

1.2.1. Bases de données

Cette étude n'a pas impliqué l'abattage d'animaux, les données ayant été collectées à partir d'animaux tués légalement lors des saisons de chasse. Pour chaque animal collecté, des informations sont renseignées par les acteurs de terrain sur des fiches de commémoratifs dédiées : numéro d'identification (si bracelet, ou n° de fiche Sagir par exemple), espèce, date et lieu de collecte (départemental, communal, voire lieu-dit si possible), circonstance de découverte (animal tué à la chasse, trouvé mort ou mourant), âge et sexe des animaux, présence de lésions macroscopiques ou autre anomalie détectée sur la carcasse. Les fiches de commémoratifs sont envoyées au LDA avec la carcasse ou les prélèvements à analyser, et les données les plus importantes sont saisies dans le système d'information du laboratoire. Les LDA renseignent ainsi dans leur LIMS (*Laboratory information management system*) et/ou dans des fichiers Excel dédiés au dispositif Sylvatub les informations relatives à la présence de lésions découvertes lors de l'autopsie et de l'examen détaillé des nœuds lymphatiques, en indiquant à la fois la localisation des lésions et leur description (caséuse, caséo-calcaire, calcifiée, etc.). Les prélèvements réalisés et organes sur lesquels les analyses diagnostiques ont été effectuées sont également indiqués. Lorsqu'une surveillance programmée est effectuée dans des départements de niveau 2 et 3, les DDecPP ont en charge le suivi des prélèvements et renseignent des tableaux comportant les informations précédentes, qu'ils transmettent régulièrement à l'animateur du dispositif et au LDA.

La base de données du dispositif Sylvatub est tenue à jour par l'animateur national, grâce aux données transmises par les LDA, le LNR, les différents acteurs responsables de la collecte des données sur le terrain en surveillance événementielle et les DDecPP en surveillance programmée.

Cette base comporte à la fois des données produites par le dispositif depuis 2011 (dont les animaux collectés dans le cadre du réseau Sagir et qui ont fait l'objet d'une analyse pour la recherche de *M. bovis*), mais également des données issues d'enquêtes ponctuelles réalisées dans certains départements avant la mise en œuvre du dispositif (forêt de Brotonne, Côte-d'Or et Dordogne notamment). Ainsi, en plus des données relatives au fonctionnement du dispositif lors des saisons cynégétiques 2011-2012 (1 419 animaux), 2012-2013 (1 669 animaux) et 2013-2014 (1 753 animaux), des années 2012 (1 835 blaireaux), 2013 (1 788 blaireaux), 2014 (2 752 blaireaux), environ 3 600 animaux supplémentaires ont été inclus dans l'estimation de certains paramètres nécessaires aux simulations. La base de données mise à disposition comportait de nombreuses données manquantes.

Des imputations multiples par équations chaînées (MICE, multiple imputation by chained equations) ont donc été réalisées, afin d'estimer ces données manquantes à partir des autres variables de la base, en faisant l'hypothèse que les données manquantes étaient de type « MAR » (*Missing at random*).

1.2.2. Dires d'expert et revue de la littérature

Une revue de la littérature a été effectuée pour l'estimation de paramètres démographiques relatifs aux populations sauvages (densités, proportion de jeunes et d'adultes dans la population, probabilité qu'un animal soit abattu à la chasse ou soit mort ou mourant). Afin d'estimer certains paramètres non présents dans les bases de données, nous avons également interrogé 27 experts par la méthode Delphi, sélectionnés sur leur connaissance des réseaux Sagir et Sylvatub, leur domaine d'expertise et leur implication à différents stades des dispositifs (acteurs de terrain, experts nationaux). Nous avons ainsi contacté huit experts nationaux ayant de bonnes connaissances générales sur la faune sauvage, et 19 acteurs de terrain impliqués au quotidien dans la surveillance des maladies de la faune sauvage (formateurs référents à l'examen initial, ITD du réseau Sagir), dans chaque catégorie de niveau de risque du dispositif Sylvatub, parmi lesquels 16 ont accepté de participer à l'étude (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Caractéristiques des experts contactés et ayant participé à l'estimation de certains paramètres par la méthode Delphi (nombre de répondants / nombre d'experts contactés)

	Formateur référent	ITD SAGIR	Formateur référent et ITD Sagir	Vétérinaire praticien	Total
National	-	-	-	-	5 / 8
Départemental					
Niveau 1	1 / 2	3 / 3	2 / 3	-	6 / 8
Niveau 2	1 / 2	0 / 1	1 / 2	-	2 / 5
Niveau 3	-	1 / 2	1 / 2	1 / 2	3 / 6

L'étude Delphi a été administrée en ligne à l'aide du logiciel LimeSurvey®. Pour chaque question, il était demandé aux experts de fournir l'estimation quantitative la plus probable, d'après leurs connaissances, du paramètre concerné en fonction de certaines conditions (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). A la fin de chaque question, une plage de commentaires permettait aux experts de pouvoir expliquer leur estimation et d'apporter d'éventuelles précisions. Les questions n'étaient pas à réponse obligatoire, car le questionnaire portait sur un large éventail de connaissances (probabilité qu'un animal sauvage présente des lésions évocatrices de tuberculose, probabilité que de telles lésions puissent être détectées par un chasseur en fonction de son expertise et de sa formation, probabilité qu'un animal mort ou mourant soit détecté par un acteur de terrain et probabilité qu'un tel animal soit collecté pour la réalisation d'une autopsie, voire d'analyses diagnostiques). Le questionnaire est présenté dans l'**Annexe 8**.

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 (connaissance générale, connaissance spécifique liée à la tuberculose, question sur l'examen de la venaison, question sur le fonctionnement du réseau Sagir). Des lois de distribution ont été utilisées pour modéliser la variabilité et l'incertitude des paramètres estimés par cette méthode.

1.2.3. Données économiques

Les coûts des activités de surveillance ont été estimés pour la saison cynégétique 2013-2014 pour le grand gibier et pour l'année 2014 pour les blaireaux, à partir de diverses sources :

- les conventions nationales établies entre les partenaires du dispositif (conventions DGAI-Anses, DGAI-Adilva, DGAI-FNC, DGAI-FNC-ONCFS, Adilva-LNR) (**Tableau 8**) ;
- les conventions départementales établies pour la surveillance programmée dans les départements de niveau 2 et 3 (les DDecPP concernées signent soit une convention avec l'ensemble des partenaires locaux, comme c'est le cas par exemple des Pyrénées-Atlantiques et des Landes ; ou des conventions séparées avec chaque groupe d'acteurs, comme c'est le cas par exemple en Dordogne). Les conventions locales peuvent être très différentes d'un département à l'autre, et ne détaillent pas toutes la répartition des coûts pour les activités de surveillance. Ainsi, afin d'estimer un coût unitaire moyen de la surveillance programmée, les conventions de plusieurs départements ont été étudiées : Haute-Garonne (niveau 2), Côte-d'Or, Dordogne, Pyrénées-Atlantiques et Landes (niveau 3) ;
- les bilans financiers des dépenses réelles pour la surveillance programmée dans certains départements de niveau 2 et 3, utilisés lorsque les conventions départementales n'étaient pas assez précises (surveillance programmée des blaireaux en Côte-d'Or, surveillance programmée dans la zone infectée des Pyrénées-Atlantiques et des Landes) ;
- des estimations quantitatives fournies par les acteurs concernés, lorsque les conventions ne mentionnaient pas de valeur quantitative et lorsque les bilans de dépenses réelles n'étaient pas disponibles (estimation des coûts d'animation nationale obtenues auprès de l'animateur national et de la FNC notamment).

1.3. Evaluation de l'efficacité du dispositif Sylvatub

L'évaluation de l'efficacité du dispositif Sylvatub a été effectuée quantitativement à l'aide de la méthode de modélisation par arbres de scénarios décrite précédemment (Martin *et al.*, 2007a, 2007b), à travers l'estimation quantitative de sa sensibilité, attribut majeur de son efficacité. Des arbres de scénarios ont été élaborés et paramétrés pour chaque composante de surveillance, chaque espèce et niveau de risque, à l'aide du logiciel DecisionTools[®] (version 6) intégré au logiciel Excel, après avoir identifié les principaux nœuds de catégorie et de détection. Les analyses ont été réalisées à l'échelle d'une année, la tuberculose étant considérée comme une maladie chronique. Les scénarios ont été simulés de manière stochastique par simulations de Monte Carlo (10 000 itérations), afin de prendre en compte l'incertitude et la variabilité inhérentes aux paramètres estimés. La sensibilité, en tant que sortie du modèle, a donc été obtenue sous forme d'une distribution de probabilités. La représentation cartographique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel QuantumGis[®].

La sensibilité individuelle de chaque composante de surveillance (CSeU) a été évaluée pour chaque espèce, en considérant la population surveillée par chaque composante (animal abattu à la chasse, trouvé mort ou mourant, échantillonné dans le cadre de la surveillance programmée), en fonction du niveau de risque du département et de l'âge de l'animal (et donc selon la prévalence limite fixée en fonction de ces paramètres). La probabilité d'inclusion des animaux dans chacune des composantes de surveillance n'a pas été prise en compte à ce stade de l'analyse.

La sensibilité collective (CSe) (probabilité de détecter au moins un cas parmi un ensemble n d'animaux) 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 notamment, par espèce et classe d'âge), telle que $CSe = 1 - (1 - CSeU)^n$. La population cible générale a été estimée à partir des tableaux de chasse départementaux fournis par l'ONCFS et la 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 (Ruelle *et al.*, 2014) ; à titre d'exemple, les densités locales estimées dans certains départements lors d'études ponctuelles ont été utilisées et généralisées à l'échelle départementale.

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, tel que $CSe_{composante} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - CSe_k)$ (k représentant les espèces étudiées et CSe la sensibilité collective par composante et niveau de risque pour chaque espèce étudiée).

La sensibilité collective a également été calculée par espèce, quelle que soit la composante de surveillance, en combinant les sensibilités spécifiques de chaque composante de surveillance calculées précédemment en fonction des niveaux de risque départementaux.

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 d'infection fixées par niveau de risque (prévalences limites) et la combinaison des composantes par niveau (**Tableau 6**).

Afin de comparer plus facilement les composantes de surveillance événementielles, un ratio de sensibilités individuelles, prenant en compte la couverture de population de chacune des composantes de surveillance, a été calculé pour comparer la sensibilité de la surveillance par examen de carcasse à celle du réseau Sagir.

1.4. Evaluation économique du dispositif Sylvatub

Chaque composante de surveillance possède un coût d'application qui lui est propre et qui est conditionné par la taille de l'échantillon auquel s'applique la surveillance, ainsi qu'un coût unitaire de la collecte des données et des activités support mises en œuvre (formation, sensibilisation). Certains coûts, dits variables, dépendent du nombre d'individus concernés par le poste économique évalué (par exemple le coût des analyses réalisées sur les animaux suspects), tandis que d'autres, dits fixes, sont indépendants du nombre d'animaux concernés ou en dépendent de manière graduelle (par exemple, l'achat de véhicules ou de congélateurs pour le transport et le stockage des animaux). Nous nous sommes principalement intéressés aux coûts de fonctionnement, et n'avons pas pris en compte les coûts d'investissement qui étaient marginaux dans cette étude.

Les coûts moyens de la surveillance par le dispositif Sylvatub ont été estimés par composante de surveillance, niveau de risque et espèce, pour une année (correspondant à une campagne de surveillance). La variabilité des coûts a également été estimée, car l'importance de valeurs extrêmes et leurs probabilités d'occurrence peuvent en effet influencer le choix d'une stratégie de surveillance et permettent ainsi d'apporter des informations les plus objectives possibles aux décideurs.

L'évaluation économique de la surveillance par le réseau Sagir dans son fonctionnement classique n'a pas été réalisée car elle est indépendante du dispositif Sylvatub. En effet, seules les activités de surveillance renforcées sur les sangliers, les cerfs et les blaireaux dans les départements de niveau 2 et 3 sont indemnisées par l'Etat dans le cadre de Sylvatub.

1.4.1. Les différentes catégories de coûts

Les coûts ont été estimés pour l'Etat, principal organisme financeur du dispositif (**Tableau 8**), et regroupés en trois principales catégories communes aux différentes composantes de surveillance et couvrant plusieurs postes économiques :

- **Animation du réseau d'acteurs** : organisation du dispositif, réunions, envoi de courriers (convocations, informations, résultats), accompagnement et suivi des acteurs de terrain dans leurs missions, salaire des agents en charge de l'animation à l'échelle nationale et locale ;
- **Opérations de collecte** : matériel de prélèvement et de piégeage, capture des blaireaux, prélèvements sur le grand gibier, transport des cadavres ou des prélèvements vers un lieu de stockage, stockage puis transport vers un LDA ;

- **Analyses de laboratoire** : autopsie, prises d'échantillons, analyses au LDA (culture systématique, PCR en cas de lésion évocatrice de tuberculose), analyses au LNR (en cas d'obtention d'un résultat non négatif au LDA), transport d'échantillons entre laboratoires.

1.4.2. Coûts communs aux différentes composantes de surveillance

1.4.2.1. Coûts d'animation nationale

Les coûts inhérents à l'animation réalisée par l'animateur national ont été estimés par l'animateur lui-même, en nombre de jours consacrés en moyenne par an à l'animation, par composante de surveillance et niveau de risque (forfait journalier de 300 € / jour, incluant les frais de personnel, les frais de structure et les frais de déplacement). Cette estimation par composante de surveillance prend en compte les coûts d'animation directe (mails, réunions, organisation de surveillance...); les coûts d'animation indirecte (analyse, bilans de résultats, documents d'information généraux...) n'étant pas spécifiques d'une composante de surveillance en particulier et n'ayant pas été intégrés à l'estimation des coûts relatifs à chaque composante.

1.4.2.2. Coûts des analyses de laboratoire

Les coûts des analyses de laboratoire sont communs aux différentes composantes de surveillance. Les analyses sont indemnisées à hauteur d'un tarif unitaire conventionné à l'échelle nationale (convention DGAI-Adilva), identique pour les espèces et les composantes de surveillance (**Tableau 11**). Le matériel utilisé pour les analyses et le salaire des techniciens de laboratoire n'ont pas été pris en compte car ils ne constituent pas un coût spécifique du dispositif Sylvatub. Les coûts unitaires moyens relatifs à la catégorie « analyses » varient selon plusieurs facteurs :

- l'agrément du LDA de proximité pour les analyses tuberculose (lorsqu'il n'est pas agréé, cela engendre des coûts supplémentaires de conditionnement et de transport) ;
- la présence ou non de lésion(s) évocatrice(s) de tuberculose, qui conditionne la réalisation d'une PCR au LDA : la probabilité qu'un animal présente des lésions évocatrices de tuberculose a été estimée par régression à partir des données de la base Sylvatub, en fonction du statut infectieux vis-à-vis de la tuberculose, de l'espèce et de l'âge des animaux ;
- le nombre d'analyses réalisées par le LDA agréé, les tarifs d'indemnisation unitaires étant dégressifs à partir de 100 analyses réalisées par un même laboratoire : les tarifs d'indemnisation respectifs ont été pris en compte dans la variabilité potentielle des coûts (coût minimum, moyen, maximum) ;
- le résultat des analyses au LDA, qui conditionne l'envoi de matériel biologique au LNR : les valeurs de sensibilité et de spécificité des analyses réalisées au LDA ont été estimées à dire d'experts ;
- le nombre d'analyses réalisées au LNR.

1.4.3. Coûts de la surveillance événementielle par examen de carcasse

Les postes économiques spécifiques de la surveillance par examen de carcasse, qui repose principalement sur une dynamique d'information et de sensibilisation d'acteurs volontaires, sont présentés dans le **Tableau 10** ; les montants unitaires n'étant pas indiqués dans la convention DGAI-FNC (seul le montant général, de 50 000 € net de taxe, y est mentionné, pouvant couvrir plusieurs années de surveillance). Les coûts d'animation nationale ont été estimés par la personne en charge du dossier Sylvatub à la FNC, en fonction d'un temps de travail journalier par niveau de risque (forfait journalier de 300 € / jour, incluant les frais de personnel, les frais de structure et les frais de déplacements). Ces frais sont pris en charge à hauteur de 11 000 € par la convention DGAI-FNC ; 1 000 € par la convention DGAI-FNC-ONCFS, le reste étant à la charge de la FNC.

Tableau 10 : Postes économiques spécifiques de la surveillance événementielle par examen de carcasse
(Source : Convention DGAI-FNC 2013, article 2)

Poste économique	Catégorie de coût	Type de coût	Description et commentaires
Participation nationale	Animation	Fixe	Réunions nationales (comité de pilotage, cellule d'animation) et départementales (information, présentation des résultats, formation des référents Sylvatub, ...) Communication avec les acteurs de terrain (téléphone, mails) Suivi administratif et financier de la surveillance
Organisation locale du réseau	Animation	Fixe	Organisation pratique de la surveillance avec les partenaires locaux et l'animateur national, afin d'aboutir à un schéma consensuel de fonctionnement local et assurer la formation des personnels de fédération pour le prélèvement d'organes
Sensibilisation et information	Animation	Fixe	Activités de sensibilisation et d'information des chasseurs par les FDC et la FNC au sujet de la problématique Sylvatub (conception et diffusion de documents d'information, réunions)
Retour d'information	Animation	Fixe	Retour d'information aux chasseurs par les FDC des résultats d'analyses transmis par la DDecPP ou le LDA
Prise en charge des suspicions	Collecte	Variable	Prise en charge des animaux suspects, depuis l'alerte donnée par le chasseur lors de l'examen de carcasse, jusqu'au dépôt de l'animal suspect ou des prélèvements au LDA le plus proche

1.4.4. Coûts de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir

Le **Tableau 12** présente les coûts inhérents au renforcement de la surveillance événementielle dans les départements de niveau 2 et 3 ; la convention couvrant les frais d'autopsie, d'analyses, de logistique et de déplacements pour 600 animaux par an à l'échelle nationale (500 blaireaux et 100 cerfs ou sangliers), à hauteur de 80 % pour l'ONCFS et 20 % pour la FNC et les FDC.

1.4.5. Coûts de la surveillance programmée

La surveillance programmée repose sur l'organisation et la planification préalable d'une campagne de surveillance, et sur l'animation et l'encadrement local du réseau d'acteurs. Les coûts d'animation concernent ainsi principalement les réunions d'organisation et de coordination de la campagne de piégeage, la préparation effectuée en amont (achat, préparation et distribution des kits de collecte par exemple). Les coûts inhérents à cette composante sont très variables d'un

département à l'autre, l'organisation pratique étant déterminée par des conventions départementales prenant en compte les caractéristiques et contraintes locales de fonctionnement. Les activités de surveillance programmée étant décrites de différentes manières selon les conventions, nous avons élaboré un tableau générique regroupant les principaux postes économiques à estimer, en fonction du modèle de convention fourni dans la note de service DGAL/SDSPA/N2011-8214 (**Tableau 13**).

Les coûts de surveillance programmée ont été estimés pour plusieurs départements, afin de prendre en compte leur variabilité en fonction des organisations locales (Durand, 2015a). En Dordogne, les opérations de surveillance programmée sont encadrées par plusieurs conventions (DDCSPP-FDC, DDCSPP-Lieutenants de l'ovellerie, DDCSPP-piégeurs, DDSCPP-GDS), dans lesquelles les sommes engagées par la DDPP sont détaillées et chiffrées. Les coûts inhérents au matériel de collecte ont été réestimés, car ceux conventionnés peuvent concerner plusieurs campagnes de surveillance. Ainsi, pour estimer le coût global du matériel effectivement utilisé sur une campagne dans ce département, nous avons calculé le matériel réellement utilisé sur la campagne 2013-2014 et l'année 2014 en fonction du nombre d'animaux collectés et analysés (base Sylvatub), et utilisé un facteur multiplicateur (doublement du matériel utilisé) pour prendre en compte la perte ou la casse de matériel. En Côte-d'Or, les coûts d'animation et de collecte ont été estimés à partir des tableaux de suivi des piégeages et des estimations effectuées par le technicien en charge du dossier à la DDPP lorsqu'aucun document n'était disponible. Enfin, dans la zone d'infection commune aux Pyrénées-Atlantiques et aux Landes, les coûts ont été estimés à partir des bilans financiers du coordonnateur régional.

1.4.6. Distinction entre les coûts de la surveillance et les coûts de la lutte

Dans les départements de niveau 3, des opérations de lutte (régulation des populations de blaireaux dans les zones à risque) sont conduites en parallèle des opérations de surveillance. Leurs coûts sont souvent imbriqués au sein des conventions départementales concernant le dispositif Sylvatub : parmi les blaireaux capturés (dont les coûts d'animation et de collecte sont conventionnés), seuls certains font l'objet d'une analyse dans le cadre de la surveillance mise en œuvre par le dispositif Sylvatub ; les autres animaux ne sont pas analysés mais concourent à la régulation de la population. Ainsi, les actes conventionnés localement ne concernent pas seulement la surveillance, une partie du temps d'animation et de collecte étant destinée à la lutte. Afin de distinguer les coûts inhérents à la surveillance de ceux liés à la lutte, nous avons dans un premier temps estimé un coût unitaire moyen par blaireau capturé (en divisant le coût total de chaque catégorie « animation » et « collecte » par le nombre de blaireaux capturés (analysés ou non) ; puis multiplié ce coût unitaire par le nombre de blaireaux analysés (donnée épidémiologique présente dans la base Sylvatub), afin d'estimer le coût global de la surveillance. Nous avons ainsi fait l'hypothèse que les coûts unitaires d'animation et de collecte relatifs à la surveillance et à la lutte étaient identiques.

Tableau 11 : Coûts unitaires communs aux différentes composantes du dispositif Sylvatub (Sources : Convention DGAI-Adilva 2013 ; Convention Adilva-LNR 2012)

Poste économique	Catégorie de coût	Type de coût	Estimation (TTC)	Description et commentaires
Autopsie sommaire pour prise d'échantillon	Analyse	Variable	37 €	L'autopsie a pour objectif la recherche de lésions évocatrices de tuberculose et la prise d'échantillons à partir de cadavres ou de blocs d'organes en vue des analyses au LDA.
Prélèvements et conditionnement	Analyse	Variable	16 €	Prélèvement des nœuds lymphatiques et des lésions éventuelles sur des cadavres ou des blocs d'organes, préparation des prélèvements effectués par un laboratoire de proximité non agréé.
Transport de prélèvements vers un LDA agréé	Analyse	Variable	22 €	Transport de prélèvements ou d'échantillons d'un laboratoire de proximité non agréé vers un laboratoire agréé.
Culture (LDA agréé)	Analyse	Variable	85 € (< 100 cultures) 42 € (> 100 cultures)	Les cultures sont systématiquement réalisées et indemnisées sur les animaux collectés dans le cadre du dispositif Sylvatub.
PCR (LDA agréé)	Analyse	Variable	80 € (< 100 PCR) 60 € (> 100 PCR)	Les PCR ne sont réalisées et indemnisées que sur des animaux présentant des lésions évocatrices de tuberculose dans le cadre du dispositif Sylvatub.
Transport d'extraits d'ADN vers le LNR	Analyse	Variable	22 €	Envoi d'extraits d'ADN au LNR si un résultat non négatif en PCR a été obtenu dans un LDA agréé.
Transport de souches vers le LNR	Analyse	Variable	45 €	Envoi de souches au LNR si un résultat non négatif en culture a été obtenu dans un LDA agréé.
PCR (LNR)	Analyse	Variable	15 €	Une PCR de confirmation est réalisée au LNR si des résultats positifs ou douteux ont été obtenus dans un LDA agréé.
Typage (LNR)	Analyse	Variable	85 €	Un typage est réalisé au LNR sur les souches de mycobactéries isolées par un LDA agréé.

Tableau 12 : Postes économiques spécifiques de la surveillance par le renforcement du réseau Sagir
(Source : Avenant du 17 juin 2013 à la convention nationale DGAI-ONCFS-FNC de décembre 2012)

Poste économique	Catégorie de coût	Type de coût	Estimation	Description et commentaires
Collecte d'animaux morts ou moribonds	Collecte	Variable	100 € / animal	L'Etat indemnise les frais de déplacement liés à la collecte des animaux morts ou mourants dans le cadre du renforcement du réseau Sagir dans les départements de niveau 2 et 3, dans les zones considérées à risque (sangliers, cerfs et blaireaux seulement).
Matériel consommable	Collecte	Variable	8,35 € / animal	L'Etat indemnise le matériel consommable nécessaire à la collecte des cadavres (gants, sacs étanches, etc.) dans le cadre du renforcement du réseau Sagir dans les départements de niveau 2 et 3 (sangliers, cerfs et blaireaux seulement).

Tableau 13 : Postes économiques spécifiques de la surveillance programmée (Sources : conventions locales)

Poste économique	Catégorie de coût	Type de coût	Description et commentaires
Coordination départementale du dispositif	Animation	Fixe	Les DDecPP affectent à temps partiel ou à temps plein pour les missions Sylvatub des agents titulaires et peuvent avoir recours à des personnels contractuels ou des personnels d'organismes tiers (comme les GDS) sous convention.
Réunions d'organisation de la surveillance et d'animation locale	Animation	Variable	L'indemnisation des réunions pour l'organisation et l'animation de la surveillance à l'échelle départementale couvre le nombre d'heures passées en réunion (tarif horaire de 16,82 €, selon l'article 7 de l'arrêté ministériel du 30 mars 2001) et les frais de déplacement*. Selon les départements, organisent ou participent aux côtés de la DDecPP l'association des lieutenants de louveterie, les associations de piégeurs agréés, les fédérations départementales des chasseurs.
Encadrement des opérations sur le terrain	Animation	Variable	Les lieutenants de louveterie sont responsables de la mise en œuvre opérationnelle de la surveillance programmée des blaireaux et de l'encadrement des activités de piégeage sur le terrain. L'indemnisation de la supervision locale prend en compte le nombre d'heures et les frais de déplacement.
Communication et retour d'information	Animation	Variable	Les DDecPP doivent réunir et transmettre les résultats de la surveillance aux différents partenaires. La transmission d'information peut être effectuée à l'occasion de réunions ou à travers des bulletins d'information, qui génèrent des frais d'impression de documents et d'envoi de courriers.
Matériel (capture des blaireaux, prélèvements sur le grand gibier)	Collecte	Variable	Les DDecPP doivent mettre à disposition des acteurs de terrain (lieutenant de louveterie, fédérations des chasseurs, ...) le matériel nécessaire pour les opérations de capture des blaireaux et de prélèvements sur le grand gibier (gants, sac étiquetés, fiches commémoratives, collets à arrêtoirs, etc.).
Adhésion des piégeurs agréés	Collecte	Variable	Dans certains départements, la DDecPP prend en charge l'adhésion d'un certain nombre de piégeurs à une association locale (exemple : Dordogne, Pyrénées-Atlantiques).
Capture des blaireaux	Collecte	Variable	Les DDecPP indemnisent les piégeurs agréés pour la collecte des blaireaux au <i>pro rata</i> du temps passé (tarif horaire de 16,82 € selon l'article 7 de l'arrêté ministériel du 30 mars 2001 fixant les modalités de l'estimation des animaux abattus, des denrées et des produits sur ordre de l'administration). Certains départements prévoient un plafond maximal (45 minutes et 3 déplacements par blaireau). Dans certains départements, les frais de déplacements sont également indemnisés (0,40 € / km). Enfin, certains départements prévoient une indemnisation au blaireau collecté (~ 20 € / blaireau).
Collecte, stockage et transport des animaux ou prélèvements au LDA	Collecte	Variable	Les modalités de stockage et de transport des animaux au LDA de proximité sont variables selon les départements. En règle générale, les lieutenants de louveterie sont responsables de cette activité, indemnisée en fonction du temps passé et des frais de déplacement*. Des congélateurs sont généralement fournis, aux frais de la DDecPP, pour faciliter le stockage et mutualiser les transports au LDA.

* Dans certains départements, l'indemnisation des déplacements est réalisée à hauteur de 0,40 € / km, tandis que dans d'autres elle est effectuée en fonction de la puissance fiscale du véhicule (selon l'article 10 du décret n°2006-781 du 3 juillet 2006 fixant les conditions et modalités de règlement des frais occasionnés par les déplacements temporaires des personnels de l'Etat).

1.4.7. Estimation des coûts des composantes de surveillance et du dispositif

Les coûts totaux unitaires ont été estimés pour chaque composante de surveillance, niveau de risque et espèce, par simulations de Monte Carlo, en additionnant les coûts inhérents à l'animation, à la collecte, et aux analyses de laboratoire pour un animal. Le statut infectieux de l'animal a été pris en compte pour l'estimation des coûts relatifs aux analyses de laboratoire, car celui-ci influence la probabilité que l'animal présente des lésions évocatrices de tuberculose, et donc le type d'analyses réalisées au LDA (culture seule ou culture et PCR), ainsi que la probabilité que les analyses réalisées au LDA fournissent un résultat positif ou douteux, et donc que des analyses de confirmation soient effectuées au LNR. Par ailleurs, les coûts étant différents selon l'agrément du laboratoire de proximité, nous avons utilisé la proportion de LDA agréés pour les analyses tuberculose dans chaque niveau de risque (soit, pour la saison 2013-2014, respectivement pour les départements de niveau 1, 2 et 3, 10 %, 30 % et 40 %) pour pondérer les coûts estimés pour chaque type de laboratoire et ainsi obtenir un coût moyen par niveau de risque.

Les coûts réels de la surveillance par le dispositif Sylvatub ont été estimés pour la saison cynégétique 2013-2014 pour le grand gibier et pour l'année civile 2014 pour les blaireaux, en fonction (1) des coûts totaux unitaires moyens estimés pour chaque catégorie, (2) du nombre d'animaux collectés par chaque composante et niveau de risque, obtenu à partir de la base Sylvatub, (3) du nombre et du type d'analyses réalisées dans les laboratoires départementaux (culture, PCR en fonction de la présence ou non de lésions décelées à l'autopsie au LDA), (4) de l'agrément du laboratoire de proximité pour les analyses tuberculose et (5) du nombre d'analyses réalisées au LNR (données obtenues à partir des bases de données départementales des LDA et de la base de données du LNR). Une illustration cartographique des coûts réels estimés pour la période d'étude a été réalisée à l'aide du logiciel QuantumGis®.

Enfin, des coûts annuels attendus moyens ont été estimés par simulations de Monte Carlo pour un département « type », pour chaque niveau de risque, à partir (1) des coûts totaux unitaires moyens estimés par composante, espèce et niveau de risque, et (2) d'un nombre attendu moyen d'animaux collectés, par composante, espèce et niveau de risque, calculé à partir des moyennes d'animaux collectés sur les deux dernières saisons de chasse (pour le grand gibier) et années civiles (pour le blaireau).

1.5. Evaluation coût-efficacité du dispositif Sylvatub

Les arbres de scénarios ont été élaborés et paramétrés pour chaque composante de surveillance, pour lesquelles l'efficacité et les coûts ont été estimés de façon indépendante, afin de pouvoir comparer les ratios coût-efficacité de chacune des composantes. L'objectif était ainsi de comparer la surveillance mise en œuvre dans les différents niveaux de risque en France et

d'identifier les facteurs influençant la détection, à la fois d'un point de vue de l'efficacité du dispositif et de son coût.

Le ratio coût-efficacité a été estimé par simulation de Monte Carlo, pour un animal infecté, tel que $RCE = \frac{\text{Coût unitaire pour un animal infecté}}{\text{Sensibilité individuelle pour un animal infecté}}$, afin d'estimer le coût relatif à la probabilité de détecter l'infection pour un animal infecté, pour chaque composante, niveau de risque et espèce animale. Plus la valeur du ratio est faible, meilleur est le rapport coût-efficacité de l'activité de surveillance.

Par ailleurs, le ratio coût-efficacité a également été calculé à l'échelle collective, en fonction d'un nombre attendu moyen d'animaux devant être collecté par composante de surveillance, niveau de risque et espèce, afin d'estimer le coût global de la surveillance par rapport à la probabilité de détecter l'infection dans un département, et ainsi d'intégrer le coût inhérent à l'ensemble des animaux, dont les animaux indemnes qui sont également soumis à la surveillance.

II. Résultats

Cette partie présente l'élaboration des arbres de scénarios utilisés pour estimer quantitativement l'efficacité du dispositif Sylvatub, le choix des nœuds ainsi que les paramètres utilisés pour alimenter le modèle. Les résultats de l'évaluation de la sensibilité et de l'évaluation économique sont présentés et discutés pour chaque composante du dispositif.

L'étude sur l'évaluation de la sensibilité de la surveillance a fait l'objet d'un article publié dans une revue internationale à comité de lecture : Rivière J, Le Strat Y, Dufour B, Hendrikx P (2015) Sensitivity of bovine tuberculosis surveillance in wildlife in France : a scenario tree approach. *PLoS ONE*. 10(10) : e0141884. doi:10.1371/journal.pone.0141884 (**Annexe 9**).

2.1. Construction et paramétrage des arbres

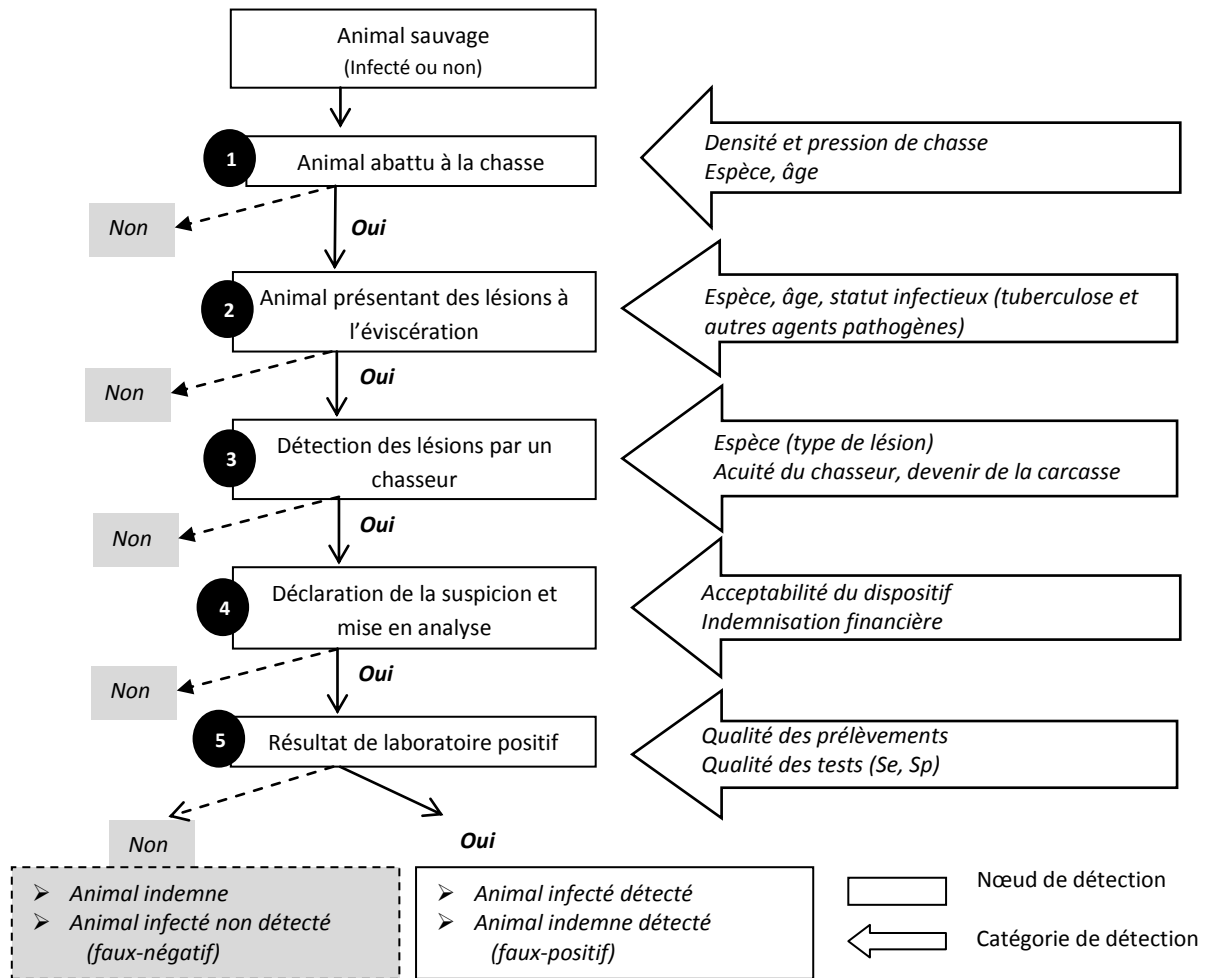
2.1.1. Description des arbres de scénarios

Le dispositif Sylvatub a été modélisé par la méthode des arbres de scénarios : la détection d'un animal sauvage par chaque composante de surveillance a été définie par une succession d'étapes indispensables représentées par des nœuds de détection ; la performance de la détection d'un animal infecté étant directement dépendante de la performance de chacune de ces étapes. La probabilité de détecter l'événement qui incombe à chaque nœud de détection est influencée par des facteurs, intrinsèques ou extrinsèques aux individus concernés, qui influent donc sur l'efficacité des composantes et peuvent induire par conséquent un défaut de sensibilité du dispositif dans sa globalité (ces facteurs sont indiqués dans les flèches sur les représentations simplifiées des arbres, **Figure 12**, **Figure 13**, **Figure 14**). Par ailleurs, des erreurs par excès peuvent également être observées pour chaque composante, induisant la détection et la collecte d'animaux indemnes, engendrant ainsi des coûts supplémentaires et conduisant ainsi à un défaut de spécificité du dispositif.

2.1.1.1. Surveillance événementielle par examen de carcasse

La détection d'un animal par la composante de surveillance par examen de carcasse nécessite que l'animal soit abattu à la chasse, qu'il présente des lésions évocatrices de tuberculose visibles lors de l'éviscération, que ces lésions soient détectées par un chasseur, que ce chasseur déclenche une suspicion de tuberculose et soumette la carcasse suspecte à des analyses de laboratoire, et que le résultat des analyses soit positif (**Figure 12**).

❶ **Animal abattu à la chasse** : L'intensité de la chasse varie selon les densités de population de chaque espèce et le type de chasse pratiqué (familiale, commerciale) ; et, au sein d'une espèce, selon l'âge et le sexe. Ainsi, dans les départements caractérisés par une faible pression de chasse sur le grand gibier, il est plus difficile de détecter des cas par cette composante. Compte tenu des faibles répercussions cliniques d'une infection tuberculeuse, la probabilité qu'un animal sauvage soit abattu à la chasse peut être considérée identique pour un animal infecté ou indemne.

Figure 12 : Arbre simplifié illustrant la surveillance de l'infection à *M. bovis* par examen de carcasse

2 **Présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose à l'éviscération** : La surveillance par examen de carcasse repose sur la détection fortuite de lésions lors de l'éviscération d'un animal tué à la chasse ; un animal ne présentant pas de lésion ne pouvant pas être détecté par cette composante. L'expression lésionnelle chez les animaux infectés n'est pas systématique et dépend notamment de l'espèce et de l'âge : ainsi, la prévalence lésionnelle semble plus importante chez le Cerf que chez le Sanglier, d'après une étude conduite en forêt de Brotonne en 2005-2006 (Zanella *et al.*, 2008a). Par ailleurs, la prévalence de lésions évocatrices de tuberculose augmente avec l'âge chez le Sanglier et le Cerf, mais ne diffère pas selon le sexe (Vicente *et al.*, 2006). A l'inverse, certains animaux peuvent être infectés par d'autres agents pathogènes induisant des lésions de type abcès, que les acteurs de terrain peuvent confondre avec des lésions tuberculeuses.

3 **Détection des lésions par un chasseur lors de l'éviscération** : La sensibilisation des chasseurs et leur connaissance de la tuberculose, en partie dépendante de leur formation (obligatoire si la carcasse est commercialisée), peut fortement influencer leur capacité de détection des lésions évocatrices de tuberculose. La détection des lésions est également influencée par le type d'expression lésionnelle (lésion évolutive, ouverte, ou lésion de petite taille localisée à des nœuds lymphatiques par exemple) et donc par le stade d'avancement de la maladie et l'espèce : les cerfs présentent généralement des lésions caséuses abcédées sur le bloc digestif ou pulmonaire, tandis

que chez les sangliers les lésions sont plus souvent de nature caséo-calcaire et principalement localisées aux nœuds lymphatiques, en particulier rétropharyngiens, donc peu visibles et difficilement décelables à l'examen du gibier par le chasseur.

4 Déclaration de la suspicion, réalisation des prélèvements et envoi à un laboratoire pour analyse : La probabilité qu'un chasseur ayant détecté des lésions évocatrices de tuberculose déclare une suspicion et réalise les prélèvements adéquats pour analyse ne peut pas être considérée de 100 %, notamment en raison de la mise en place récente du dispositif. Par ailleurs, la découverte d'un foyer sauvage pouvant entraîner des mesures drastiques, tant au niveau de la population animale concernée que du renforcement de la surveillance impliquant un investissement local important, une sous-déclaration est possible. La déclaration d'une suspicion peut également dépendre de l'existence et de l'importance d'une indemnisation financière des frais de collecte et d'analyse.

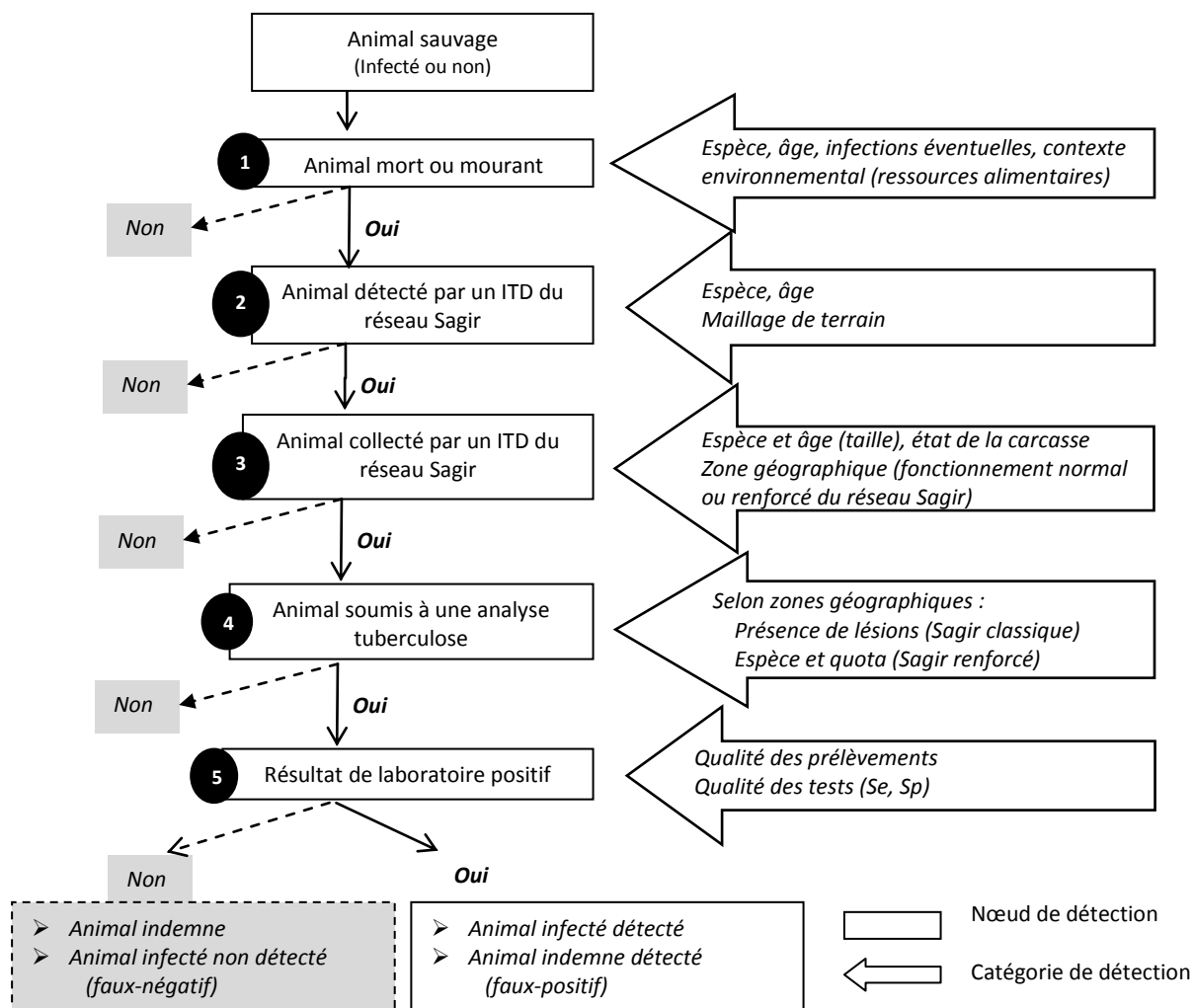
5 Résultat de la procédure diagnostique : Les organes prélevés et la technique de prélèvement peuvent influencer le diagnostic (localisation des lésions variable selon les espèces notamment). Les conditions de prélèvement sont souvent difficiles pour les espèces sauvages et l'état de dégradation des prélèvements peut se répercuter sur la possibilité de les analyser (contaminations bactériennes de la carcasse ou des prélèvements, délai d'acheminement au laboratoire, méthodes de conservation éventuelles, etc.). Le résultat final dépend également de la qualité du ou des test(s) pratiqué(s) : culture systématique au LDA et PCR en parallèle si des lésions évocatrices de tuberculose sont détectées ; puis PCR et spoligotypage au LNR si un résultat non négatif a été obtenu au LDA.

2.1.1.2. Surveillance événementielle par le réseau Sagir

La détection d'un animal par la composante de surveillance reposant sur le réseau Sagir nécessite la succession des étapes suivantes : que l'animal soit mort ou mourant, qu'il soit détecté par un acteur de terrain (ITD du réseau Sagir), que cet acteur le collecte et l'achemine au LDA, qu'une recherche de tuberculose soit effectuée et que les résultats d'analyses soient positifs (**Figure 13**). La prise en compte de la zone géographique est importante pour cette composante car elle influence la collecte des animaux, la mise en œuvre d'analyses de recherche de tuberculose, les espèces ciblées et l'indemnisation de la surveillance.

1 Animal mort ou mourant : Le réseau Sagir s'intéresse aux causes de mortalité des animaux sauvages et collecte donc des animaux morts ou moribonds dans ce cadre. La probabilité qu'un animal soit mort ou mourant dépend de son âge (survie des nouveau-nés, mortalité par vieillesse des animaux âgés), de son statut sanitaire (infection par un agent pathogène à impact clinique par exemple). Compte tenu de la faible répercussion clinique d'une infection tuberculeuse, il a été considéré que la probabilité qu'un animal soit mort ou mourant est indépendante de son statut infectieux vis-à-vis de la tuberculose.

Figure 13 : Arbre simplifié illustrant la surveillance de l'infection à *M. bovis* par le réseau Sagir



2 Détection d'un animal mort ou mourant : La détection d'un animal mort ou moribond par un acteur de terrain dépend de sa taille et de son comportement, et donc de l'espèce (certaines espèces ont tendance à s'isoler et se dissimuler en forêt et seront donc difficilement accessibles par les acteurs de terrain). Par ailleurs, 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.

3 Collecte d'un animal mort ou mourant : Les animaux morts ou moribonds ne sont pas systématiquement collectés par les acteurs du réseau Sagir dans le cadre du fonctionnement classique du réseau (analyses financées par les FDC). Un effort de collecte est demandé dans les départements de niveau 2 et 3 dans le cadre du renforcement de la surveillance pour les blaireaux, cerfs, et sangliers. La taille de l'animal, fonction de son espèce et de son âge, peut limiter la possibilité de prise en charge, les animaux de grande taille étant moins fréquemment collectés pour des raisons pratiques et logistiques liées au transport. Enfin, l'état de l'animal, notamment son état de dégradation, peut influencer sa collecte : si l'animal est dans un état de décomposition avancée, il n'est souvent pas collecté pour des raisons pratiques et techniques (la putréfaction peut interférer avec les analyses diagnostiques et induire des résultats faussement négatifs en culture en raison d'une contamination du prélèvement). Compte tenu de l'absence d'éviscération et d'observation de

potentielles lésions macroscopiques par les ITD sur le terrain, la probabilité de collecte a été considérée identique que l'animal soit infecté ou indemne de tuberculose.

4 Réalisation d'analyses de recherche de *M. bovis* : Dans le cadre du fonctionnement normal du réseau Sagir, l'animal est soumis à une recherche de *M. bovis* seulement si des lésions évocatrices sont détectées par un technicien lors de l'autopsie. Or, la présence de lésions n'est pas constante chez les animaux infectés. Dans le cadre du renforcement du réseau Sagir (départements de niveau 2 et 3), la recherche de *M. bovis* est systématiquement réalisée sur les cerfs, sangliers et blaireaux ; les coûts des analyses étant indemnisés par l'Etat dans le cadre du dispositif Sylvatub.

5 Résultat de la procédure diagnostique : Les animaux collectés dans le cadre de la surveillance par le réseau Sagir sont acheminés entiers au laboratoire et ne font pas l'objet de prélèvement sur le terrain. Toutefois, les animaux morts sont parfois dans un état de dégradation avancée : certains d'entre eux ne sont pas analysables en raison du délai d'acheminement et de leur état de conservation, et la contamination bactérienne peut induire une diminution notable de la sensibilité de la culture. Le résultat final dépend également de la qualité du ou des test(s) pratiqué(s) : culture et éventuellement PCR au LDA, puis PCR et spoligotypage au LNR en cas de résultat non négatif.

2.1.1.3. Surveillance programmée

La surveillance programmée de l'infection à *M. bovis* repose sur la constitution d'échantillons dont la taille dépend de la taille de la population (liée à la densité de l'espèce et à la taille de la zone de surveillance) ; les animaux collectés étant systématiquement analysés au LDA, qu'ils présentent ou non des lésions évocatrices de tuberculose. La détection d'animaux par cette composante nécessite donc que l'animal fasse partie d'un plan d'échantillonnage (c.-à-d. qu'il soit abattu à la chasse ou piégé dans ce cadre), et que les résultats de la procédure d'analyse soient positifs (**Figure 14**). Son efficacité dépend ainsi principalement de l'efficacité de l'échantillonnage (importance et fonctionnement du réseau d'acteurs de terrain) et de la qualité de la procédure diagnostique.

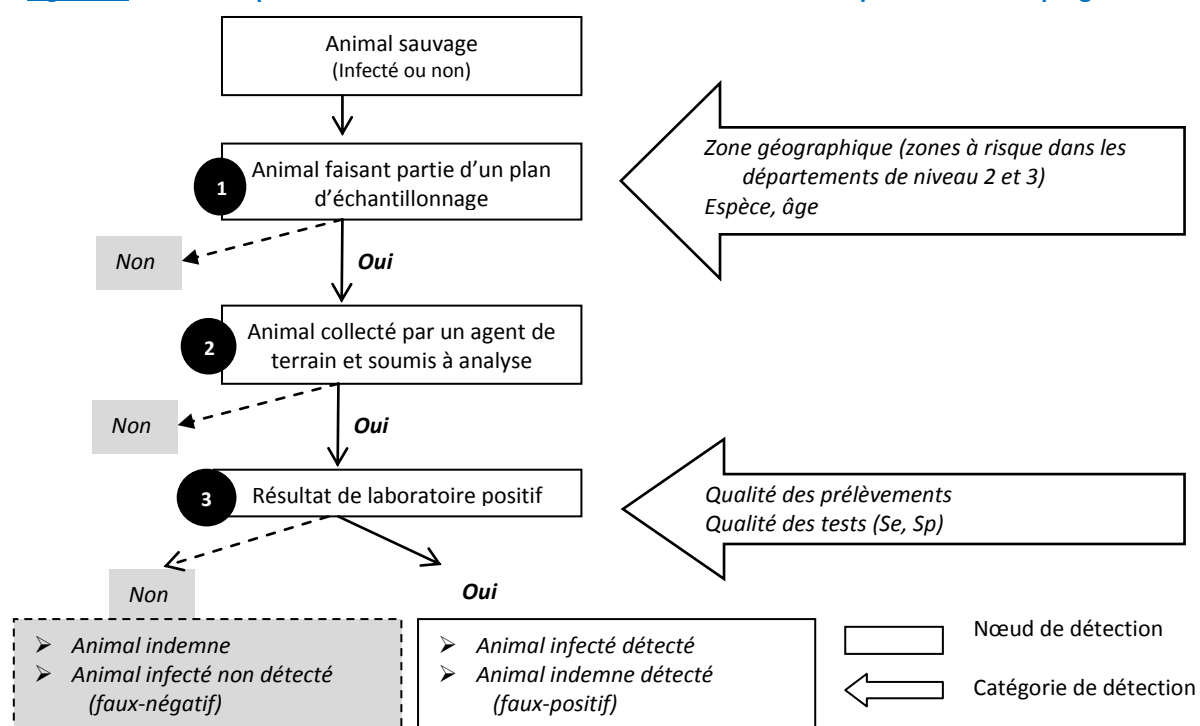
1 Plan d'échantillonnage : La probabilité qu'un animal sauvage fasse partie d'un plan d'échantillonnage dépend de la zone géographique et de l'espèce. Dans les départements de niveau 2, la surveillance programmée est effectuée sur une quinzaine de blaireaux dans un rayon de 1 km environ autour des foyers bovins ; tandis que dans les départements de niveau 3 elle est effectuée sur le grand gibier (100 sangliers, 60 cerfs) et/ou les blaireaux (100 individus), dans des zones géographiques plus larges. Le nombre d'acteurs de terrain peut constituer un frein à la réalisation de l'échantillonnage, ce qui est particulièrement valable pour la capture des blaireaux par des piégeurs agréés, acteurs volontaires et non rémunérés pour cette activité très chronophage.

2 Collecte et mise en analyse : La probabilité qu'un animal tué ou piégé dans le cadre de la surveillance programmée soit collecté par un agent de terrain et soumis à une analyse de laboratoire peut être considérée de 100 %, dans la mesure où les animaux sont tués ou piégés dans ce but.

3 Résultat de la procédure diagnostique : Pour les cerfs examinés dans le cadre de la surveillance programmée, la culture bactérienne n'est réalisée qu'en présence de lésion(s) évocatrice(s) de

tuberculose (la corrélation entre l'infection et les lésions macroscopiques, souvent mésentériques et pulmonaires, est généralement bonne). Pour les sangliers, la corrélation entre infection tuberculeuse et lésions macroscopiques n'est pas bonne, soit du fait de l'existence de microlésions limitées aux nœuds lymphatiques céphaliques qui sont peu accessibles, soit d'un portage de *M. bovis* sans lésion, soit du fait de la présence de lésions abcédées mais non tuberculeuses. La surveillance programmée s'appuie donc chez les sangliers sur une inspection de la carcasse et une analyse bactériologique systématique, *a minima* sur un pool « standard » de nœuds lymphatiques si l'animal ne présente pas de lésion évocatrice de tuberculose, et sur les organes lésés le cas échéant.

Figure 14 : Arbre simplifié illustrant la surveillance de l'infection à *M. bovis* par surveillance programmée



2.1.2. Paramétrage des arbres : données populationnelles et épidémiologiques

2.1.2.1. Paramètres communs aux différentes composantes de surveillance

➤ Densités des populations sauvages

Les densités des populations sauvages ne sont pas connues avec précision et sont difficiles à estimer. Les densités de grand gibier ont été estimées globalement à partir des tableaux de chasse réalisés lors de la saison cynégétique 2013-2014, centralisés par l'ONCFS et la FNC. Le cerf et le chevreuil sont soumis à un plan de chasse national obligatoire (attribution d'un quota d'animaux à capturer pour un territoire), visant à suivre l'évolution des espèces sur le long terme et à assurer une gestion équilibrée des populations. Le sanglier n'est pas soumis à un plan de chasse national obligatoire mais il existe un suivi annuel des tableaux de chasse départementaux réalisés depuis 1973 sur l'ensemble du territoire national. Ainsi, la densité des sangliers dans un massif correspond en

moyenne au double du tableau de chasse réalisé, la densité des cerfs au quadruple, et la densité des chevreuils au quintuple du tableau de chasse (Hars, communication personnelle).

Le blaireau est une espèce chassable au fusil ou sous terre (vénerie), mais il n'existe pas de synthèse de tableaux de chasse pour cette espèce car les prélèvements par tir sont rares. Le dénombrement des populations de blaireaux est difficile en raison du comportement nocturne et grégaire de cette espèce, qui vit en groupes comprenant un nombre variable d'individus au sein de terriers. Par ailleurs, il n'existe pas encore de méthode standardisée de suivi des populations, les méthodes utilisées actuellement étant principalement indirectes et restant à valider (dénombrement de terriers par prospection, estimation de l'effectif moyen des groupes, constatation d'indices de présence et de dégâts, comptage nocturne, etc.), permettant d'estimer la densité de terriers et de blaireaux par km² sur des zones restreintes (Sadlier *et al.*, 2004 ; Do Linh San, 2006 ; Bodin, 2012). Les seules informations disponibles à l'échelle nationale en France sont issues des données collectées dans le cadre des « Carnets de bord petits carnivores » par les agents de l'ONCFS depuis 2001, qui recensent les observations de blaireaux morts ou vivants lors de leurs déplacements, mais qui ne sont pas représentatives de la population générale et ne sont donc actuellement pas exploitables pour l'estimation de densités départementales (Ruelle *et al.*, 2014). Des études locales et ponctuelles ont été conduites dans certaines zones, mais la situation est contrastée, les populations pouvant être importantes localement comme en Côte d'Or et faibles à absentes dans d'autres régions comme en Corse par exemple. Par ailleurs, les méthodes utilisées sont variables et ne permettent pas de comparaison fiable entre les études. Nous avons toutefois utilisé des estimations locales de densités de blaireaux conduites dans certains départements (Tableau 14), pour estimer globalement leur densité à l'échelle départementale, en utilisant comme surface disponible les sols non artificialisés (Agreste, enquête Teruti-Lucas 2014) afin d'exclure les zones urbanisées considérées comme impropres à l'installation et à l'exploitation du milieu par les blaireaux. Elles ne peuvent toutefois pas être extrapolées à l'ensemble des départements français, les densités de terriers et de blaireaux variant de façon importante selon les habitats (Ruelle *et al.*, 2014).

Tableau 14 : Estimations locales de densités de blaireaux dans certains départements français

Zone géographique	Estimations	Source
Lorraine (Meurthe et Moselle, Meuse, Moselle, Vosges)	0,53 ± 0,22 adultes / km² ; 0,75 ± 0,33 blaireaux / km² (Estimation de 0,15 terrier principal / km ² et 4,99 ± 2,20 blaireau par terrier principal, dont 3,56 ± 1,48 adultes)	Lebecel et GEML (2010)
Bas-Rhin	0,84 Adultes / km² (Estimation de 0,28 terrier principal / km ² et de 2 à 4 adultes par terrier principal)	Braun (2007)
Ardennes	0,82 [0,73 ; 0,94] adultes / km² (Estimation de 0,32 terrier principal / km ² et de 3,3 ± 2,5 blaireaux / terrier principal, dont 2,6 ± 1,9 adultes)	Bodin (2012)
Côte d'Or	3,2 à 9,1 adultes/km² et 1,3 à 3,6 jeunes / km²	Payne (2014)
Dordogne	0,85 à 1,17 BL / km² incluant les jeunes (Estimation de 0,5 à 0,7 terrier principal / km ² et 1,3 ± 0,4 adultes par terrier principal)	Réveillaud (2011)
Puy de Dôme	1,9 individus / km², dont 0,9 adultes/km² (Estimation de 0,45 terrier principal / km ² et 4,2 individus en moyenne par terrier principal, dont 4 adultes et 2,2 jeunes par groupe)	Rigaux et Chanu (2011)
Europe continentale	0,63 individus / km² [0,16 ; 1,52] (Estimation de 0,03 à 1,2 terrier principal / km ²)	Kowalczyk <i>et al.</i> (2000)

➤ Paramètres démographiques (répartition des classes d'âge dans la population générale)

La plupart des paramètres démographiques sur la dynamique de populations sauvages sont méconnus ou incertains en raison des difficultés d'accès à ces animaux (Servanty, 2007).

- **Sangliers** : Trois classes d'âge sont définies dans la littérature en fonction de l'apparition des molaires et de l'usure des dents (Matschke, 1967 ; Baubet *et al.*, 1994) : les jeunes (0 à 12 mois), les subadultes (12 à 24 mois) et les adultes (> 24 mois, il est ensuite difficile d'estimer l'âge réel au sein des adultes). Le sanglier est une espèce opportuniste et prolifique qui s'adapte à une grande diversité de sources alimentaires et dont les capacités de reproduction dépendent en partie des conditions environnementales ; la taille moyenne d'une portée étant de quatre à six individus (Servanty, 2007). Une population de sangliers non chassée est globalement composée de 55-59 % de jeunes, 24-29 % de subadultes et 17 % d'individus adultes (Spitz, 1984 ; Baubet, 1998 ; Servanty, 2007).

- **Cervidés** : La variation des paramètres démographiques des populations de grands herbivores est principalement liée à la quantité et à la qualité des ressources alimentaires (Pellerin *et al.*, 2014), et donc à l'habitat (Pettorelli *et al.*, 2002), aux conditions météorologiques (Gaillard *et al.*, 1993) et à la densité de la population (Bonenfant *et al.*, 2002) (il existe peu de prédateurs naturels en France). Les femelles produisent généralement un seul petit par an. Les jeunes représentent près de 24 % des populations de cerfs élaphe et de chevreuils (Dzięciolowski, 1979 ; Rolland, 2003), la proportion pouvant varier entre 18 et 38 % pour les cerfs élaphe (Dzięciolowski, 1979).

- **Blaireaux** : Trois classes d'âge sont classiquement définies dans la littérature à partir de l'observation de la dentition des blaireaux (Bodin, 2005 ; Do Linh San, 2006), leur taille, masse, pelage et morphologie générale : les jeunes (0-12 mois), les subadultes (12-24 mois) et les adultes (> 24 mois). Il y a une seule portée par an, de deux à trois petits (maximum cinq), les naissances ayant lieu entre janvier et mars. La structure en âge des populations de blaireaux dépend de la période : au printemps, après la naissance des jeunes, les populations se composent d'environ 40 % de jeunes, 16-20 % de subadultes et de 40-45 % d'adultes ; tandis qu'à l'automne, en tenant compte de la mortalité précoce des blaireaux nés dans l'année, la population se compose de 25-30 % de jeunes, 20-25 % de subadultes et 45-55 % d'adultes (Ahnlund, 1980 ; Rogers *et al.*, 1997 ; Seiler *et al.*, 2003).

Afin de simplifier le modèle, nous n'avons retenu pour notre étude que deux classes d'âge pour les quatre espèces : les jeunes et les adultes. Conformément aux avis des experts interrogés par la méthode Delphi, les sangliers subadultes ont été regroupés avec les adultes, et les cervidés subadultes ont été regroupés avec les jeunes (aucun consensus n'a été obtenu pour les blaireaux). Le **Tableau 15** présente les valeurs des paramètres utilisés dans notre modèle à partir de la revue de littérature effectuée, les paramètres ayant été modélisés par des lois de distribution de type Pert.

Tableau 15 : Proportions de jeunes et d'adultes dans la population générale, selon l'espèce animale

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)
Chevreuil	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)

➤ **Prévalence limite**

La probabilité qu'un animal sauvage soit infecté dépend de la zone géographique, de l'espèce et de l'âge des animaux. Certaines espèces comme le Sanglier sont par exemple très réceptives. Les jeunes sont souvent plus réceptifs et plus sensibles, mais les adultes sont davantage exposés au bacille tuberculeux au cours de leur vie. La sensibilité d'une composante de surveillance dépend de la prévalence de la maladie dans la population étudiée. Dans le cadre de l'évaluation que nous avons effectuée, l'efficacité a été mesurée à travers l'estimation de la sensibilité de la surveillance, par rapport à un objectif de détection d'une prévalence minimale, appelée prévalence limite, que le dispositif doit être en mesure de détecter avec une certaine probabilité. Ainsi, la note de service réglementaire sur le dispositif Sylvatub indique que celui-ci doit pouvoir détecter une prévalence de 3 % avec un risque d'erreur de 5 % dans les départements de niveau 3, sans toutefois préciser les objectifs de détection dans les autres niveaux de risque. Par ailleurs, les probabilités ajustées d'infection pour chaque catégorie de risque (dans notre cas, niveau de risque, espèce et classe d'âge) sont habituellement déterminées en fonction des risques relatifs d'infection et des proportions de population dans chaque groupe à risque (Martin *et al.*, 2007a), qui ne sont toutefois pas actuellement connus. Pour déterminer les prévalences limites utilisées dans notre modèle, plusieurs étapes ont donc été nécessaires :

- (1) L'objectif de détection d'une prévalence limite de 3 % dans les départements de niveau 3, au risque d'erreur de 5 %, a été utilisé comme point de départ.
- (2) Un risque relatif a ensuite été calculé par niveau de risque, en fonction de la prévalence de tuberculose en élevage bovin (les niveaux de risque du dispositif Sylvatub 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). Les risques relatifs dans les départements de niveau 2 et 3 étaient ainsi respectivement de 13 et de 38, relativement aux départements de niveau 1 de plus faible risque (**Tableau 16**).
- (3) Les prévalences limites attendues dans les départements de niveau 1 et 2 ont ainsi pu être estimées à partir de la prévalence limite de 3 % fixée dans les départements de niveau 3 et de ces risques relatifs (**Tableau 16**).
- (4) Une régression multivariée (Poisson) a été effectuée sur les 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.
- (5) Nous avons alors ajusté les probabilités obtenues à partir du modèle de régression sur les valeurs de prévalences limites 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 limites 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 limites ajustées utilisées pour paramétrer les arbres de scénarios (**Tableau 16**).

Tableau 16 : Prévalences limites appliquées en fonction du niveau de risque, de l'espèce et de la classe d'âge

		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	
Risque relatif		1	13	38	
Prévalence limite attendue		0,07 %	1,05 %	3 %	
Prévalence limite ajustée	Sanglier	Jeune	0,058 %	0,79 %	2,26 %
		Adulte	0,084 %	1,14 %	3,26 %
	Cerf	Jeune	0,012 %	0,16 %	0,46 %
		Adulte	0,017 %	0,23 %	0,66 %
	Chevreuil	Jeune	0,012 %	0,16 %	0,46 %
		Adulte	0,017 %	0,23 %	0,66 %
	Blaireau	Jeune	0,069 %	0,93 %	2,67 %
		Adulte	0,099 %	1,35 %	3,85 %

➤ **Présence de lésions évocatrices de tuberculose au laboratoire départemental d'analyses**

La détection de lésions évocatrices au LDA (variable à expliquer, binaire), qui conditionne la recherche de *M. bovis* pour la surveillance par le réseau Sagir dans son fonctionnement classique et la réalisation d'une PCR quelle que soit la composante de surveillance, 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 ainsi été utilisés pour paramétrer le modèle à partir de lois normales (adaptées pour représenter des phénomènes biologiques) (**Tableau 17**).

Tableau 17 : Probabilités associées à la présence et à la détection de lésions évocatrices de tuberculose lors de l'autopsie d'un animal sauvage au LDA selon son statut infectieux, son espèce et sa classe d'âge

Espèce	Age	Animal indemne	Animal infecté
Sanglier	Jeune	Normal (0,068 ; 0,006)	Normal (0,580 ; 0,029)
	Adulte	Normal (0,076 ; 0,005)	Normal (0,610 ; 0,016)
Cerf	Jeune	Normal (0,040 ; 0,006)	Normal (0,440 ; 0,040)
	Adulte	Normal (0,045 ; 0,006)	Normal (0,470 ; 0,034)
Chevreuil	Jeune	Normal (0,270 ; 0,025)	Normal (0,880 ; 0,017)
	Adulte	Normal (0,295 ; 0,021)	Normal (0,890 ; 0,011)
Blaireau	Jeune	Normal (0,034 ; 0,004)	Normal (0,400 ; 0,032)
	Adulte	Normal (0,038 ; 0,002)	Normal (0,430 ; 0,011)

➤ **Procédures diagnostiques**

La probabilité pour que des prélèvements ne soient pas analysables dépend de la qualité de réalisation et d'acheminement des prélèvements (organes d'intérêt prélevés, conservation des prélèvements, délai d'acheminement au laboratoire, etc.) : ces facteurs ont été assimilés au niveau de formation du chasseur. Les qualités des tests diagnostiques réalisés au LDA (culture, PCR) ont été estimés chez les bovins par analyse par classe latente, sur des échantillons provenant d'animaux à lésions et d'élevages suspects (Courcoul *et al.*, 2014), mais ne sont pas connues pour les espèces sauvages. Par ailleurs, la sensibilité de l'ensemble de la procédure diagnostique est *a priori* plus faible pour les populations sauvages que pour les populations domestiques : 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

une diminution d'environ 15 % de la sensibilité de la PCR par effet de dilution (M.L. Boschioli, communication personnelle) (Tableau 18, les paramètres ont été modélisés à l'aide de distributions Pert). La spécificité de la PCR et de la culture sont équivalentes pour les bovins et les populations sauvages (pas de facteur modulateur) (M.L. Boschioli, communication personnelle). D'après Fitzgerald *et al.* (2000), la sensibilité et la spécificité des tests ne varient pas avec l'âge et le sexe.

Tableau 18 : 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 tuberculose, une culture et une PCR sont effectuées en parallèle au 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 sensibilité est estimée à environ 90 % [85 % ; 95 %] et la spécificité à 100 % (*PCR intra complexe tuberculosis*) (M.L. Boschioli, communication personnelle). Les caractéristiques du spoligotypage ne sont pas connues avec précision et n'ont pas été prises en compte dans l'analyse. La procédure globale (LDA et LNR) peut ainsi être estimée par les formules suivantes : $Se_{procédure\ totale} = Se_{LDA} \times Se_{PCR}$, et $Sp_{procédure\ globale} = 1 - (1 - Sp_{LDA}) \times (1 - Sp_{LNR})$.

2.1.2.2. Paramètres spécifiques de la surveillance événementielle par examen de carcasse

➤ Probabilité d'être abattu à la chasse

La probabilité qu'un animal sauvage soit tué lors d'une pratique de chasse habituelle dépend de l'espèce et de l'âge des individus, ainsi que de la pression de chasse dans la zone.

- **Sangliers** : La mortalité liée à la chasse peut être estimée globalement à 40 % chez les jeunes et 56 % chez les adultes (Servanty, 2007 ; Toïgo *et al.*, 2010). Les tirs sont principalement dirigés sur les individus subadultes ; alors que les laies, les marçassins (jeunes âgés de moins de 6 mois) et les individus solitaires comme les mâles adultes sont souvent évités (Fattebert, 2005 ; Merta *et al.*, 2014).

- **Cervidés** : Les jeunes et les femelles reproductrices sont moins ciblés lors de la chasse que les mâles âgés, les chasseurs collectant les bois en tant que trophées. Pour éviter des déséquilibres populationnels et maintenir des structures sociales correctes, la répartition des prélèvements à la chasse doit obéir à la règle des trois tiers : 1/3 de cerfs coiffés, 1/3 de biches, 1/3 de jeunes de l'année (sans distinction du sexe) (Rolland, 2003). Ces données sont cohérentes avec les tableaux de chasse réalisés en France sur les cerfs entre 2010 et 2013, pour lesquels la proportion de jeunes parmi les cerfs chassés était de 24 % à 26 % (source ONCFS). Pour les chevreuils, la proportion de jeunes était de 7,8 à 8,8 % sur les quatre dernières saisons de chasse, mais les données collectées

sont partielles et l'absence de jeune chevreuil notifié dans un département ne signifie pas forcément l'absence de collecte de cette classe d'âge mais davantage l'absence de retour d'information.

Le **Tableau 19** présente les valeurs des paramètres utilisées pour documenter notre modèle, à partir de la revue de littérature effectuée. Le nombre d'animaux tués par département a été obtenu à partir des tableaux de réalisations en 2013-2014, centralisés par l'ONCFS et la FNC.

Tableau 19 : Probabilité qu'un animal sauvage soit tué à la chasse selon sa classe d'âge

	Jeune	Adulte
Sanglier	Pert (0,35 ; 0,40 ; 0,45)	Pert (0,50 ; 0,55 ; 0,63)
Cerf	Pert (0,15 ; 0,20 ; 0,25)	Pert (0,25 ; 0,30 ; 0,35)
Chevreuil	Pert (0,10 ; 0,15 ; 0,25)	Pert (0,20 ; 0,25 ; 0,30)

➤ **Présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose**

La présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose a été estimée par la méthode Delphi, selon l'espèce, l'âge et le statut infectieux vis-à-vis de la tuberculose (**Tableau 20**).

Tableau 20 : Probabilité de présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose en fonction de l'espèce, de la classe d'âge et du statut infectieux des animaux

		Indemne	Infecté
Sanglier	Jeune	Pert (0,01 ; 0,05 ; 0,3)	Pert (0,4 ; 0,5 ; 0,9)
	Adulte	Pert (0,05 ; 0,05 ; 0,3)	Pert (0,5 ; 0,5 ; 0,9)
Cerf	Jeune	Pert (0 ; 0,03 ; 0,1)	Pert (0,6 ; 0,9 ; 1)
	Adulte	Pert (0 ; 0,05 ; 0,2)	Pert (0,6 ; 0,85 ; 1)
Chevreuil	Jeune	Pert (0 ; 0,1 ; 0,2)	Pert (0,5 ; 0,8 ; 0,9)
	Adulte	Pert (0 ; 0,1 ; 0,2)	Pert (0,5 ; 0,8 ; 0,95)
Blaireau	Jeune	Pert (0 ; 0,1 ; 0,3)	Pert (0 ; 0,15 ; 0,3)
	Adulte	Pert (0 ; 0,1 ; 0,4)	Uniform (0 ; 1)

D'après les experts interrogés, les sangliers adultes infectés présentent souvent des lésions de petite taille localisées aux nœuds lymphatiques céphaliques, mais des individus jeunes peuvent présenter une tuberculose étendue dans les populations fortement infectées, avec des lésions macroscopiques facilement décelables. Plusieurs experts ont souligné le manque actuel de connaissances sur l'expression lésionnelle chez les chevreuils, et ont donc proposé des valeurs proches de celle du cerf. La prévalence lésionnelle chez les blaireaux semble globalement faible, quel que soit l'âge, le contexte environnemental semblant jouer un rôle non négligeable (ainsi, en France, la prévalence lésionnelle est plus importante en Dordogne qu'en Côte d'Or par exemple).

➤ **Détection de lésions évocatrices de tuberculose et déclaration de la suspicion**

La détection de lésions sur les carcasses dépend de l'acuité du chasseur réalisant l'inspection. Ce paramètre étant difficile à estimer, nous l'avons simplifié en distinguant les chasseurs formés à l'examen initial de la venaison et les chasseurs non formés ; le nombre de chasseurs formés par département ayant été fourni par la FNC et les FDC (**Figure 15**). Par ailleurs, l'expertise des chasseurs est également fortement dépendante de leur niveau de sensibilisation et de leur expérience vis-à-vis de la tuberculose. Ainsi, la probabilité qu'un chasseur détecte des lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose et déclenche une suspicion a été estimée par la méthode Delphi, selon

l'espèce, la formation du chasseur et son niveau de sensibilisation, considéré comme étant étroitement dépendant du niveau de risque départemental (**Tableau 21**).

Figure 15 : Nombre de chasseurs (à gauche) et proportion de chasseurs formés à l'examen initial de la venaison (à droite) par département (Source : ONCFS, FNC)

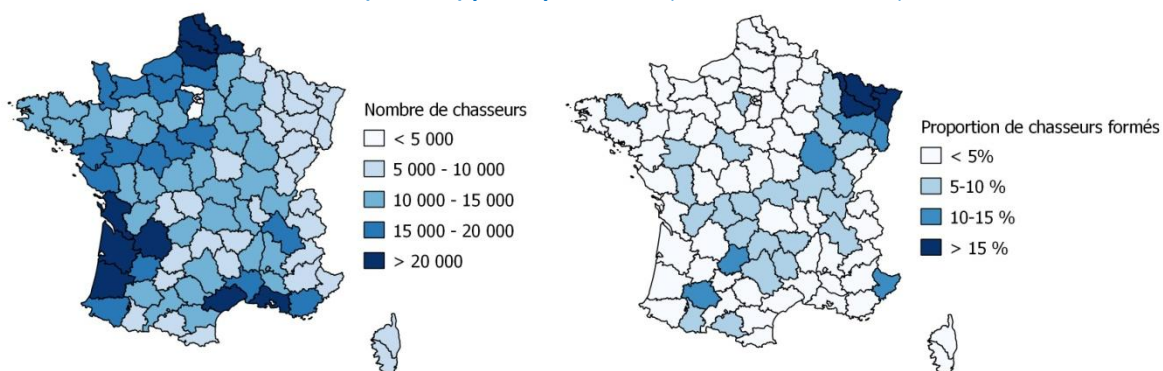


Tableau 21 : Probabilité de détection des lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose en fonction de l'espèce, de la formation du chasseur et du niveau de risque départemental

		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)	Uniform (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)	Uniform (0 ; 0,75)	Uniform (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)	Uniform (0 ; 0,75)	Pert (0,3 ; 0,5 ; 0,9)

D'après les experts interrogés, la probabilité qu'un chasseur détecte des lésions évocatrices de tuberculose est plus élevée chez les cervidés, car les lésions chez les sangliers sont souvent localisées aux nœuds lymphatiques céphaliques et sont donc difficilement décelables ; tandis que les cerfs présentent davantage des lésions abcédées localisées dans le système pulmonaire ou digestif, plus facilement détectables. L'effet de la formation des chasseurs sur la détection des lésions est particulièrement marqué pour les départements de niveau 3. Par ailleurs, la probabilité de détection est également influencée par le niveau de risque du département : certains experts considèrent ainsi que la sensibilisation par des activités de communication, particulièrement développées dans les départements de haut niveau de risque, a plus d'impact que la formation sur la détection de lésions par les acteurs.

La déclaration d'une suspicion de tuberculose suite à la découverte de lésions évocatrices a été estimée en parallèle par les experts, en considérant que le niveau d'expertise du chasseur influence la capacité de détection mais aussi sa connaissance de la procédure. D'après certains experts, les conséquences de la détection d'un cas de tuberculose sur les acteurs du monde de la chasse peuvent diminuer leur propension à déclarer une suspicion. Cet avis n'est toutefois pas partagé par tous les experts, certains considérant que la plupart des chasseurs déclarent toute anomalie détectée à l'éviscération, notamment depuis que des activités de communication ont été conduites.

2.1.2.3. Paramètres spécifiques de la surveillance événementielle par le réseau Sagir

➤ Paramètres démographiques relatifs à la mortalité des animaux sauvages

Les paramètres relatifs à la mortalité des animaux sauvages hors chasse sont difficiles à estimer quantitativement, car ils varient fortement selon le contexte environnemental (conditions climatiques, disponibilité des ressources alimentaires), les conditions démographiques (surpopulation notamment), ainsi que selon le statut sanitaire des populations. La probabilité qu'un animal soit mort ou mourant a été estimée selon l'espèce et l'âge, à partir d'une revue de la littérature (**Tableau 22**).

- **Sangliers** : Les estimations des taux de survie chez les sangliers sont souvent réalisées sur des populations chassées et sont très variables (Andrzejewski et Jezierski, 1978 ; Bieber et Ruf, 2005). Deux principaux facteurs influencent la survie : l'âge (la survie des jeunes étant souvent plus faible que celle des adultes - Fruzinski, 1995 ; Baubet, 1998 ; Bieber et Ruf, 2005), et les conditions environnementales, notamment la disponibilité alimentaire et les facteurs climatiques (Okarma et al., 1995 ; Jedrzejewska et al., 1997 ; Bieber et Ruf, 2005). Hors chasse, les principales causes de mortalité sont les maladies, la famine, les bagarres entre mâles lors du rut, ainsi que les collisions routières (les sangliers ont peu de prédateurs naturels en France, hormis les renards sur les jeunes marcassins) (Servanty, 2007). La survie naturelle des sangliers a été estimée à 86 % chez les adultes (soit un taux de mortalité hors chasse d'environ 14 %) (Jezierski, 1977 ; Servanty, 2007).

- **Cervidés** : La survie chez les herbivores adultes est d'environ 90 % et est peu sensible aux variations environnementales, alors que la survie chez les jeunes est plus faible (environ 50 % la première année et 75 % pour les subadultes) et très variable au cours du temps selon les populations (parturition tardive, facteurs génétiques, prédation, conditions météorologiques, etc.) (Gaillard et al., 1998, 2000 ; Servanty, 2007 ; Pellerin et al., 2014). D'après l'ONCFS, la mortalité chez les faons varie ainsi de 30-50 % en situation défavorable à 10-15 % en situation favorable. Chez les subadultes et les adultes, le taux de mortalité est seulement de 10 % environ, et augmente ensuite jusqu'à dépasser 50 % chez les animaux âgés.

- **Blaireaux** : La mortalité parmi les subadultes et les adultes peut être estimée à un taux constant de 25 % d'après plusieurs études (Ahnlund, 1980 ; Anderson et Trehwella, 1985 ; White et Harris, 1995 ; Smith et al., 1997 ; Seiler et al., 2003 ; Shirley et al., 2003). Le taux de mortalité des jeunes durant leur première année de vie est estimé à 40-60 % (Ahnlund, 1980 ; Anderson et Trehwella, 1985). La chasse, les collisions routières, les maladies, la famine et les blessures sont les principales causes de mortalité chez les blaireaux (Seiler et al., 2003). Nous avons considéré que la mortalité est indépendante du sexe, de l'âge, et de la densité de population (certaines études en Grande Bretagne tendent toutefois à montrer une dépendance entre la densité et la mortalité des adultes dans les populations à haute densité ; Rogers et al., 1997 ; Macdonald et Newman, 2002).

Tableau 22 : Probabilité d'être mort ou mourant selon l'espèce et la classe d'âge des individus

	Jeunes	Adultes
Sangliers	Pert (0,13 ; 0,20 ; 0,30)	Pert (0,08 ; 0,15 ; 0,20)
Cervidés	Pert (0,20 ; 0,30 ; 0,50)	Pert (0,05 ; 0,10 ; 0,15)
Blaireaux	Pert (0,20 ; 0,30 ; 0,60)	Pert (0,10 ; 0,20 ; 0,30)

➤ Détection d'un animal mort ou mourant

La probabilité de détection d'un animal mort ou mourant a été estimée par la méthode Delphi, selon l'espèce animale (**Tableau 23**). Certains experts ont souligné que le milieu environnant et la saison pouvaient influencer la détection des animaux en fonction de l'abondance de la végétation qui peut masquer des cadavres, et du nombre d'acteurs susceptibles de détecter des animaux. Ainsi, dans des milieux forestiers peu denses et en période de chasse, la probabilité de détection semble plus importante. La détection est dépendante de l'espèce, car les cadavres de grand gibier sont plus facilement détectables que les blaireaux, de plus petite taille et qui meurent souvent au sein des terriers. Cette question a soulevé des divergences entre les experts, certains indiquant que la probabilité de détection d'un cadavre reste très faible quelle que soit l'espèce.

Tableau 23 : Probabilité de détection d'un animal mort ou mourant selon l'espèce

Sanglier	Pert (0,05 ; 0,15 ; 0,40)
Cerf	Pert (0,05 ; 0,20 ; 0,60)
Chevreuril	Pert (0,05 ; 0,15 ; 0,40)
Blaireau	Pert (0,01 ; 0,20 ; 0,40)

➤ Collecte d'un animal mort ou mourant

La probabilité de collecte d'un animal mort ou mourant par un acteur du réseau Sagir a été estimée par la méthode Delphi selon l'espèce, l'âge et le niveau de risque du département (**Tableau 24**). D'après certains experts, compte tenu des aléas de terrain, la probabilité de collecte d'un animal dépend peu du niveau de risque du département ; mais d'autres ont indiqué que le financement des analyses par les FDC dans les départements de niveau 1 pouvait constituer un frein à la collecte. Par ailleurs, la taille des animaux peut constituer une contrainte pratique à la collecte. La collecte des blaireaux peut également être contrainte par l'état de dégradation des animaux lorsqu'ils sont tués par collision routière (cadavres écrasés, rapidement dégradés par des charognards).

Tableau 24 : Probabilité de collecte d'un animal mort ou mourant selon l'espèce, la classe d'âge et le niveau de risque du département

		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	Jeune	Pert (0 ; 0,05 ; 0,3)	Pert (0,01 ; 0,2 ; 0,5)	Uniform (0,1 ; 0,9)
	Adulte	Pert (0 ; 0,03 ; 0,2)	Pert (0,03 ; 0,1 ; 0,4)	Uniform (0,1 ; 0,8)
Cerf	Jeune	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)	Uniform (0,03 ; 0,8)	Pert (0,2 ; 0,5 ; 1)
Chevreuril	Jeune	Pert (0 ; 0,05 ; 0,1)	Pert (0,01 ; 0,2 ; 0,3)	Uniform (0 ; 1)
	Adulte	Pert (0 ; 0,05 ; 0,1)	Uniform (0 ; 1)	Uniform (0 ; 1)
Blaireau	Jeune	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)

2.1.3. Paramétrage des arbres : données économiques

2.1.3.1. Coûts des analyses de laboratoire, communs aux différentes composantes de surveillance

Le coût des analyses diagnostiques varie selon l'agrément du LDA de proximité pour les analyses tuberculose, le type d'analyse réalisé au LDA (culture et/ou PCR) et au LNR (PCR et/ou typage), et selon le nombre d'analyses réalisées chaque année par le LDA (**Tableau 11**). Le nombre d'analyses réalisées par chaque LDA étant variable selon les saisons, les coûts unitaires des analyses de laboratoire ont été paramétrés dans le modèle par des lois de distribution de type Pert pour prendre en compte cette variabilité et cette incertitude (**Tableau 25**).

Tableau 25 : Coût unitaire des analyses de laboratoire (incluant les frais de transport), en fonction de l'agrément du laboratoire de proximité et des analyses réalisées (en euros)

Type de laboratoire		Coût unitaire en l'absence de lésions (culture seule)	Coût unitaire si présence de lésions (culture et PCR en parallèle)
Coût des analyses réalisées au LDA	LDA de proximité non agréé	Pert (117 ; 140 ; 160)	Pert (177 ; 197 ; 240)
	LDA de proximité agréé	Pert (79 ; 100 ; 122)	Pert (139 ; 159 ; 202)
Coût des analyses réalisées au LNR		Pert (37 ; 130 ; 167)	Pert (37 ; 130 ; 167)

2.1.3.2. Coûts spécifiques de la surveillance événementielle par examen de carcasse

➤ **Animation** : Le coût d'animation nationale par la FNC a été estimé sur la base d'un forfait journalier (300 € / jour). Le temps passé à l'animation nationale est variable selon les saisons de chasse et ne peut pas être mis en relation directe avec le nombre de suspicions pour une année, car les activités d'animation concernent à la fois la gestion des suspicions pour la saison en cours, et également des activités de sensibilisation et de communication pour préparer la saison suivante. Pour estimer le coût unitaire moyen d'animation nationale réalisée par la FNC (coût d'animation pour un animal collecté), la moyenne du temps d'animation sur les trois dernières saisons de chasse (2012-2013, 2013-2014, 2014-2015) a été mis en relation avec le nombre moyen de suspicions pour ces périodes (en moyenne 55 suspicions pour 7 900 € / an). En prenant en compte une certaine variabilité et incertitude dans le temps passé à l'animation et le nombre de suspicions par saison cynégétique, le coût unitaire moyen de l'animation nationale par la FNC a ainsi été modélisé par une loi de distribution de type Pert (120 ; 144 ; 160).

Le coût d'animation par l'animateur national a été estimé par l'animateur lui-même, en nombre moyen de jours consacrés par an à l'animation de cette composante, par niveau de risque. Ainsi, le temps consacré à l'animation de la surveillance par examen de carcasse a été estimé à 2,4 jours pour l'ensemble des départements de niveau 1 et 4,8 jours pour les départements de niveau 2 et 3 respectivement. En moyenne, le coût de l'animation globale est donc de 3 600 € par an (forfait journalier de 300 € / jour), pour 55 suspicions, soit 65 € par animal suspect. Le coût d'animation semble plus important dans les départements de niveau 2 et 3, mais le nombre de suspicions y est également plus important (environ 10, 25 et 20 suspicions en moyenne par an, respectivement dans les départements de niveau 1, 2 et 3) : le coût unitaire est donc globalement équivalent entre les niveaux de risque. En prenant en compte une certaine variabilité et incertitude dans le temps passé

et le nombre de suspicions annuelles, le coût unitaire moyen de l'animation par l'animateur national a été modélisé par une loi Pert (58 ; 65 ; 72), quel que soit le niveau de risque et l'espèce.

- **Collecte** : Une indemnisation forfaitaire de 100 € par animal suspect est versée par l'Etat aux FDC pour la prise en charge des carcasses suspectes, prenant en compte le temps passé et le déplacement moyen, quels que soient l'espèce et le niveau de risque du département.
- **Analyses** : L'élément déclencheur étant la détection d'une lésion évocatrice de tuberculose, il a été considéré que tous les animaux collectés subissaient une culture et une PCR au LDA (**Tableau 11**).

2.1.3.3. Coûts spécifiques de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir

- **Animation** : Les coûts d'animation par l'ONCFS ont été considérés comme négligeables, car l'instruction générale est transmise par circulaire, auprès des ITD Sagir, de ramasser les cadavres de blaireaux trouvés morts dans un secteur défini. L'animation nationale par l'animateur a été estimée à environ 4 jours pour les départements de niveau 2 et 3 (soit 1 200 €). En prenant en compte le nombre moyen d'animaux collectés par cette composante en 2013-2014 (gibier), 2013 et 2014 (blaireaux), le coût unitaire moyen d'animation pour la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir a été modélisée par une loi Pert (7 ; 12 ; 24) en niveau 2 et Pert (5 ; 8 ; 17) en niveau 3.
- **Collecte** : Le coût unitaire de la collecte d'un animal mort ou mourant est de 108,35 € par animal, d'après la convention DGAI-FNC-ONCFS.
- **Analyses** : Dans le cadre du renforcement du réseau Sagir, une culture est systématiquement réalisée, et une PCR seulement si des lésions sont détectées (**Tableau 11**).

2.1.3.4. Coûts spécifiques de la surveillance programmée dans les départements de niveau 2

Les coûts de la surveillance programmée dans un département de niveau 2 ont été estimés à partir de l'exemple de la Haute-Garonne en 2013, année durant laquelle la période de piégeage des blaireaux s'est déroulée du 14 au 22 mai et a conduit à la capture de 39 blaireaux. L'**Annexe 10** présente les coûts spécifiques par catégorie de coûts, renseignée à partir du rapport de mise en œuvre et d'exécution du service départemental de l'ONCFS et de la convention financière locale.

- **Animation** : L'animation réalisée par les louvetiers dans ce département a été estimée à 2 596 €, ce qui correspond à un coût unitaire de 67 € par animal collecté. Le temps consacré par l'agent de la DDPP en charge du dossier a été estimé à environ 0,05 ETP, soit environ 2 350 € / an (forfait journalier de 200 € ; 0,05 ETP correspondant à 12 jours de travail). Le coût unitaire moyen de l'animation locale a donc été estimé à environ 127 € / blaireau collecté. L'animation par l'animateur national a été estimée à 48 jours pour l'ensemble des départements de niveau 2 (15 départements), soit environ 3,2 jours (960 €) par département de niveau 2. Le nombre moyen de blaireaux prélevés dans ces départements variant entre 10 et 30 selon le nombre de foyers bovins, le coût unitaire d'animation de l'animateur national, par animal collecté, a été modélisé par une loi Pert (25 ; 64 ; 100) dans les départements de niveau 2.

- **Collecte** : Les coûts inhérents à la collecte des blaireaux ont été calculés à partir du rapport de mise en œuvre et d'exécution fourni par le service départemental de l'ONCFS, indiquant le temps passé et les distances parcourues par acteur indemnisé (lieutenant de louveterie et piégeur agréé). En déduisant les coûts d'indemnisation forfaitaire versée au blaireau capturé (non recommandé dans la note de service Sylvatub), le coût unitaire de la collecte d'un blaireau a été estimé à 142 € / animal.
- **Analyses** : Dans le cadre de la surveillance programmée, une culture est systématiquement réalisée, et une PCR seulement si des lésions évocatrices sont détectées (**Tableau 11**).

2.1.3.5. Coûts spécifiques de la surveillance programmée dans les départements de niveau 3

Les coûts de la surveillance programmée en niveau 3 ont été estimés à partir des exemples de la Dordogne, de la Côte d'Or et des Pyrénées-Atlantiques et des Landes, en 2014 (**Annexe 10**).

- **Animation** : L'animation locale par la DDPP est effectuée par un technicien consacrant 0,5 à 0,8 ETP à cette activité. En considérant une variation du temps passé selon les départements, et en considérant une répartition équivalente du temps d'animation entre grand gibier et blaireau, on obtient alors un coût unitaire d'animation locale par animal collecté, pour 0,6 ETP, de 27 € pour la Dordogne, 11 € pour la Côte d'Or et 49 € pour la zone d'infection commune aux Pyrénées-Atlantiques et aux Landes, quelle que soit l'espèce. L'animateur national a estimé son temps de travail annuel à 16 jours pour la surveillance programmée des blaireaux et 16 jours pour la surveillance programmée du grand gibier dans l'ensemble des départements de niveau 3, ce qui correspond à un coût moyen de 4 800 € par an. Rapporté au nombre d'animaux collectés par cette composante de surveillance, cela revient à un coût unitaire moyen d'animation de 3 € par animal. Afin de prendre en compte la variabilité d'organisation départementale, les coûts unitaires moyens d'animation pour la surveillance programmée dans un département de niveau 3 (incluant l'animation locale par les acteurs, par la DDecPP et par l'animateur national) ont été modélisés par une loi de distribution de type Pert (31 ; 54 ; 110) pour les blaireaux et Pert (30 ; 45 ; 59) pour le grand gibier.
- **Collecte** : Les coûts de collecte ont été modélisés par une loi de distribution Pert (52 ; 80 ; 94) pour les blaireaux et Pert (7 ; 15 ; 20) pour le grand gibier (**Annexe 10**).
- **Analyses** : Dans le cadre de la surveillance programmée, une culture est systématiquement réalisée, et une PCR seulement si des lésions évocatrices sont détectées (**Tableau 11**).

2.2. Résultats de l'évaluation de la sensibilité des composantes de surveillance et du dispositif Sylvatub

2.2.1. Evaluation de la sensibilité des composantes de surveillance

2.2.1.1. Sensibilité individuelle par composante de surveillance et espèce

L'**Annexe 11** présente les résultats de sensibilité individuelle estimés en considérant qu'un animal est infecté (probabilité d'obtenir un résultat positif pour un animal infecté). Ces résultats ne

prennent donc en compte que les nœuds de détection des arbres de scénarios, et pas la probabilité qu'un animal soit infecté en fonction de l'espèce, de l'âge, et de la zone géographique (prévalences limites). Ils peuvent ainsi être utilisés dans d'autres zones géographiques caractérisées par des prévalences différentes.

Le **Tableau 26** présente la probabilité de détecter l'infection sur un animal sauvage tué à la chasse, mort ou mourant ou échantillonné dans le cadre de la surveillance programmée (c.-à-d. selon le mode de collecte), en fonction du niveau de risque départemental, de l'espèce et de la classe d'âge de l'animal, et donc selon la prévalence limite fixée en fonction de ces paramètres. La sensibilité individuelle est faible, quelles que soient la composante de surveillance et l'espèce, notamment dans les départements de faible niveau de risque où la prévalence limite fixée dans le modèle est basse. De manière générale, la sensibilité individuelle est un peu plus élevée chez les sangliers et les blaireaux, par rapport aux cervidés. L'acuité des chasseurs, qui dépend de leur formation et du niveau de risque de leur département, influence fortement la sensibilité individuelle de la surveillance par examen de carcasse. La surveillance par le réseau Sagir présente nettement la plus faible sensibilité individuelle, malgré l'augmentation de sensibilité permise par le renforcement du réseau dans les départements de niveau 2 et 3. La surveillance programmée, pour laquelle peu de facteurs influencent la détection, présente la meilleure sensibilité individuelle, mais elle n'est pas appliquée dans tous les niveaux de risque et pour toutes les espèces.

2.2.1.2. Sensibilité collective par composante de surveillance et espèce

Chaque composante de surveillance a une couverture de la population cible différente : leur sensibilité globale respective en est donc modifiée, puisqu'une partie différente de la population est couverte par chacune de ces composantes. Les résultats présentés dans ce paragraphe prennent ainsi en compte la couverture de population cible de chaque composante (probabilité qu'un animal soit abattu à la chasse, probabilité qu'un animal soit mort ou mourant) et permettent ainsi de comparer plus facilement les probabilités de détection de l'infection par chaque composante.

➤ **Surveillance événementielle par examen de carcasse** : La **Figure 16** présente la probabilité de détecter l'infection par examen de carcasse, par département et 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 la **Figure 12**. La sensibilité, présentée en pourcentage, correspond ainsi 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 limites fixées pour chaque niveau de risque, espèce et classe d'âge, et la couverture de la population cible de la surveillance par examen de carcasse (probabilité qu'un animal soit tué à la chasse, par espèce et classe d'âge).

Tableau 26 : Probabilité de détecter l'infection sur un animal sauvage tué à la chasse, mort ou mourant ou échantillonné en surveillance programmée selon l'espèce, la classe d'âge, le niveau de risque du département et la formation du chasseur réalisant l'inspection (moyenne [IC_{95%}])

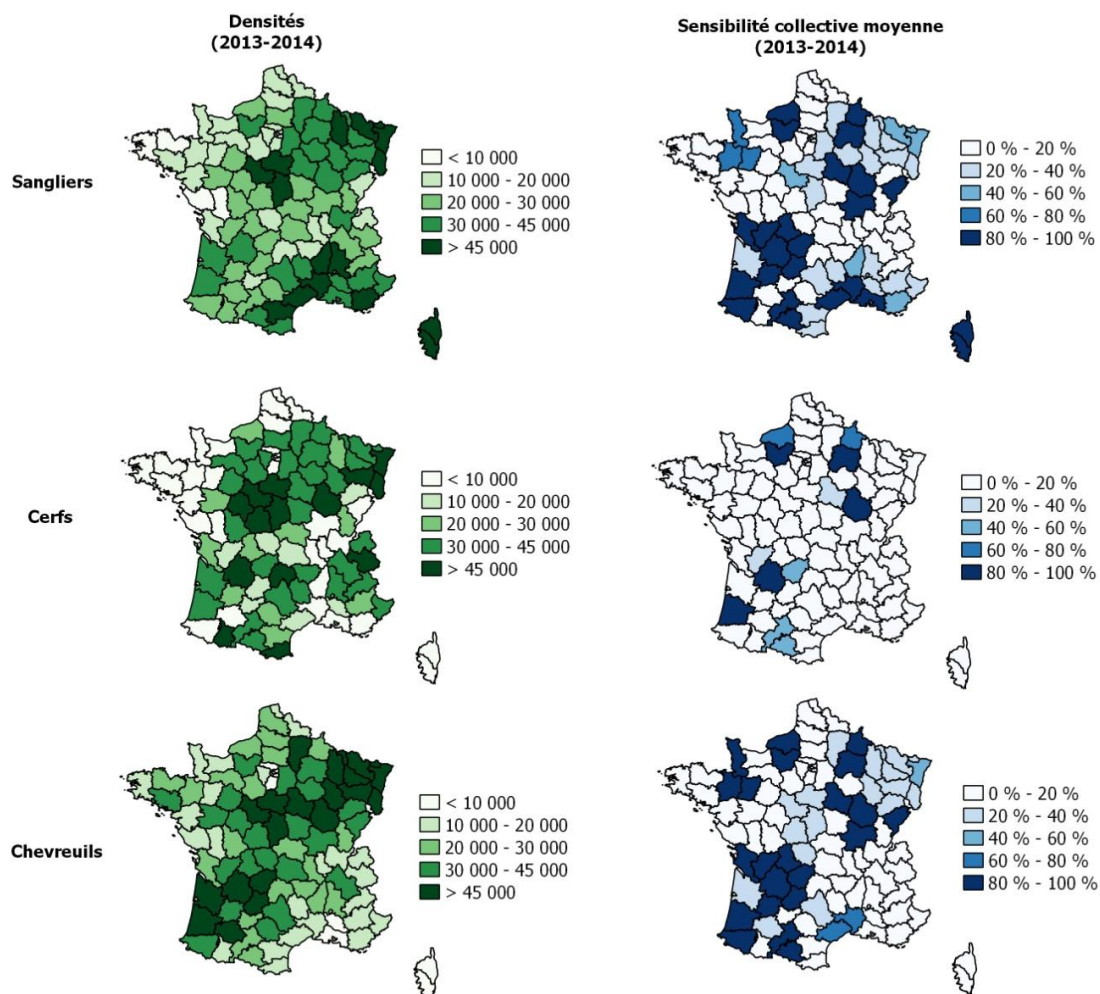
Espèce	Age	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance événementielle par examen de carcasse				
Sanglier	Jeune	NF : $2,92 \cdot 10^{-5}$ [$5,80 \cdot 10^{-6}$; $6,19 \cdot 10^{-5}$] F : $7,35 \cdot 10^{-5}$ [$3,12 \cdot 10^{-5}$; $1,26 \cdot 10^{-4}$]	NF : $8,62 \cdot 10^{-4}$ [$2,38 \cdot 10^{-4}$; $1,61 \cdot 10^{-3}$] F : $1,48 \cdot 10^{-3}$ [$5,60 \cdot 10^{-4}$; $2,71 \cdot 10^{-3}$]	NF : $4,91 \cdot 10^{-3}$ [$2,70 \cdot 10^{-4}$; $1,06 \cdot 10^{-2}$] F : $7,40 \cdot 10^{-3}$ [$4,79 \cdot 10^{-3}$; $1,07 \cdot 10^{-2}$]
	Adulte	NF : $4,35 \cdot 10^{-5}$ [$8,80 \cdot 10^{-6}$; $8,88 \cdot 10^{-5}$] F : $1,09 \cdot 10^{-4}$ [$4,73 \cdot 10^{-5}$; $1,75 \cdot 10^{-4}$]	NF : $1,28 \cdot 10^{-3}$ [$3,70 \cdot 10^{-4}$; $2,29 \cdot 10^{-3}$] F : $2,20 \cdot 10^{-3}$ [$8,67 \cdot 10^{-4}$; $3,88 \cdot 10^{-3}$]	NF : $7,33 \cdot 10^{-3}$ [$4,20 \cdot 10^{-4}$; $1,50 \cdot 10^{-2}$] F : $1,10 \cdot 10^{-2}$ [$7,62 \cdot 10^{-3}$; $1,50 \cdot 10^{-2}$]
Cerf	Jeune	NF : $2,02 \cdot 10^{-5}$ [$5,88 \cdot 10^{-6}$; $3,54 \cdot 10^{-5}$] F : $4,96 \cdot 10^{-5}$ [$24,6 \cdot 10^{-6}$; $69,6 \cdot 10^{-6}$]	NF : $4,14 \cdot 10^{-4}$ [$2,10 \cdot 10^{-5}$; $8,33 \cdot 10^{-4}$] F : $7,50 \cdot 10^{-4}$ [$5,19 \cdot 10^{-4}$; $9,85 \cdot 10^{-4}$]	NF : $1,40 \cdot 10^{-3}$ [$6,30 \cdot 10^{-5}$; $2,87 \cdot 10^{-3}$] F : $2,66 \cdot 10^{-3}$ [$1,94 \cdot 10^{-3}$; $3,30 \cdot 10^{-3}$]
	Adulte	NF : $2,80 \cdot 10^{-5}$ [$8,0 \cdot 10^{-6}$; $4,92 \cdot 10^{-5}$] F : $6,90 \cdot 10^{-5}$ [$3,45 \cdot 10^{-5}$; $9,81 \cdot 10^{-5}$]	NF : $5,73 \cdot 10^{-4}$ [$2,90 \cdot 10^{-5}$; $1,16 \cdot 10^{-3}$] F : $1,04 \cdot 10^{-3}$ [$7,11 \cdot 10^{-4}$; $1,38 \cdot 10^{-3}$]	NF : $1,95 \cdot 10^{-3}$ [$8,80 \cdot 10^{-5}$; $3,99 \cdot 10^{-3}$] F : $3,70 \cdot 10^{-3}$ [$2,69 \cdot 10^{-3}$; $4,65 \cdot 10^{-3}$]
Chevreuil	Jeune	NF : $1,78 \cdot 10^{-5}$ [$5,25 \cdot 10^{-6}$; $3,14 \cdot 10^{-5}$] F : $4,03 \cdot 10^{-5}$ [$2,33 \cdot 10^{-5}$; $5,66 \cdot 10^{-5}$]	NF : $3,61 \cdot 10^{-4}$ [$1,80 \cdot 10^{-5}$; $7,42 \cdot 10^{-4}$] F : $5,33 \cdot 10^{-4}$ [$3,71 \cdot 10^{-4}$; $7,45 \cdot 10^{-4}$]	NF : $1,48 \cdot 10^{-3}$ [$9,09 \cdot 10^{-4}$; $2,19 \cdot 10^{-3}$] F : $2,40 \cdot 10^{-3}$ [$1,81 \cdot 10^{-3}$; $2,96 \cdot 10^{-3}$]
	Adulte	NF : $2,60 \cdot 10^{-5}$ [$7,95 \cdot 10^{-6}$; $4,64 \cdot 10^{-5}$] F : $5,89 \cdot 10^{-5}$ [$3,36 \cdot 10^{-5}$; $8,44 \cdot 10^{-5}$]	NF : $5,27 \cdot 10^{-4}$ [$2,50 \cdot 10^{-5}$; $1,10 \cdot 10^{-3}$] F : $7,79 \cdot 10^{-4}$ [$5,26 \cdot 10^{-4}$; $1,10 \cdot 10^{-3}$]	NF : $2,15 \cdot 10^{-3}$ [$1,32 \cdot 10^{-3}$; $3,24 \cdot 10^{-3}$] F : $3,50 \cdot 10^{-3}$ [$2,56 \cdot 10^{-3}$; $4,41 \cdot 10^{-3}$]
Surveillance événementielle et événementielle renforcée par le réseau Sagir				
Sanglier	Jeune	$3,88 \cdot 10^{-6}$ [$3,56 \cdot 10^{-7}$; $1,12 \cdot 10^{-5}$]	$1,93 \cdot 10^{-4}$ [$3,93 \cdot 10^{-5}$; $4,61 \cdot 10^{-4}$]	$1,28 \cdot 10^{-3}$ [$2,40 \cdot 10^{-4}$; $3,15 \cdot 10^{-3}$]
	Adulte	$3,74 \cdot 10^{-6}$ [$3,31 \cdot 10^{-7}$; $1,11 \cdot 10^{-5}$]	$1,85 \cdot 10^{-4}$ [$4,18 \cdot 10^{-5}$; $4,68 \cdot 10^{-4}$]	$1,73 \cdot 10^{-3}$ [$3,40 \cdot 10^{-4}$; $4,18 \cdot 10^{-3}$]
Cerf	Jeune	$8,10 \cdot 10^{-7}$ [$6,82 \cdot 10^{-8}$; $2,42 \cdot 10^{-6}$]	$7,65 \cdot 10^{-5}$ [$1,35 \cdot 10^{-5}$; $1,92 \cdot 10^{-4}$]	$3,72 \cdot 10^{-4}$ [$1,17 \cdot 10^{-4}$; $7,67 \cdot 10^{-4}$]
	Adulte	$1,26 \cdot 10^{-6}$ [$1,11 \cdot 10^{-7}$; $3,86 \cdot 10^{-6}$]	$1,48 \cdot 10^{-4}$ [$1,40 \cdot 10^{-5}$; $4,01 \cdot 10^{-4}$]	$5,35 \cdot 10^{-4}$ [$1,50 \cdot 10^{-4}$; $1,18 \cdot 10^{-3}$]
Chevreuil	Jeune	$7,11 \cdot 10^{-7}$ [$1,56 \cdot 10^{-7}$; $1,63 \cdot 10^{-6}$]	$3,61 \cdot 10^{-5}$ [$1,06 \cdot 10^{-5}$; $7,57 \cdot 10^{-5}$]	$2,81 \cdot 10^{-4}$ [$1,20 \cdot 10^{-5}$; $7,54 \cdot 10^{-4}$]
	Adulte	$1,05 \cdot 10^{-6}$ [$2,34 \cdot 10^{-7}$; $2,37 \cdot 10^{-6}$]	$1,42 \cdot 10^{-4}$ [$6,03 \cdot 10^{-6}$; $3,76 \cdot 10^{-4}$]	$4,06 \cdot 10^{-4}$ [$1,70 \cdot 10^{-5}$; $1,10 \cdot 10^{-3}$]
Blaireau	Jeune	$2,05 \cdot 10^{-6}$ [$1,23 \cdot 10^{-7}$; $6,49 \cdot 10^{-6}$]	$1,29 \cdot 10^{-4}$ [$7,81 \cdot 10^{-6}$; $4,03 \cdot 10^{-4}$]	$1,48 \cdot 10^{-3}$ [$4,06 \cdot 10^{-4}$; $2,90 \cdot 10^{-3}$]
	Adulte	$4,57 \cdot 10^{-6}$ [$5,36 \cdot 10^{-7}$; $1,20 \cdot 10^{-5}$]	$7,47 \cdot 10^{-4}$ [$2,19 \cdot 10^{-4}$; $1,42 \cdot 10^{-3}$]	$2,23 \cdot 10^{-3}$ [$6,0 \cdot 10^{-4}$; $4,39 \cdot 10^{-3}$]
Surveillance programmée				
Sanglier	Jeune	-	-	$1,46 \cdot 10^{-2}$ [$1,38 \cdot 10^{-2}$; $1,54 \cdot 10^{-2}$]
	Adulte	-	-	$2,15 \cdot 10^{-2}$ [$2,05 \cdot 10^{-2}$; $2,25 \cdot 10^{-2}$]
Cerf	Jeune	-	-	$1,58 \cdot 10^{-3}$ [$1,30 \cdot 10^{-3}$; $1,19 \cdot 10^{-3}$]
	Adulte	-	-	$2,45 \cdot 10^{-3}$ [$2,10 \cdot 10^{-3}$; $2,82 \cdot 10^{-3}$]
Blaireau	Jeune	-	$5,50 \cdot 10^{-3}$ [$5,18 \cdot 10^{-3}$; $5,83 \cdot 10^{-3}$]	$1,57 \cdot 10^{-2}$ [$1,48 \cdot 10^{-2}$; $1,67 \cdot 10^{-2}$]
	Adulte	-	$8,09 \cdot 10^{-3}$ [$7,69 \cdot 10^{-3}$; $8,49 \cdot 10^{-3}$]	$2,31 \cdot 10^{-2}$ [$2,20 \cdot 10^{-2}$; $2,42 \cdot 10^{-2}$]

NF : chasseur non formé à l'examen initial de la venaison

F : chasseur formé à l'examen initial de la venaison

- : sans objet (composante de surveillance non appliquée)

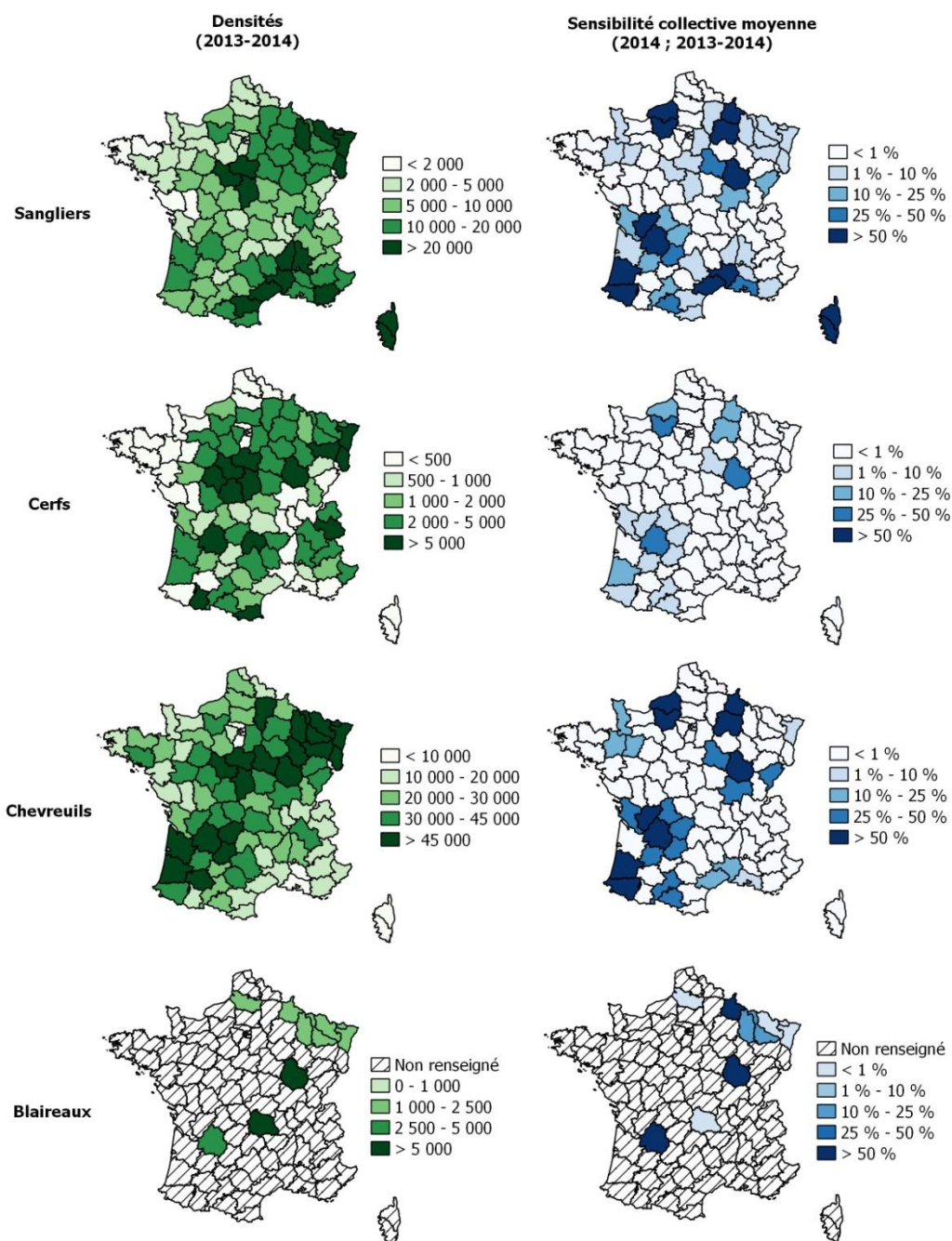
Figure 16 : Sensibilité collective moyenne de la surveillance par examen de carcasse pour la saison cynégétique 2013-2014



➤ **Surveillance événementielle par le réseau Sagir :** La **Figure 17** présente la probabilité de détecter l'infection par le réseau Sagir par département et espèce, quelle que soit la classe d'âge de l'animal, selon la couverture de population de cette composante (probabilité qu'un animal soit mort ou mourant, estimée par espèce et classe d'âge). Les densités de blaireaux n'étant pas disponibles pour l'ensemble des départements français, seuls ceux pour lesquels des estimations locales de densité étaient disponibles ont été intégrés dans l'étude.

La probabilité de détecter au moins un animal infecté parmi l'ensemble des animaux sauvages à l'échelle départementale, en prenant en compte les prévalences limites fixées pour chaque niveau de risque, espèce et classe d'âge, et la couverture de la population cible de cette composante, est nettement inférieure à la sensibilité collective de la surveillance par examen de carcasse, quelle que soit l'espèce considérée. On peut également remarquer que la sensibilité collective est plus importante dans les départements de niveau 2 et 3, par rapport aux départements de niveau 1, pour toutes les espèces étudiées. Enfin, la sensibilité collective est plus élevée pour les sangliers que pour les cervidés, certainement en raison de la probabilité de collecte plus importante pour cette espèce.

Figure 17 : Sensibilité collective moyenne de la surveillance par le réseau Sagir pour la saison cynégétique 2013-2014 pour le grand gibier et l'année civile 2014 pour les blaireaux



➤ **Surveillance programmée :** Le **Tableau 27** présente la probabilité de détecter l'infection dans les départements de niveau 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. Cette différence peut être expliquée à la fois par les tailles d'échantillons moins importantes, et par les prévalences limites fixées par niveau de risque et espèce, plus basses dans les départements de niveau 2 et pour les cerfs par rapport aux sangliers et aux blaireaux.

Tableau 27 : Sensibilité collective de la surveillance programmée en niveau 2 et 3 (d'après l'échantillonnage prescrit par la Note de Service DGAL/SDSPA/N2013-8129) (moyenne [IC95%])

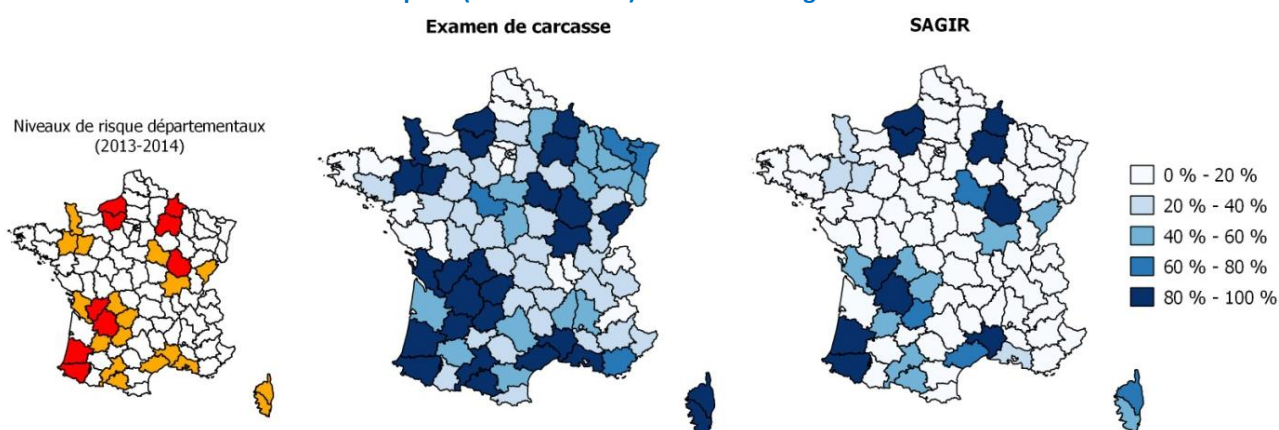
Espèce	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	-	84,0 % [82,4 % ; 85,4%]
Cerf	-	11,6 % [10,3 % ; 13,0 %]
Blaireau	10,7 % [10,2 % ; 11,2 %]	88,7 % [87,4 % ; 89,8 %]

2.2.1.3. Sensibilité collective par composante de surveillance, quelle que soit l'espèce

La **Figure 18** présente la probabilité de détecter l'infection par département et par composante de surveillance, quelles que soient l'espèce et la classe d'âge des animaux, en prenant en compte la couverture de population de chacune des composantes et la prévalence limite 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 ne sont pas disponibles pour permettre la pondération de la sensibilité moyenne en fonction des proportions relatives de chacune des espèces. 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.

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, en raison de la couverture de la population cible plus importante de cette composante de surveillance. Comme évoqué précédemment, la prévalence limite fixée dans les départements de niveau 3 semble avoir une influence importante sur la probabilité de détecter l'infection, car la sensibilité collective moyenne est supérieure à 80 % dans ces départements, quelle que soit la composante de surveillance étudiée.

Figure 18 : Sensibilité collective moyenne par composante de surveillance et par département, quelles que soient l'espèce (hors blaireaux) et la classe d'âge des individus

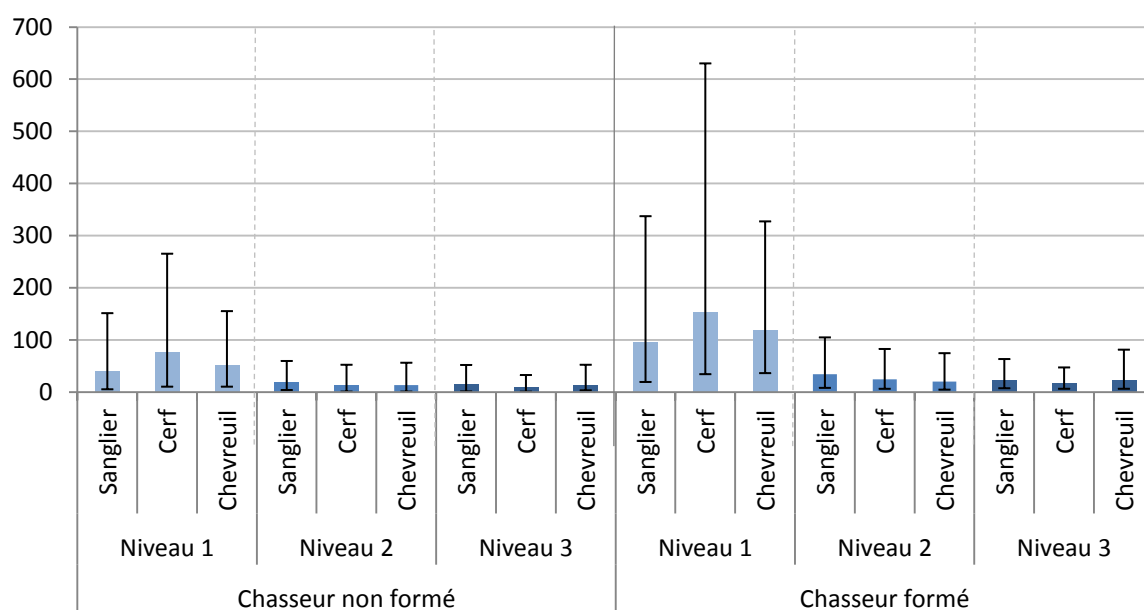


2.2.2. Evaluation de la sensibilité du dispositif Sylvatub

2.2.2.1. Ratio de sensibilités individuelles des composantes de surveillance événementielle

La **Figure 19** présente le gain de sensibilité permis par la surveillance par examen de carcasse, par rapport à la surveillance par le réseau Sagir (effectuée de manière classique dans les départements de niveau 1 et chez le chevreuil ; de manière renforcée dans les départements de niveau 2 et 3 pour les sangliers, les cerfs et les blaireaux), en prenant en compte les prévalences limites fixées par niveau, espèce et classe d'âge, et la probabilité d'inclusion dans chacune des composantes (probabilité d'être tué à la chasse et probabilité d'être mort ou mourant). Ces résultats montrent que la surveillance par examen de carcasse est plus sensible que la surveillance par le réseau Sagir, quels que soient l'espèce, la formation du chasseur et le niveau de risque. Ce gain de sensibilité est d'autant plus marqué lorsque le chasseur est formé à l'examen initial de la venaison, mais diminue lorsque le niveau de risque du département augmente, ce qui peut être mis en lien avec le renforcement du réseau Sagir qui permet d'augmenter la sensibilité de cette composante. La différence de sensibilité entre la surveillance par examen de carcasse et la surveillance par le réseau Sagir est d'autant plus marquée chez les cervidés dans les départements de niveau 1 : cela peut être lié au fait que les animaux de grande taille sont peu collectés dans le cadre du fonctionnement classique du réseau Sagir, en raison des contraintes pratiques liées au transport.

Figure 19 : Ratio de sensibilités individuelles de la surveillance par examen de carcasse par rapport surveillance par le réseau Sagir, par espèce, niveau de risque et formation du chasseur (moyenne [IC₉₅ %])



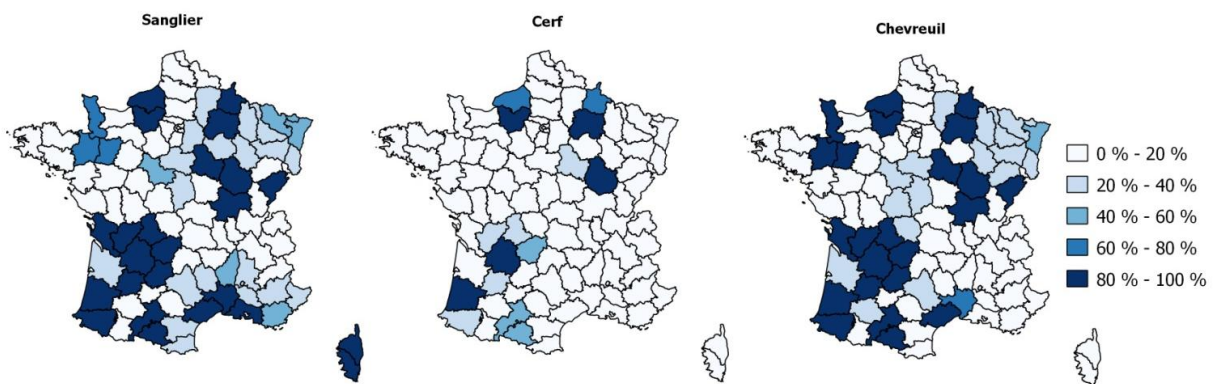
2.2.2.2. Sensibilité collective par espèce, quelle que soit la composante de surveillance

La **Figure 20** présente la probabilité de détecter l'infection par département et par espèce, quelle que soit la composante de surveillance et la classe d'âge des animaux, en prenant en compte la couverture de population de chacune des composantes et la prévalence limite fixée dans chaque niveau de risque. La sensibilité collective moyenne de la surveillance chez le blaireau n'a pas pu être

estimée, car les données de densités départementales n'étaient pas disponibles pour permettre la pondération de la sensibilité moyenne.

Ces résultats montrent que la sensibilité collective est plus élevée chez le sanglier et le chevreuil. Ils doivent toutefois être relativisés par rapport à la densité des espèces surveillées, par exemple plus faible pour le cerf par rapport aux deux autres espèces étudiées, expliquant ainsi la faible sensibilité obtenue pour cette espèce. Par ailleurs, le niveau de risque et la prévalence limite fixée dans les départements en fonction des niveaux semblent avoir un impact notable sur la sensibilité du dispositif, car la grande majorité des départements de niveau 2 et 3 ont une capacité de détection de l'infection à *M. bovis* supérieure à 80 % pour les sangliers et les chevreuils, espèces présentes en densité importante.

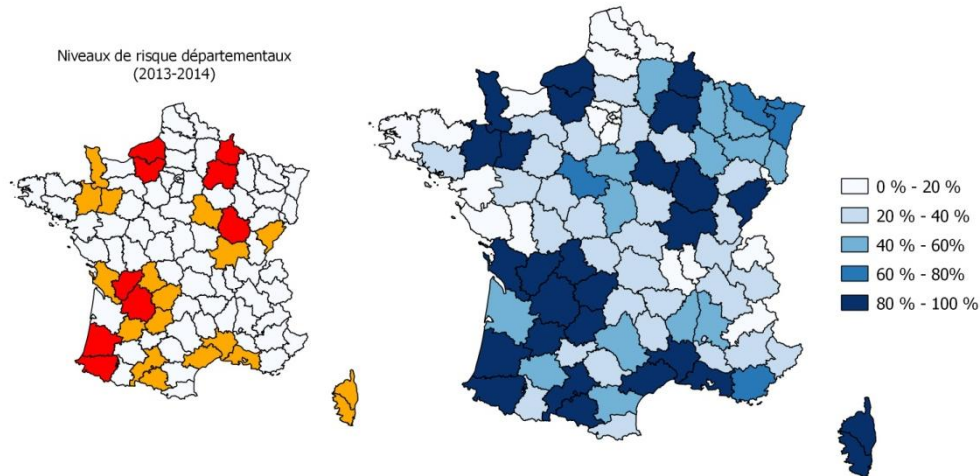
Figure 20 : Sensibilité collective moyenne par espèce et par département, quelle que soit la composante de surveillance



2.2.2.3. Sensibilité collective du dispositif Sylvatub

La **Figure 21** 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 niveau 2 et 3 ont en moyenne une probabilité de détection de l'infection très élevée, entre 80 et 100 %. Ces résultats illustrent l'impact du niveau de risque départemental sur la sensibilité du dispositif, qui détermine la prévalence limite que l'on cherche à détecter. Ainsi, ces résultats peuvent être expliqués à la fois par la probabilité d'infection plus importante fixée dans notre modèle pour ces départements, mais également par la combinaison des composantes de surveillance permettant une meilleure détection de l'infection. La probabilité de détection de l'infection à *M. bovis* est globalement plus faible dans les départements de niveau 1, en raison notamment de tailles d'échantillons inférieures (absence de surveillance programmée) et de la prévalence limite, fixée notablement plus basse dans ces départements. Par ailleurs, la sensibilité est plus hétérogène entre les départements de niveau 1, dépendant en grande partie des densités de populations locales, dans chaque département.

Figure 21 : Sensibilité collective moyenne du dispositif Sylvatub (quelles que soient l'espèce –hors blaireaux– et la composante de surveillance)



2.3. Résultats de l'évaluation économique des composantes de surveillance et du dispositif Sylvatub

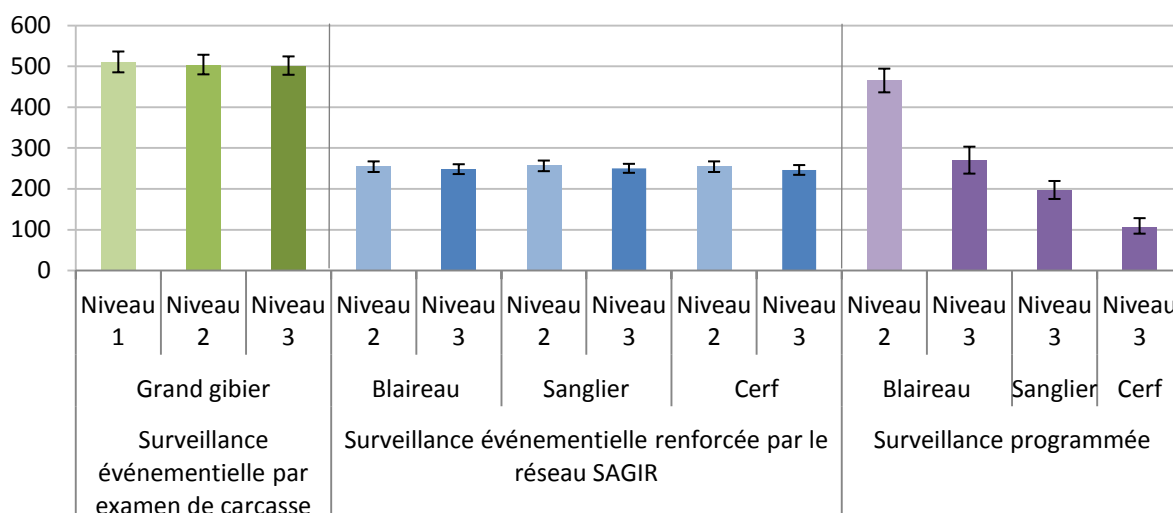
2.3.1. Estimation des coûts de chaque composante du dispositif

Le **Tableau 28** et la **Figure 22** présentent les coûts totaux unitaires estimés par simulations de Monte Carlo, pour chaque composante, niveau de risque et espèce, prenant en compte les trois catégories de coûts préalablement définies (animation, collecte, analyse). Les coûts sont également présentés selon le statut infectieux de l'animal, car celui-ci influence la probabilité qu'un animal présente des lésions évocatrices de tuberculose, et donc le type d'analyses réalisées au LDA, ainsi que la probabilité que les analyses au LDA fournissent un résultat positif ou douteux, et donc que des analyses de confirmation soient réalisées au LNR. L'**Annexe 12** présente le détail du calcul des coûts d'analyses communs aux différentes composantes et des coûts spécifiques de chacune des composantes du dispositif Sylvatub (animation, collecte, analyses).

La surveillance événementielle par examen de carcasse présente le coût unitaire le plus élevé, quel que soit le niveau de risque départemental. La surveillance programmée des blaireaux présente également un coût unitaire important par rapport à la surveillance programmée du grand gibier (sanglier et cerf), en raison (1) des coûts d'animation plus importants pour les blaireaux (encadrements des piègeurs agréés par les louvetiers, suivi précis des blaireaux prélevés et des terriers concernés), et (2) des coûts de collecte également plus importants pour cette espèce, en raison du matériel nécessaire (collets) et de l'indemnisation des acteurs pour la collecte des animaux, ce qui n'est pas le cas pour le grand gibier.

Tableau 28 : Coûts totaux unitaires estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, par composante de surveillance, espèce, niveau de risque et statut infectieux (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Composante de surveillance	Espèce	Niveau	Animal infecté	Animal indemne
Surveillance événementielle par examen de carcasse	Grand gibier	Niveau 1	610 [560 ; 655]	510 [484 ; 538]
		Niveau 2	603 [554 ; 645]	502 [476 ; 531]
		Niveau 3	599 [550 ; 640]	498 [472 ; 527]
Surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir	Blaireau	Niveau 2	354 [318 ; 384]	248 [232 ; 263]
		Niveau 3	346 [312 ; 375]	244 [228 ; 259]
	Sanglier	Niveau 2	374 [336 ; 405]	250 [235 ; 265]
		Niveau 3	365 [327 ; 396]	246 [231 ; 261]
	Cerf	Niveau 2	359 [323 ; 389]	248 [233 ; 264]
		Niveau 3	351 [315 ; 380]	244 [229 ; 260]
Surveillance programmée	Blaireau	Niveau 2	566 [521 ; 606]	463 [432 ; 493]
		Niveau 3	367 [322 ; 411]	264 [230 ; 301]
	Sanglier	Niveau 3	311 [269 ; 348]	192 [169 ; 217]
		Niveau 3	218 [187 ; 250]	106 [89 ; 127]

Figure 22 : Coûts totaux unitaires estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, par composante de surveillance, espèce et niveau de risque, prenant en compte la probabilité d'infection fixée dans le modèle (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

2.3.2. Estimation des coûts réels du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et pour l'année 2014 (blaireaux)

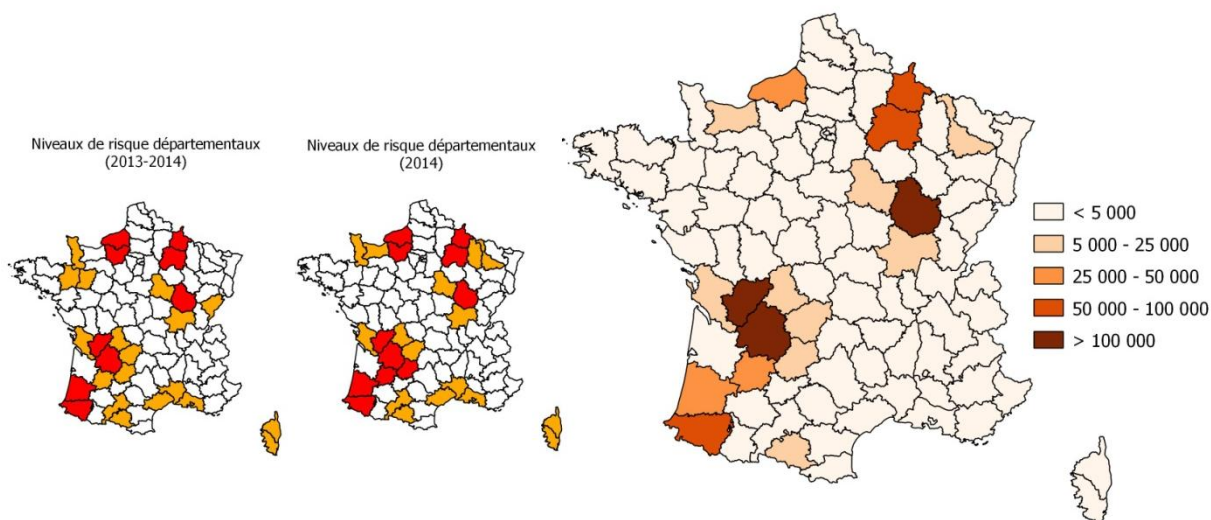
En 2013-2014, 38 animaux ont été collectés par la surveillance par examen de carcasse dans 15 départements, dont 34 ont été analysés, et 4 animaux ont fait l'objet d'analyses de confirmation au LNR. La surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir a concerné 18 gibiers en 2013-2014 dans 10 départements et 341 blaireaux en 2014 dans 18 départements. Enfin, au cours de la saison 2013-2014, 1 633 gibiers ont été collectés dans des départements de niveau 3 pour la surveillance programmée, dont 1 477 ont été analysés. Au cours de l'année 2014, 2 326 blaireaux ont été collectés par surveillance programmée, dont 207 blaireaux dans 9 départements de niveau 2, et 2 119 dans des départements de niveau 3.

La **Figure 23** présente les coûts réels estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 pour les grands gibiers et l'année civile 2014 pour les blaireaux, en fonction du nombre d'animaux collectés par chaque composante et niveau de risque, du type d'analyses réalisées sur ces animaux dans les LDA en fonction de leur agrément pour les analyses tuberculose, du nombre d'analyses réalisées au LNR (données de la base Sylvatub, des LDA et du LNR), et des coûts totaux unitaires estimés par composante de surveillance et niveau de risque.

Pour l'ensemble des départements concernés, la surveillance événementielle par examen de carcasse a ainsi coûté 17 543 € en 2013-2014 (dont 26 % pour les départements de niveau 1, 36 % pour les départements de niveau 2 et 38 % pour les départements de niveau 3). La surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir a coûté 92 000 €, correspondant à la surveillance des blaireaux pour 95 % et à la surveillance dans les départements de niveau 3 pour 80 % quelle que soit l'espèce. Enfin, la surveillance programmée a coûté 941 772 €, dont 647 351 € pour les blaireaux (soit 70 % du coût global de la surveillance programmée, dont 85 % pour les départements de niveau 3) et 294 421 € pour la surveillance programmée du grand gibier (niveau 3).

Au total, la surveillance par le dispositif Sylvatub (hors surveillance événementielle par le réseau Sagir dans son fonctionnement classique), a donc coûté, au plan national pour une année, environ 1 051 315 € [917 933 ; 1 190 403], dont 90 % sont relatifs à la surveillance programmée, 9 % à la surveillance renforcée par le réseau Sagir et 1 % à la surveillance par examen de carcasse. Environ 88 % de ce coût total estimé est inhérent à la surveillance dans les départements de niveau 3, 11,5 % dans les départements de niveau 2 et 0,5 % à la surveillance dans les départements de niveau 1. Il s'avère ainsi que plus des trois quart du coût de la surveillance du dispositif Sylvatub concerne seulement les 9 départements de niveau 3 pour la période d'étude. Par ailleurs, ces coûts ne prennent pas en compte l'animation indirecte réalisée par l'animateur national, qui s'élève à environ 33 000 € pour une année. Les résultats détaillés par composante, niveau de risque et espèce sont présentés dans l'**Annexe 13**.

Figure 23 : Coûts réels moyens estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et l'année 2014 (blaireaux), par département, en fonction des niveaux de risque appliqués pour la période considérée (en euros)



2.3.3. Estimation des coûts attendus du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et l'année 2014 (blaireaux)

Afin d'estimer un coût attendu moyen par département d'un niveau de risque donné, nous avons calculé le nombre attendu d'animaux devant être collectés par composante de surveillance, espèce et niveau de risque, à partir des moyennes d'animaux collectés sur les deux dernières saisons de chasse (pour le grand gibier) et années civiles (pour le blaireau) (**Tableau 29**). Pour la surveillance programmée, le nombre attendu moyen d'animaux collectés pour une saison a également été calculé en fonction du nombre réel d'animaux collectés sur les dernières campagnes de surveillance, pour prendre en compte la variabilité du taux d'échantillonnage en fonction des départements et ainsi calculer un coût moyen pour un département de niveau donné, plus réaliste que la taille d'échantillon préconisée par la note de service, considérant que plusieurs zones d'infection peuvent être identifiées au sein d'un même département de niveau 2 ou 3.

Tableau 29 : Nombre attendu moyen d'animaux collectés par composante de surveillance, niveau de risque et espèce, modélisé par des lois de distribution de type Pert

Espèce	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance événementielle par examen de carcasse			
Grand gibier	Pert (0 ; 1 ; 3)	Pert (0 ; 2 ; 4)	Pert (0 ; 3 ; 6)
Surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir			
Sanglier	-	Pert (0 ; 1 ; 2)	Pert (0 ; 2 ; 4)
Cerf	-	Pert (0 ; 1 ; 2)	Pert (0 ; 2 ; 4)
Blaireau	-	Pert (0 ; 6 ; 20)	Pert (0 ; 10 ; 60)
Surveillance programmée			
Sanglier	-	-	Pert (70 ; 150 ; 300)
Cerf	-	-	Pert (10 ; 50 ; 100)
Blaireau	-	Pert (5 ; 20 ; 45)	Pert (20 ; 150 ; 400)

- : sans objet (composante de surveillance non appliquée)

Ainsi, des coûts attendus moyens annuels ont été estimés par simulations de Monte Carlo pour un département « type », pour chaque niveau de risque (**Tableau 30**), à partir des coûts unitaires estimés par composante, espèce et niveau de risque (**Annexe 12**), et du nombre attendu d'animaux collectés par composante, espèce et niveau de risque (**Tableau 29**). Dans les départements de niveau 2, la surveillance événementielle par examen de carcasse représenterait ainsi environ 7 % du coût, la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir environ 18 %, et la surveillance programmée des blaireaux 75 %. Dans les départements de niveau 3, la surveillance événementielle par examen de carcasse représenterait environ 2 % du coût, la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir 5 % et la surveillance programmée 93 %.

Des coûts attendus moyens ont également été calculés pour l'ensemble des départements d'un même niveau de risque (**Annexe 13**).

Tableau 30 : Coûts attendus moyens annuels estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un département, par composante et niveau de risque (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

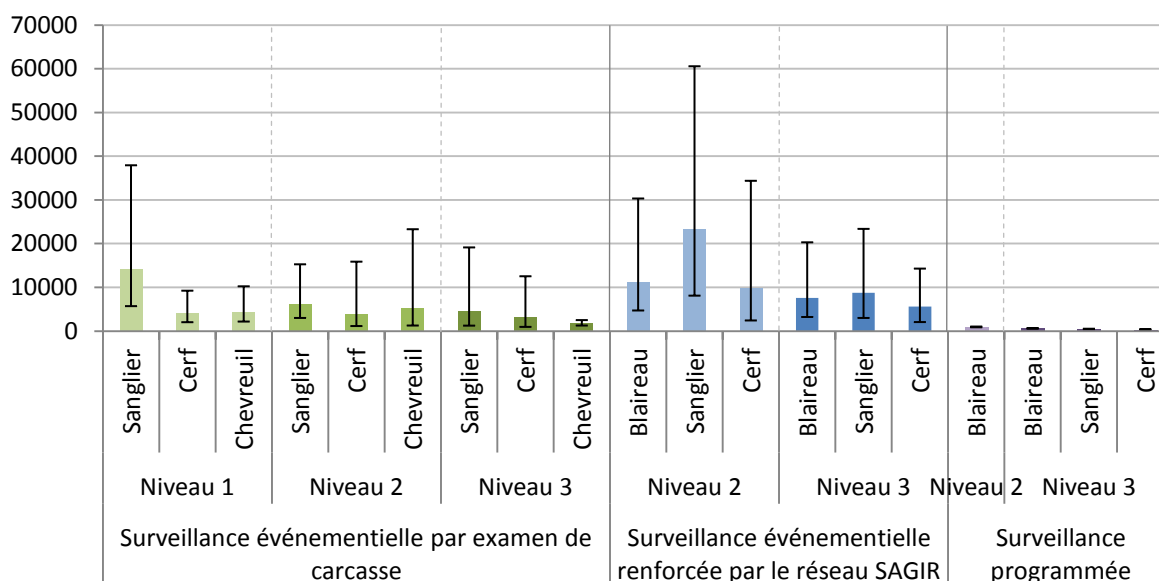
Espèce	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance événementielle par examen de carcasse			
Grand gibier	594 [125 ; 1 166]	1 006 [305 ; 1 718]	1 504 [455 ; 2 578]
Surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir			
Sanglier	-	258 [78 ; 439]	499 [146 ; 856]
Cerf	-	254 [76 ; 435]	289 [61 ; 565]
Blaireau	-	1 852 [352 ; 3 781]	4 150 [485 ; 9 768]
	-	2 363 [506 ; 4 655]	4 938 [692 ; 11 189]
Surveillance programmée			
Sanglier	-	-	31 639 [17 385 ; 49 364]
Cerf	-	-	5 510 [2 178 ; 9 256]
Blaireau	-	10 061 [3 934 ; 17 241]	45 574 [13 452 ; 85 371]
	-	10 061 [3 934 ; 17 241]	82 723 [33 015 ; 143 991]
	594 [125 ; 1 166]	13 430 [4 745 ; 23 614]	89 165 [34 162 ; 157 758]

2.4. Résultats de l'évaluation coût-efficacité des composantes de surveillance et du dispositif Sylvatub

Les résultats précédents ont permis l'estimation indépendante de la sensibilité et des coûts des différentes composantes de surveillance, par niveau de risque et espèce animale. Toutefois, il semblait également intéressant de calculer un ratio coût-efficacité, afin de mettre en perspective les coûts inhérents à la surveillance et son efficacité.

Le ratio coût-efficacité de la détection d'un animal infecté a été calculé par simulations de Monte Carlo (**Figure 24**), à partir du coût de la surveillance d'un animal infecté (**Tableau 28**) et de la sensibilité individuelle pour un animal infecté (**Annexe 11**, probabilité de détecter un animal infecté) (coût de la surveillance d'un animal infecté rapporté à la probabilité de détecter un animal infecté). Plus la valeur du ratio est faible, meilleur est le rapport coût-efficacité de l'activité de surveillance. D'après nos résultats, la surveillance programmée présente le meilleur rapport coût-efficacité, mais elle n'est pas appliquée dans tous les départements. Concernant les composantes de surveillance événementielle, la surveillance par examen de carcasse semble plus efficiente que la surveillance renforcée par le réseau Sagir, quel que soit le niveau de risque du département. Le ratio coût-efficacité de la surveillance événementielle par examen de carcasse est meilleur chez les cervidés que chez les sangliers, quel que soit le niveau de risque, ce qui peut être expliqué par le fait que les lésions évocatrices de tuberculose sont plus difficilement détectables chez ces derniers. Toutefois, le calcul du ratio coût-efficacité de la surveillance par examen de carcasse selon la formation du chasseur montre que si le chasseur n'est pas formé à l'examen initial de la venaison, la surveillance renforcée par le réseau Sagir devient alors plus coût-efficace que la surveillance par examen de carcasse pour les sangliers dans les départements de niveau 3 et pour les cerfs dans les départements de niveau 2 et 3 (**Annexe 14**). Ces résultats sont cependant à nuancer par l'amplitude des intervalles de confiance, particulièrement importante pour la surveillance événementielle.

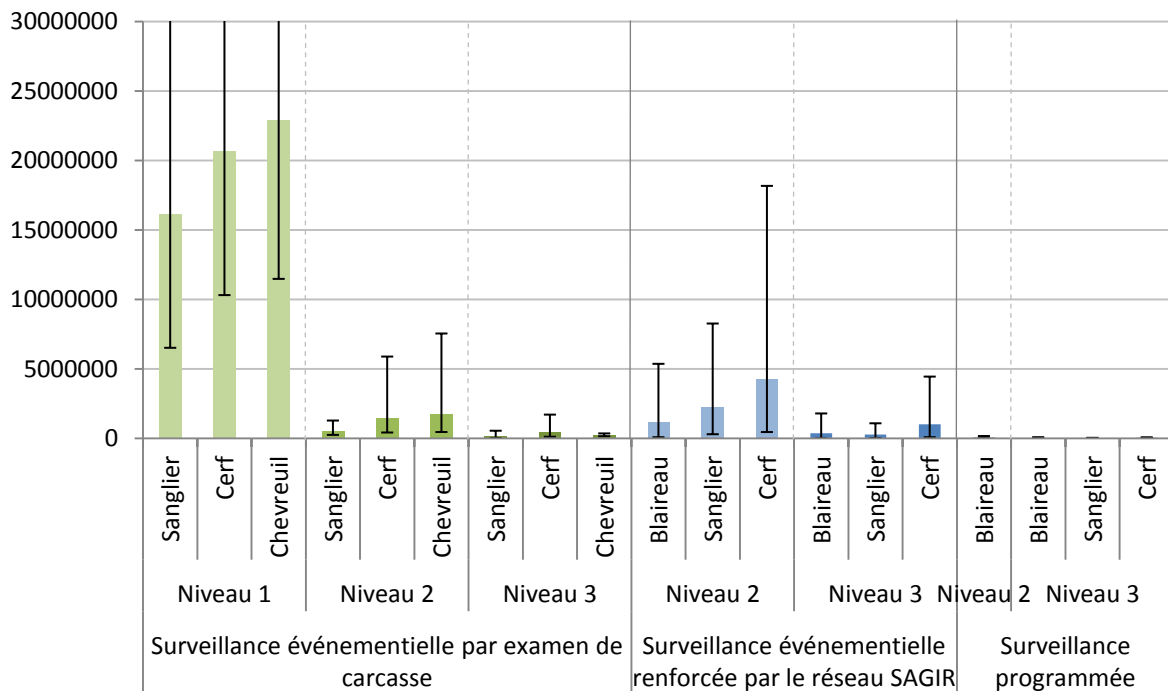
Figure 24 : Ratio coût-efficacité* de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un animal infecté, par composante, niveau de risque et espèce animale (moyenne [IC_{95%}])



* Plus la valeur du ratio est faible, meilleur est le rapport coût-efficacité de l'activité de surveillance.

Le ratio coût-efficacité de la surveillance par le dispositif Sylvatub a également été estimé à l'échelle collective (**Figure 25**), en fonction du nombre attendu d'animaux collectés par département (**Tableau 29**) et de la prévalence limite fixée par niveau de risque, espèce et classe d'âge. Les résultats montrent ainsi que lorsque la prévalence est prise en compte, la surveillance événementielle par examen de carcasse est alors plus coût-efficace pour les sangliers que pour les cervidés. Par ailleurs, la surveillance par examen de carcasse est plus efficace que la surveillance renforcée par le réseau Sagir dans les départements de niveau 2 et 3. Enfin, la surveillance programmée reste la composante de surveillance la plus coût-efficace du dispositif Sylvatub. Ces comparaisons sont toutefois à nuancer compte tenu de l'amplitude des intervalles de confiance, particulièrement importante pour la surveillance événementielle notamment.

Figure 25 : Ratio coût-efficacité par composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale, en fonction de la prévalence limite et d'un nombre attendu d'animaux collectés (moyenne [IC_{95%}])



A l'issue de cette étude, nous avons ainsi pu identifier une bonne sensibilité de la surveillance programmée dans les départements de niveau 2 et 3, engendrant toutefois des coûts importants, que ce soit en matière d'animation, de collecte ou d'analyses de laboratoire. Parmi les composantes de surveillance événementielle, la surveillance par examen de carcasse présente une meilleure sensibilité que la surveillance renforcée par le réseau Sagir, mais présente en contrepartie un coût unitaire plus important, notamment en relation avec l'importance des activités d'animation et de sensibilisation qu'elle nécessite. Dans les départements de plus haut niveau de risque (niveau 3), l'ensemble des activités de surveillance événementielle (examen de carcasse et Sagir renforcé) coûte environ 16 fois moins cher que la surveillance programmée. Toutefois, le calcul du ratio coût-efficacité montre que la surveillance programmée reste la composante de surveillance la plus coût-efficace du dispositif Sylvatub dans ces départements.

III. Discussion

3.1. Méthode d'évaluation quantitative par arbre de scénarios

3.1.1. Intérêts de la méthode d'évaluation quantitative par arbre de scénarios

L'évaluation par la méthode des arbres de scénarios a permis d'évaluer quantitativement les caractéristiques du dispositif Sylvatub en termes d'efficacité (capacité à détecter des cas) et de coûts, tout en permettant également la comparaison des différentes composantes de surveillance du dispositif, par espèce et niveau de risque.

Cette méthode a l'avantage de reposer sur un processus transparent 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, permettant ainsi l'identification des facteurs influençant la probabilité de détection : cette méthode 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, permettant ainsi *in fine* de proposer des recommandations adaptées. Par ailleurs, cette méthode permet également de modéliser les facteurs influençant la probabilité d'infection des individus, afin par exemple d'évaluer le gain de sensibilité permis par un échantillonnage ciblé sur les individus à haut risque d'infection par rapport à un échantillonnage aléatoire.

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 ainsi une certaine flexibilité dans l'évaluation du dispositif.

Enfin, cette méthode permet d'intégrer les coûts liés aux différentes activités de surveillance, qu'ils soient directs ou indirects, variables ou fixes, quel que soit l'acteur considéré (Etat, monde la chasse, etc.), et de modéliser leur probabilité d'occurrence. Pour cette étude, l'évaluation coût-efficacité paraissait plus adaptée que l'évaluation coût-bénéfice, car les conséquences épidémiologiques des activités de surveillance du dispositif Sylvatub ne sont pas toutes identiques, et leur conversion en termes monétaires n'était pas forcément souhaitable. En effet, il est parfois préférable de présenter les conséquences épidémiologiques de manière brute, sous forme d'indicateur, et non de les exprimer en coûts afin que cela soit plus explicite pour les acteurs de terrain, ou si la transposition des effets en termes monétaires est ardue ou peut être soumise à controverses.

Cette méthode permet ainsi de comparer les coûts entre les différentes activités de surveillance (évaluation des coûts pondérés par leur probabilité d'occurrence), et d'étudier la

répartition des ressources financières aux différentes étapes du processus de surveillance (animation, collecte, analyses). A l'issue d'une telle étude, il est donc possible de hiérarchiser les activités de surveillance influant sur la capacité de détection du dispositif, et ainsi d'y allouer les ressources financières nécessaires. Cet outil est donc bien adapté à l'objectif d'aide à la décision. Par ailleurs, cela permet également une étude indirecte de la spécificité du dispositif, par l'estimation des coûts supplémentaires liés à la collecte d'animaux indemnes.

3.1.2. Limites de la méthode d'évaluation quantitative par arbre 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 suite aux simulations. La disponibilité et l'accessibilité aux données, qu'elles soient populationnelles, épidémiologiques ou économiques, a constitué un facteur limitant chronophage à la réalisation de cette étude et a nécessité une adaptation de la méthode développée par [Martin et al. \(2007a\)](#), notamment pour l'estimation des prévalences limites par niveau de risque, espèce et classe d'âge. Toutefois, l'évaluation peut être facilement actualisée dès que de nouvelles données sont disponibles, ce qui constitue un avantage indéniable de cette méthode.

La modélisation par des arbres de scénarios permet de représenter les prises de décisions et les choix effectués par les acteurs de terrain (déclaration ou non d'une suspicion, choix de la collecte d'une carcasse, etc.). Le comportement des individus et leurs motivations sont cependant 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 concernés. Par ailleurs, même si le niveau de sensibilisation peut être amélioré par des campagnes d'information ponctuelles, il paraît toutefois difficile de maintenir un bon niveau d'implication sur le long terme, ce qui peut induire une diminution de la sensibilité du dispositif au cours du temps. Les arbres de scénarios ne permettent également pas de prendre en compte de façon simple la temporalité du processus de surveillance, au contraire des modèles de diffusion épidémiologique par exemple, qui permettent d'illustrer et de représenter la dynamique d'évolution de la maladie et de la surveillance sur un territoire.

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 (amélioration de la formation des collecteurs de données par exemple), mais les arbres étaient trop complexes pour la réalisation simple d'une analyse de sensibilité. Par ailleurs, cela aurait permis d'identifier les paramètres d'entrées pour lesquels une réduction de l'incertitude dans leur estimation permettrait d'affiner l'évaluation du dispositif.

3.2. Construction et paramétrage des arbres

Les principaux facteurs influençant la détection des animaux sauvages par le dispositif Sylvatub ont été identifiés et modélisés de manière stochastique. Les facteurs de risque d'infection des animaux sauvages n'ont pas été spécifiquement étudiés dans ce travail, l'objectif premier étant d'estimer l'efficacité du dispositif à travers sa capacité de détection. Toutefois, certains facteurs influençant l'efficacité du système influencent également la probabilité d'infection, comme le niveau de risque du département, l'espèce ou l'âge, et ont ainsi été pris en compte dans la modélisation.

Quelle que soit la composante de surveillance étudiée, l'espèce et l'âge sont des facteurs importants, dont dépendent la réceptivité et la sensibilité des individus vis-à-vis de l'infection à *M. bovis*. Ces facteurs influencent également la probabilité d'inclusion des animaux dans les composantes de surveillance (probabilité d'être abattu à la chasse, probabilité d'être mort ou mourant, etc.) et la probabilité de détection ; l'expression lésionnelle et la probabilité de détecter et de collecter des animaux morts variant selon l'espèce et l'âge. Le sexe des animaux n'a pas été pris en compte dans l'étude, car les analyses préliminaires sur la base de données Sylvatub ne montraient pas de différence significative pour les paramètres étudiés (probabilité d'infection, probabilité de lésions identifiées au LDA, etc.). Certaines publications soulignent toutefois que les bagarres entre blaireaux mâles, induisant des contacts rapprochés et des morsures, pourraient favoriser la transmission de *M. bovis*. Par ailleurs, le sexe des animaux peut également influencer leur probabilité d'être abattu à la chasse ou d'être mort ou mourant (Servanty, 2007 ; Merta *et al.*, 2014).

L'évaluation de l'efficacité du dispositif Sylvatub par la méthode de modélisation par arbres de scénarios a nécessité l'estimation de nombreux paramètres pour chacune des composantes de surveillance et chacune des espèces surveillées ; les valeurs des paramètres pouvant varier selon le niveau de risque départemental. Toutefois, de nombreuses données n'étaient pas disponibles ou méconnues lors de l'évaluation, ce qui est souvent le cas lors d'études réalisées sur des populations sauvages. Ainsi, peu d'études ont évalué la sensibilité d'un dispositif de surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage, et la plupart se sont intéressées à des populations sauvages captives, comme les cerfs (More *et al.*, 2009 ; Wahlström *et al.*, 2010), pour lesquelles le contexte est très différent : le comportement social et la proximité des individus (agrégation artificielle liée à l'alimentation et à l'abreuvement) peuvent influencer la diffusion du pathogène dans la population et donc la probabilité d'infection, des tests de dépistage tuberculiques peuvent être réalisés, et l'inspection *post-mortem* est souvent réalisée à l'abattoir, de manière plus détaillée que par un chasseur sur le terrain, et présente donc une meilleure sensibilité globale. La surveillance d'espèces sauvages captives est donc moins sensible aux facteurs socio-comportementaux que la surveillance d'espèces sauvages libres (comme par exemple l'acceptabilité de la surveillance par les acteurs ou la volonté de participation dans le cas d'une surveillance événementielle).

3.2.1. Estimation des paramètres par la méthode Delphi et opinion d'experts

Le dispositif Sylvatub ayant été mis en place récemment et les données collectées étant encore limitées, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, la méthode Delphi a été utilisée pour estimer certaines données non disponibles. Les experts contactés étaient issus de départements de niveaux de risque différents et exerçaient des fonctions variées. Ainsi, certains experts avaient une vision plutôt nationale de la problématique tuberculose, tandis que d'autres avaient une vision plus opérationnelle, leurs connaissances variant selon leur fonction (formateur référent à l'examen initial du gibier, ITD du réseau Sagir). Cela a pu conduire à des différences de point de vue pouvant expliquer l'hétérogénéité des réponses obtenues. Toutefois, l'hétérogénéité des experts peut également être perçue comme une force, la plupart des acteurs participant au dispositif Sylvatub ayant été représentés dans ce Delphi. L'un des inconvénients de cette méthode est que les experts ont souvent l'impression qu'une certitude dans la réponse est attendue (certains experts n'ont par exemple pas souhaité participer à l'étude car ils ne disposaient pas de données chiffrées, ou assez précises, sur lesquelles fonder leurs estimations).

Bien que discutable et comportant beaucoup d'incertitudes, cette méthode a permis de franchir une première étape pour l'identification de certains paramètres. L'utilisation de lois de distribution 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. [Van der Fels-Klerx et al. \(2000\)](#) indiquent ainsi que les résultats des opinions d'experts ne reflètent souvent pas la réalité, et ne peuvent remplacer les traditionnelles études épidémiologiques de terrain ou la recherche expérimentale, mais qu'ils sont indéniablement utiles comme complément face à des données manquantes. Ainsi, ignorer des facteurs car ils sont difficiles à quantifier (comme l'acuité des chasseurs par exemple), pourrait également conduire à une estimation faussée de l'efficacité du dispositif de surveillance ([Rich et al., 2013](#)). Jusqu'à ce que de meilleures données soient disponibles, les connaissances quantitatives fournies par les experts interrogés représentent ainsi des informations valables. Par ailleurs, même si l'utilisation de cette méthode a induit une certaine incertitude dans notre modèle, certains paramètres comme la capacité de détection de lésions évocatrices de tuberculose par les acteurs de terrain étaient importants à inclure dans les arbres de scénarios pour refléter au mieux la réalité.

3.2.2. Qualité de la procédure diagnostique

L'estimation de la qualité de la procédure diagnostique a été réalisée à dire d'expert, par modulation des valeurs de sensibilité et de spécificité estimées sur des populations bovines ([Courcoul et al., 2014](#)). Les données de la littérature sur les estimations des qualités de tests en faune sauvage étaient en effet peu adaptées, car les évaluations des tests diagnostiques sont réalisées en considérant la culture bactérienne comme test de référence (considéré comme parfait), alors que ce test présente des défauts importants de sensibilité en raison de potentielles contaminations des prélèvements notamment ([Santos et al., 2010](#)) : la sensibilité de la culture varie ainsi selon la

quantité de mycobactéries viables au sein d'un tissu infecté, la chronicité des lésions et la qualité de l'échantillon soumis à l'analyse nécessitant parfois des protocoles de décontamination drastiques (Schöning *et al.*, 2013). Les estimations de sensibilité et de spécificité ont été modélisées de manière stochastique par des lois de type Pert, quelle que soit l'espèce animale. Toutefois, les performances des tests diagnostiques peuvent varier selon les espèces animales d'après certains auteurs (Santos *et al.*, 2010). Par ailleurs, la culture et la PCR ont été considérées comme étant indépendantes, ce qui n'est pas réellement le cas : la dépendance biologique entre ces deux tests, si elle était prise en compte, pourrait conduire à un faible gain de sensibilité globale (More *et al.*, 2009). Toutefois, l'estimation de la covariance de sensibilité nécessiterait une comparaison avec un troisième test de référence, mais de telles données n'étaient pas disponibles pour notre étude.

3.2.3. Prévalence limite

La méthode d'estimation des probabilités ajustées d'infection, telle que décrite par Martin *et al.* (2007a) n'a pas pu être strictement appliquée, car les informations relatives aux risques relatifs d'infection dans chaque catégorie de risque (espèce, classe d'âge, niveaux de risque) n'étaient pas disponibles. Nous avons donc utilisé une autre approche, (1) en estimant les risques relatifs par niveau de risque départemental à partir des données de prévalence disponibles en élevage bovin, et (2) en utilisant les données de la base Sylvatub pour ajuster les probabilités d'infection par espèce et classe d'âge. Les probabilités ajustées d'infection obtenues par cette procédure ne reflètent donc pas avec précision la prévalence réelle d'infection parmi les espèces sauvages, inconnue, mais demeurent pertinentes, car les niveaux de risque du dispositif Sylvatub sont en partie définis en fonction de la prévalence chez les bovins et car il existe une bonne corrélation entre les foyers sauvages et domestiques (Richomme *et al.*, 2013). Ainsi, les sensibilités relativement faibles estimées pour la surveillance chez les cerfs et les chevreuils s'expliquent par l'ajustement de la prévalence limite sur les données de la base Sylvatub, car peu de cervidés infectés ont été détectés à ce jour en France. Les résultats obtenus dans cette étude ne sont donc valables que pour ces hypothèses de prévalence : c'est pourquoi nous avons également calculé la sensibilité individuelle des composantes de surveillance, par espèce et classe d'âge, pour un animal infecté (**Annexe 11**), car ces résultats peuvent être utilisés dans d'autres contextes épidémiologiques, en y appliquant une probabilité d'infection différente.

Par ailleurs, les prévalences ont été déterminées à l'échelle départementale, mais dépendent normalement également des densités des espèces sauvages, qui peuvent varier entre différents massifs forestiers au sein d'un même département, ou selon la localisation et la densité d'individus au sein des terriers de blaireaux. Une analyse plus fine, à l'échelle communale par exemple, serait ainsi plus représentative de la situation épidémiologique réelle, et permettrait de prendre en compte les densités considérées comme étant à risque pour le développement et l'entretien de la tuberculose (Anses, 2011).

3.2.4. Densité des espèces sauvages et paramètres démographiques

3.2.4.1. Densité des populations sauvages

La densité des espèces de grand gibier (sanglier, cerf, chevreuil) a été estimée à partir des tableaux de chasse réalisés annuellement dans chaque département. Cette méthode, qui permet un suivi global des populations sur un territoire, est souvent utilisée en tant qu'indice de l'évolution des populations sur le moyen terme. Elle est toutefois peu précise et actuellement discutée en tant que méthode d'estimation des densités, car les prélèvements cynégétiques dépendent de nombreux facteurs, comme les attributions (quotas d'animaux à chasser), et les conditions de chasse (climat, zone géographique, nombre de chasseurs, modes et efforts de chasse, etc.). Des méthodes complémentaires peuvent être utilisées, comme la constatation des dégâts aux cultures dont disposent les FDC pour les sangliers, et les données issues des indices kilométriques d'abondance pour les cerfs, disponibles auprès de l'ONCFS et de la FNC, qui fournissent un indice annuel d'abondance dont l'évolution dans le temps traduit approximativement celle des effectifs dans la zone. De nouvelles méthodes, plus précises, sont en cours de développement, comme la méthode des indicateurs de changements écologiques, qui est cependant très chronophage et ne peut être appliquée que sur une zone géographique restreinte (Hars, communication personnelle).

Les densités de blaireaux sont difficiles à estimer et aucune étude en France ne permet actuellement d'estimer la densité des populations à des échelles spatiales notables (Rigaud et Chanu, 2011). Les seules données disponibles à l'échelle nationale en France sont issues du dénombrement de blaireaux vivants ou morts dans le cadre des « Carnets de bord petits carnivores » : cette méthode est utile mais ne reflète pas réellement la densité de population locale, car les pressions d'observations peuvent être hétérogènes entre les départements et varient notamment en fonction de la fréquentation des routes et du maillage d'acteurs sur le terrain. D'après Ruelle *et al.* (2014), les données collectées à l'échelle nationale ne permettent ainsi pas, à ce jour, d'estimer les effectifs de blaireaux dans l'absolu. L'une des méthodes les plus utilisées consiste en un dénombrement des terriers principaux occupés, multiplié par le nombre moyen d'individus par groupe social ; cette valeur étant ensuite rapportée à la surface de la zone d'étude (Do Linh San, 2006). Les densités de blaireaux sont donc fréquemment estimées de manière locale et indirecte (Rigaux et Chanu, 2011). Dans la plupart des pays, l'estimation de l'état des populations est ainsi effectuée à partir de la combinaison de différentes approches (carnets de piégeages, enquêtes auprès des chasseurs et des naturalistes, déduction à partir de la mortalité routière, comptages nocturnes...) (Do Linh San, 2006). Selon les approches et méthodes utilisées, les résultats peuvent être approximatifs et très variables d'une zone à l'autre (Do Linh San, 2006), rendant ainsi les comparaisons délicates, notamment si les conditions locales ne sont pas comparables (ressources alimentaires, structure du paysage, conditions écologiques et géologiques, perturbations anthropiques, etc.) (Rigaux et Chanu, 2011).

Les densités de blaireaux utilisées pour le paramétrage de notre modèle sont issues d'études locales reposant sur des protocoles parfois différents. Les estimations locales de densités ont été inférées à l'échelle départementale, mais elles ne sont en réalité valables que pour la zone d'étude,

les habitats pouvant être plus ou moins favorables à l'installation du blaireau au sein d'un même département (Réveillaud, 2011). Par ailleurs, dans les départements de niveau 3, des piégeages intensifs ont pu avoir lieu dans les zones où l'estimation de densité avait été réalisée, conduisant ainsi à des densités locales actuellement plus faibles que lors de l'étude. Enfin, nous avons utilisé la surface non artificialisée pour le calcul de la densité à l'hectare à l'échelle départementale, mais certains types de sols naturels ne sont pas propices aux blaireaux : nos estimations sont donc entachées d'une certaine incertitude difficile à quantifier. Les valeurs fournies dans nos estimations de sensibilité sont donc à prendre avec précaution ; une étude à l'échelle communale étant plus adaptée pour cette espèce.

3.2.4.2. Paramètres démographiques des populations sauvages

Les structures de classe d'âge sont souvent obtenues à partir d'animaux piégés ou tués, et sont donc souvent biaisées en raison des méthodes d'échantillonnage et du moment auquel est effectuée la collecte des animaux (Seiler *et al.*, 2003). L'estimation de l'âge des animaux, notamment des sangliers et des blaireaux, doit normalement être effectuée à partir de leur dentition (Matschke, 1967 ; Baubet *et al.*, 1994). Or, sur le terrain, notamment dans le cadre d'une pratique de chasse classique, l'âge est déterminé de manière visuelle, selon la morphologie et le poids des animaux. C'est pourquoi les paramètres démographiques des populations ont été estimés à partir d'une revue de littérature et de dires d'experts, et non à partir de la base Sylvatub.

D'après Servanty (2007), la mortalité liée à la chasse chez le sanglier dépend à la fois de la classe d'âge et du sexe (plus importante chez les adultes mâles que chez les adultes femelles, car les chasseurs évitent en général de tirer les femelles suitées), mais cette différence n'a pas été prise en compte dans notre étude. D'après nos estimations, la probabilité d'être tué à la chasse semble plus élevée pour les sangliers adultes, ce qui est contradictoire avec certaines études (Fattebert, 2005), d'après lesquelles les sangliers jeunes (> 6 mois) et surtout les subadultes (12 – 24 mois) sont davantage chassés que les adultes. Cette différence peut être expliquée par le regroupement des subadultes et des adultes, comme conseillé par les experts interrogés par la méthode Delphi, ce qui augmente la probabilité d'être tué à la chasse pour des sangliers appartenant à la classe des adultes dans notre modèle. La mortalité (hors chasse) des sangliers est très variable, notamment en fonction des conditions climatiques, des ressources alimentaires et de l'état sanitaire de la population (Okarma *et al.*, 1995) : la mortalité post-natale peut ainsi toucher 10 à 71 % des nouveau-nés et l'accroissement annuel d'une population peut varier de 80 à 200 % selon les années (ELO, 2012). D'après Jezierski (1977), la mortalité des jeunes peut être estimée à 15 % sur les nouveau-nés, et à 48 % au cours de leur première année de vie, mais ce pourcentage peut être diminué à 10 % les années favorables ou augmenté à 80-90 % les années défavorables (conditions météorologiques et disponibilité alimentaire). De nombreuses études montrent que la dynamique des populations chez les cervidés peut être également fortement influencée par une combinaison de facteurs

environnementaux : ressources alimentaires, conditions météorologiques, qualité de l'habitat, maladies et infections, prédation, activités humaines et densités de populations.

La chasse, les collisions routières, les maladies, la famine et les blessures ont été identifiées comme des causes de mortalité des blaireaux (Seiler *et al.*, 2003). En Europe, les collisions pourraient constituer la principale cause de mortalité, pouvant atteindre 20 à 25 % de la population localement (Suisse, Pays-Bas, Grande-Bretagne (Davies *et al.*, 1987 ; Griffiths et Thomas, 1993 ; Do Linh San, 2006 ; Dekker et Bekker, 2010), et jusqu'à 45-50 % dans certaines zones de Grande-Bretagne (Jefferies, 1975 ; Harris et Cresswell, 1988 ; Cheeseman *et al.*, 1989 ; MacDonald et Newman, 2002) ou aux Pays-Bas (Wiertz, 1993 ; Ahnlund, 1980), notamment entre avril et septembre). La tuberculose est une cause de mortalité majeure des blaireaux dans le Gloucestershire (Gallagher et Nelson, 1979), induisant des modifications de comportement (sorties diurnes, diminution de la crainte de l'Homme) (Cheeseman et Mallinson, 1981). Toutefois, d'après Corner (2006), l'infection par *M. bovis* ne semble pas avoir d'effet significatif sur la taille ou la structure des populations (Wilkinson *et al.*, 2000). La mortalité chez les jeunes est variable selon la période (environ 13 % en février-mars et de 26 % à 35 % entre avril et juillet d'après Smith et Wilkinson (2002)), et selon le sexe (mortalité plus élevée chez les mâles d'après Smith *et al.* (1995 ; 1997 ; 2001)) : ces variations n'ont pas été étudiées dans notre modèle, mais ont été intégrées dans la loi de distribution utilisée pour le paramétrage, afin de prendre en compte la variabilité biologique inhérente à la mortalité des animaux sauvages.

Les paramètres démographiques relatifs aux populations sauvages ont été modélisés par des lois de distribution, afin de prendre en compte l'incertitude des estimations et leur variabilité (en fonction des saisons, du climat, de la zone géographique, de l'abondance de nourriture, etc.).

3.2.5. Inspection *post-mortem*

La qualité de l'inspection *post-mortem* réalisée sur les animaux sauvages a été évaluée par la méthode Delphi. Dans la littérature, la sensibilité de l'examen nécropsique sur les animaux sauvages a été estimée à 70 % (Wahlström *et al.*, 1998), 72,7 % (Santos *et al.*, 2010) et 75 % [59 % ; 91 %] (O'Brien *et al.*, 2004), mais ne semble pas prendre en compte la capacité des acteurs à détecter les lésions lorsqu'elles sont présentes. Par ailleurs, dans ces études, la spécificité était considérée de 100 %, ce qui n'est pas le cas en réalité car d'autres agents pathogènes que *M. bovis* peuvent induire des lésions macroscopiques semblables (*cf* chapitre 2). Rohonczy *et al.* (1996) ont montré une bonne concordance entre la présence de lésions macroscopiques et l'isolement de *M. bovis* sur les cerfs (coefficient kappa de 69 %), mais d'autres études ont montré que *M. bovis* n'était pas isolée sur environ 25 % de cerfs présentant des lésions (Fitzgerald *et al.*, 2000). D'après Vicente *et al.* (2006), la prévalence de lésions évocatrices de tuberculose augmente avec l'âge chez les sangliers et les cerfs (en raison de la chronicité de l'infection et de l'augmentation de la probabilité d'être infecté), ce qui n'est pas retrouvé de manière franche dans les résultats du Delphi. La présence de lésions généralisées semble varier selon les espèces et leur rôle dans le cycle épidémiologique de la

tuberculose : ainsi, en Espagne, où le sanglier est considéré comme réservoir, [Vicente et al. \(2006\)](#) ont montré qu'elles étaient significativement plus importantes chez les sangliers que chez les cerfs ; alors qu'en France, [Zanella et al. \(2008a\)](#) ont montré que les cerfs présentaient des lésions généralisées en forêt de Brotonne, où ils ont joué le rôle de réservoir pendant plusieurs années. La sensibilité de l'examen *post-mortem* des blaireaux n'a pas été estimée dans notre étude, car les acteurs de terrain ne réalisent pas d'inspection des carcasses avant leur acheminement à l'abattoir.

D'après les experts interrogés, l'inspection *post-mortem* (capacité à détecter des lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose) a une faible sensibilité (cohérent avec d'autres études ([Rohoczy et al., 1996](#) ; [More et al., 2009](#) ; [Wahlström et al., 2010](#))), mais la formation et l'augmentation de la sensibilisation des chasseurs dans les départements de niveau 3 ont un effet sur l'augmentation de l'efficacité de la surveillance par examen de carcasse.

3.2.6. Estimation des coûts

3.2.6.1. Cadre de l'étude

Les paramètres économiques ont été quantifiés en s'appuyant notamment sur des études conceptuelles conduites dans le domaine de l'analyse économique de la surveillance de maladies animales ([Rich, 2005a](#) ; [Häsler, 2011a](#)). Les coûts variables et les coûts fixes ont été évalués pour chaque composante de surveillance et niveau de risque, pour trois principales catégories de coût définies pour l'étude (animation, collecte, analyses de laboratoire), pour une année. Les coûts d'investissement étant marginaux, nous nous sommes seulement intéressés aux coûts de fonctionnement. Toutefois, il pourrait être intéressant d'approfondir les notions d'investissement et d'amortissement pour certains coûts liés au matériel (achat de congélateur spécifique par exemple) et à certaines activités d'animation n'étant pas reconduites annuellement (ce qui est toutefois rarement le cas en pratique, notamment pour la surveillance programmée pour laquelle une à plusieurs réunions sont systématiquement organisées chaque année par exemple).

Les coûts inhérents au fonctionnement classique du réseau Sagir (départements de niveau 1 et chevreuils quel que soit le niveau de risque départemental) ne sont pas spécifiques du dispositif Sylvatub et n'ont donc pas été intégrés à cette étude. Il serait toutefois intéressant d'estimer la part des coûts relatifs à la surveillance de la tuberculose par ce réseau, afin d'avoir une vision plus exhaustive du coût global de la surveillance de cette maladie en France. Toutefois, le réseau Sagir étant un réseau généraliste, s'intéressant à l'ensemble des causes de mortalité des animaux sauvages, des méthodes particulières doivent être utilisées ([Hénaux et al., 2015](#)).

Seuls les coûts relatifs à la surveillance épidémiologique de la tuberculose ont été estimés dans cette étude : les coûts relatifs à la lutte n'ont pas été pris en compte, mais étaient parfois difficile à dissocier de ceux de la surveillance. En effet, les conventions locales décrivant les activités de surveillance programmée ne distinguent pas surveillance et lutte, et certaines hypothèses de calcul ont donc pu conduire à des biais dans nos estimations des coûts unitaires de la surveillance : nous avons en effet considéré que les coûts unitaires d'animation et de collecte étaient identiques

pour la surveillance et la lutte, ce qui n'est pas forcément le cas en pratique (par exemple, la régulation des blaireaux s'effectue à l'échelle de zones géographiques plus restreintes et nécessite un suivi moins précis de la part des agents de l'administration que la collecte pour la surveillance d'un nombre déterminé de blaireaux sur des zones plus larges, avec des quotas communaux).

Les coûts indirects liés à la détection d'un cas et à la mise en œuvre de mesures de gestion (réduction des densités, interdiction de l'agrainage, destruction des viscères des animaux, etc.) n'ont pas été étudiés et pourraient avoir un impact sur l'acceptabilité des mesures par les acteurs. Par ailleurs, les coûts subjectifs, comme la perte du bracelet de chasse ou la perte de la carcasse que le chasseur prévoyait pour autoconsommation n'ont pas été évalués. Le coût de la formation des référents Sylvatub n'a pas été pris en compte, car ces formations ne sont pas obligatoires pour l'entrée des acteurs dans le dispositif et pour assurer son bon fonctionnement.

Ainsi, seuls les coûts pour l'Etat ont été étudiés dans ce travail, une analyse plus complète devant également prendre en compte les coûts pour les acteurs du monde de la chasse et pour les collectivités territoriales.

3.2.6.2. Collecte des données économiques

La collecte des coûts unitaires a été compliquée et chronophage, car elle concernait plusieurs composantes de surveillance et donc plusieurs acteurs, notamment dans le cadre de la surveillance programmée où les conventions locales ont dû être récupérées auprès des acteurs locaux des départements d'étude. Par ailleurs, ces conventions locales ne présentaient pour la plupart pas de coût unitaire précis pour les postes financiers étudiés, et les conventions pouvaient concerner plusieurs campagnes de surveillance. Les données de dépenses réelles (bilans financiers) ou estimées par les partenaires locaux (techniciens de DDecPP par exemple) ont ainsi parfois dû être utilisées, en parallèle du nombre d'animaux pour la période d'étude. La multiplicité des sources de données et de leur format a ainsi conduit à combiner plusieurs méthodes d'estimation des coûts unitaires. Il a été particulièrement difficile d'estimer un coût unitaire moyen représentatif de la surveillance programmée, en raison de la forte hétérogénéité d'organisation locale (collecte des cadavres par les LDA ou acheminement par des acteurs de terrain, rémunération des piégeurs et des louvetiers, etc.).

3.2.6.3. Estimation des coûts d'animation

Les coûts d'animation sont variables selon les composantes de surveillance : la surveillance événementielle par examen de carcasse repose principalement sur une dynamique de formation, d'information et de sensibilisation d'acteurs volontaires, tandis que la surveillance programmée repose sur l'organisation et la planification préalable d'une campagne de surveillance, et sur l'animation et l'encadrement local du réseau d'acteurs.

Les coûts d'animation à l'échelle nationale n'avaient jamais été estimés, notamment pour l'animation réalisée par la FNC pour la surveillance par examen de carcasse. Ces coûts sont pris en charge par l'Etat à hauteur de 12 000 € (convention DGAI-FNC et DGAI-ONCFS-FNC), le reste étant de

l'autofinancement par la FNC et pouvant ainsi constituer un surcoût pour le monde de la chasse. Les coûts d'animation pour la production et l'édition de documents d'information et de sensibilisation (~ 15 000 €) n'ont pas été pris en compte car les documents seront diffusés lors de la saison 2015-2016 (les frais d'édition, d'impression et d'envoi de 300 affiches sont indemnisés dans le cadre de la convention DGAI-FNC, mais l'expédition aux sociétés de chasse est à la charge des FDC et pourrait ainsi être intégrée aux coûts d'animation locale). Les coûts actuels d'animation locale par les FDC n'ont pas été intégrés à l'étude, car ils ne constituent pas un réel surplus lié au dispositif Sylvatub. Le temps dédié à l'animation locale par les techniciens de FDC a toutefois été estimé par la personne en charge du dispositif à la FNC, à environ six à huit jours pour un département de niveau 1 (réunion et sensibilisation des chasseurs), 52 jours pour un département de niveau 2 (logistique et organisation de la surveillance programmée, réunions et sollicitation des piégeurs, réception et distribution du matériel) et 60 jours pour un département de niveau 3 (logistique et organisation de la surveillance programmée). Considérant un forfait journalier de 300 € / jour pour un technicien de FDC (coût total employeur), en prenant en compte les coûts de déplacements (0,56 €/km pour le carburant, l'amortissement et l'entretien) et les coûts inhérents à la sensibilisation et l'information des acteurs de terrain (courrier, impression de fiches techniques, etc.), les coûts estimés de l'animation locale par les FDC s'élèveraient à environ 6 000 € pour un département de niveau 1, 19 000 € pour un département de niveau 2 et 22 000 € pour un département de niveau 3.

Les coûts unitaires d'animation pour la surveillance programmée ont été considérés comme équivalents pour les gibiers et les blaireaux, mais sont peut être un peu plus importants pour les blaireaux en réalité, en raison de l'organisation plus complexe des piégeages et du temps consacré à la gestion des indemnités pour les piégeurs. Les coûts unitaires d'animation et de collecte pour la surveillance programmée sont plus importants pour les départements de niveau 2 que pour ceux de niveau 3, en raison du *pro rata* d'un nombre d'animaux collectés plus faible (de l'ordre d'une quinzaine en niveau 2, et de plusieurs centaines en niveau 3). En effet, les coûts d'animation augmentent avec le nombre d'animaux collectés, mais pas de façon proportionnelle ; les coûts unitaires diminuant ainsi avec l'augmentation du nombre d'animaux collectés du fait de ces économies d'échelle (Durand, 2015a). Enfin, l'étude des coûts de la surveillance programmée dans d'autres départements de niveau 2 semble nécessaire afin d'étudier la variabilité des coûts en fonction des situations locales.

Les coûts d'animation ont été rapportés à l'animal collecté, pour chaque composante de surveillance et niveau de risque (coûts unitaires), ce qui a toutefois certainement conduit à une sous-estimation du coût global. Ainsi, il faudrait affiner ces analyses en prenant également en compte les coûts d'animation dans les départements pour lesquels aucune suspicion n'a été rapportée, notamment en surveillance événementielle.

3.2.6.4. Estimation des coûts de collecte

Les coûts de collecte sont bien identifiés pour la surveillance par examen de carcasse et le renforcement du réseau Sagir. Toutefois, certains actes réalisés par les collecteurs de données (par exemple la prise en charge d'une carcasse suspecte par les référents Sylvatub) sont indemnisés auprès de leur administration locale (FDC), et non auprès du collecteur lui-même, ce qui peut constituer un biais dans l'analyse économique globale et l'identification de facteurs bloquants à la participation au dispositif. Par ailleurs, certaines FDC n'ont pas souhaité solliciter l'indemnisation prévue à l'échelle nationale pour la collecte de carcasses suspectes par les référents Sylvatub : la non-prise en compte de ces aspects opérationnels dans notre étude, réalisée à partir de données unitaires conventionnées, a pu conduire à une surestimation du coût global réel du dispositif.

Les coûts de collecte pour la surveillance programmée sont variables selon l'organisation locale. En effet, dans certains départements, la DDecPP prend en charge financièrement l'adhésion de certains piégeurs agréés à des associations locales, ce qui induit un coût supplémentaire. Le dysfonctionnement local du réseau peut par ailleurs induire le désengagement de certains acteurs initialement prévus dans le dispositif Sylvatub et engendrer des coûts supplémentaires, comme c'est le cas par exemple en Côte d'Or où des vétérinaires contractuels sont embauchés par la DDecPP pour l'animation et la collecte du grand gibier, au lieu de personnels de FDC, ce qui induit un coût inhérent à la collecte plus important que celui attendu (non pris en compte toutefois dans cette étude).

3.2.6.5. Estimation des coûts des analyses de laboratoire

Les coûts des analyses de laboratoire ont été évalués à partir de la convention DGAI-Adilva, qui conventionne toutefois l'indemnisation à un tarif unitaire maximum, et non à hauteur des tarifs pratiqués par chaque laboratoire. Par ailleurs, le tarif d'indemnisation des cultures et des PCR est moindre lorsque le laboratoire en réalise plus d'une centaine dans l'année. Ainsi, les coûts estimés ne reflètent pas exactement les coûts réels, le surplus éventuel étant à la charge des laboratoires et des collectivités territoriales, ce qui peut constituer un frein à long terme pour leur participation au dispositif, certains pouvant se désengager des conventions nationales afin d'obtenir des tarifs d'indemnisation plus avantageux à l'échelle départementale.

Pour la surveillance événementielle par examen de carcasse, nous avons considéré qu'une PCR était systématiquement effectuée au LDA, ce qui n'est en réalité pas toujours le cas, et a pu conduire à une surestimation des coûts réels et attendus de cette composante. Par ailleurs, la note de service DGAL/SDSPA/N2013-8126 précise que les analyses de laboratoire chez les cerfs prélevés dans le cadre de la surveillance programmée ne doivent être effectuées que si des lésions sont détectées à l'autopsie, règle que nous avons appliquée pour l'estimation des coûts attendus. Toutefois, dans certains départements, des cultures sont systématiquement effectuées sur des cerfs ne présentant aucune lésion, ce qui peut expliquer la différence observée entre les coûts réels et attendus (**Annexe 13**).

3.3. Résultats

Pour chacune des composantes du dispositif Sylvatub et chacune des espèces étudiées (Sanglier, Cerf, Chevreuil, Blaireau), la sensibilité individuelle (probabilité de détecter l'infection sur un animal) ainsi que la sensibilité collective (probabilité de détecter au moins un cas parmi un ensemble n d'animaux surveillés) ont été évaluées pour chaque niveau de risque. L'estimation de la sensibilité a été effectuée de façon indépendante pour chaque espèce, chaque composante de surveillance, puis pour le dispositif Sylvatub dans son ensemble selon les combinaisons de composantes mises en œuvre dans les différents niveaux de risque départementaux.

Ces estimations de sensibilité sont 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. De la même manière, les coûts estimés de la surveillance ne sont valables que pour la classification des départements de 2013-2014 et 2014, car les coûts des analyses de laboratoire ont été calculés selon la proportion de LDA agréés pour les analyses tuberculose par niveau de risque, et car le nombre moyen d'animaux collectés (réels ou attendus) est fondé sur cette période d'étude. Cependant, même si les valeurs estimées ne sont valables que pour 2013-2014 et 2014, nous pouvons considérer qu'elles fournissent également un ordre de grandeur à valeur générique, à la fois pour la sensibilité et le coût des activités de surveillance, utile pour éclairer la prise de décision au sujet de la surveillance par le dispositif Sylvatub.

3.3.1. Surveillance événementielle par examen de carcasse

La surveillance événementielle par examen de carcasse a déjà montré son efficacité, puisqu'elle a notamment permis d'identifier les premiers cas de tuberculose chez des cerfs en Normandie en 2001, chez des cerfs et chevreuils en Dordogne en 2010-2012 et chez des sangliers dans les Pyrénées-Atlantiques en 2005. Il était donc intéressant d'évaluer l'efficacité globale de cette composante de surveillance, qui est actuellement mise en œuvre dans tous les départements de France métropolitaine, sur les sangliers, les cerfs et les chevreuils.

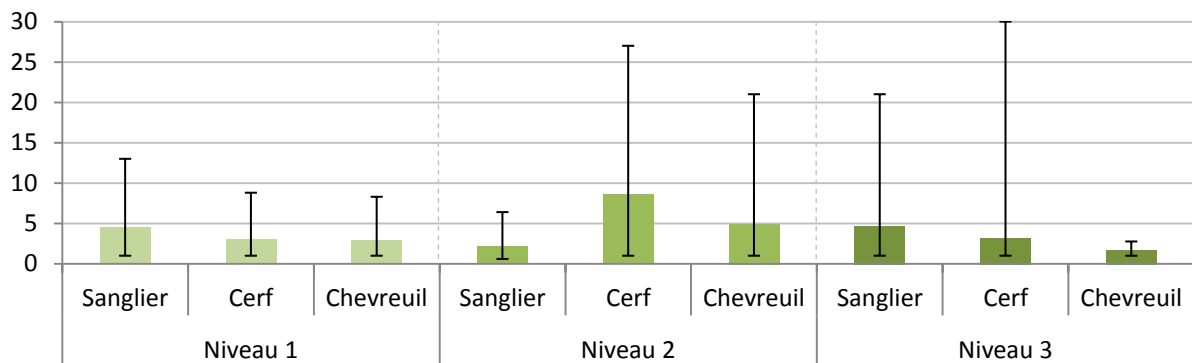
La présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose est utilisée comme critère pour évaluer la distribution de la maladie dans plusieurs pays. Toutefois, plusieurs études ont montré qu'une surveillance reposant sur la détection d'animaux porteurs de lésions macroscopiques comme test de dépistage, puis sur la réalisation d'analyses de laboratoire (culture) sur ces seuls animaux

sous-estimait la prévalence réelle : le défaut de sensibilité a ainsi été estimé à environ 25 %, que ce soit pour les sangliers (Santos *et al.*, 2010) ou les cerfs (O'Brien *et al.*, 2004). Même si cet outil de dépistage est imparfait pour estimer correctement la prévalence de la maladie, une telle information reste précieuse pour explorer l'ampleur de la distribution de l'infection (Wobeser, 1994 ; Vicente *et al.*, 2006). Par ailleurs, cette composante est davantage « ciblée » que la surveillance par le réseau Sagir ou la surveillance programmée, car elle nécessite la détection de lésions évocatrices de tuberculose pour l'inclusion d'un animal dans le dispositif.

D'après nos estimations, la sensibilité individuelle pour un animal infecté varie de 5 % à 40 % dans un département de niveau 1, de 10 % à 47 % dans un département de niveau 2 et de 20 % à 60 % dans un département de niveau 3, selon les espèces surveillées et le niveau de formation du chasseur (Annexe 11). Le calcul du ratio de sensibilités individuelles (pour un animal infecté) de la surveillance par examen de carcasse réalisée par un chasseur formé à l'examen initial de la venaison, par rapport à un chasseur non formé, montre que la formation des chasseurs permet d'augmenter la probabilité de détecter un animal infecté, notamment dans les départements de niveau 2 pour les cervidés et dans les départements de niveau 3 pour les sangliers (Figure 26). L'augmentation de la proportion de chasseurs formés à l'examen initial de la venaison permettrait ainsi d'augmenter sensiblement l'efficacité de cette composante. Toutefois, ces résultats sont directement liés aux estimations réalisées par les experts dans le cadre du Delphi : ainsi, compte tenu du fait que l'augmentation de la probabilité de détection des lésions est implicitement attendue suite à une activité de formation, ce paramètre peut avoir été surestimé, et expliquer ainsi les résultats obtenus.

La sensibilité de la surveillance par examen de carcasse peut ainsi 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 et 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.

Figure 26 : Ratio de sensibilités individuelles de la surveillance par examen de carcasse réalisée par un chasseur formé à l'examen initial de la venaison, par rapport à un chasseur non formé, par espèce et niveau de risque (moyenne, IC_{95%})



La sensibilité de la surveillance par examen de carcasse est bonne à l'échelle collective, en raison du nombre important d'animaux pouvant être soumis à cette surveillance. En effet, tous les animaux chassés subissent normalement un examen de carcasse, mais l'examen poussé de la venaison n'est toutefois en général réalisé que pour les carcasses destinées à la commercialisation. Le nombre d'exams initiaux de la venaison n'étant pas connu en France à l'heure actuelle, il a été considéré que tout chasseur examinait son gibier chassé, avec un niveau de connaissance et donc une capacité à détecter des lésions évocatrices de tuberculose toutefois variables selon les espèces, les zones géographiques, et le niveau de formation du chasseur. Nous avons ainsi utilisé les proportions de chasseurs formés par département pour prendre en compte ce facteur. Cette méthode a toutefois certainement 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 autoconsommation.

La surveillance événementielle par examen de carcasse s'avère être la plus onéreuse à l'échelle individuelle d'après nos estimations (**Tableau 28, Figure 22**), mais elle est cependant la moins coûteuse globalement, en comparaison des autres modalités de surveillance (**Tableau 30**). Cela peut s'expliquer par le coût d'animation important, rapporté au faible nombre de suspicions déclarées (en moyenne une cinquantaine par an). En effet, cette composante s'applique dans tous les départements et repose sur des acteurs bénévoles non sensibilisés préalablement au sanitaire (chasseurs). Ainsi, des réunions d'information et de sensibilisation, voire des relances individuelles, sont nécessaires pour la mise en œuvre opérationnelle de cette composante, l'animation régulière étant indispensable afin de maintenir la motivation des acteurs et favoriser leur participation effective au dispositif. Par ailleurs, la spécificité de l'examen de carcasse n'étant pas parfaite, les lésions suspectes doivent être systématiquement analysées au laboratoire, ce qui induit des coûts non négligeables pour l'Etat.

3.3.2. Surveillance événementielle et événementielle renforcée par le réseau Sagir

Cette composante de surveillance a pour objectif la détection de l'infection à *M. bovis* sur les cervidés, les sangliers et les blaireaux trouvés morts ou mourants en bord de routes, chemins ou forêts, dans l'ensemble des départements français. Dans le cadre du renforcement du réseau Sagir, il n'y a pas d'élément de suspicion mais une analyse systématique d'un certain nombre d'animaux, par espèce et zone à risque dans le département (quotas conventionnés). Le renforcement du réseau Sagir dans les départements de niveau 2 et 3 permet d'augmenter la sensibilité de cette composante de surveillance, par rapport au fonctionnement classique du réseau : en effet, la sensibilité individuelle pour un animal infecté du réseau Sagir dans son fonctionnement classique (niveau 1 et chevreuil) est inférieure à 1 %, tandis qu'elle augmente de 1 % à 5 % dans les départements de niveau 2 et de 5 % à 8 % dans les départements de niveau 3 (**Annexe 11**). En effet, dans le cadre du fonctionnement classique du réseau, les ITD 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).

L'évaluation étant réalisée à l'échelle départementale, il a été considéré que le renforcement du réseau Sagir était appliqué dans l'ensemble des départements concernés (niveau 2 et 3). Toutefois, ce renforcement ne concerne en réalité que les zones considérées à risque (principalement autour des foyers bovins, les zones pouvant être assez larges et laissées à la discrétion des acteurs locaux) ; le fonctionnement normal du réseau Sagir étant appliqué dans le reste du département. Notre modèle a donc certainement surestimé la sensibilité globale de la surveillance par cette composante dans ces départements de niveau 2 et 3.

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.

La surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir est moins onéreuse que la surveillance par examen de carcasse à l'échelle individuelle. En effet, les coûts d'animation sont moindres car la transmission d'information auprès des ITD se fait par circulaire et nécessite moins de réunions d'information et de sensibilisation. Toutefois, elle s'avère plus onéreuse à l'échelle collective que la surveillance par examen de carcasse (**Tableau 30**), en raison du nombre d'animaux pouvant être collectés par cette composante (notamment blaireaux).

3.3.3. Surveillance programmée

Cette composante de surveillance se fonde sur un dépistage systématique de l'infection à *M. bovis* sur un échantillon d'animaux sauvages tués ou piégés à cet effet, dans des zones considérées à risque (départements de niveau 2 et 3).

La sensibilité individuelle de la surveillance programmée pour un animal infecté est relativement bonne (autour de 60 %), ce qui peut être expliqué par le fait que cette composante est soumise à peu de facteurs extérieurs (notamment humains) et que les animaux collectés sont issus de zones considérées comme étant à risque, la probabilité d'infection y étant plus élevée. Elle est toutefois un peu plus faible chez les cerfs (environ 36 %), car pour cette espèce les analyses de laboratoire ne sont réalisées que si des lésions évocatrices de tuberculose sont détectées au LDA. Si les analyses étaient réalisées de manière systématique, comme pour les sangliers et les blaireaux, la probabilité de détecter un animal infecté approcherait également les 60 % d'après nos simulations. Une proportion importante d'animaux infectés ne présentant pas de lésions macroscopiques détectables par les acteurs de terrain ou par les techniciens de laboratoire, la surveillance programmée présente logiquement une sensibilité plus importante que la surveillance par examen de carcasse. Ces résultats sont cohérents avec les observations de [Murphy et al. \(2010\)](#), d'après lesquelles la prévalence estimée sur des blaireaux naturellement infectés en Irlande serait de 12,1 % à partir d'un examen macroscopique, et de 36,3 % à partir d'analyses de laboratoire systématiques comme la culture (environ 2/3 des blaireaux infectés ne présentent pas de lésions macroscopiques évocatrices d'après ces auteurs).

La surveillance programmée présente également une bonne sensibilité collective. Toutefois, cette composante n'est pas appliquée dans tous les départements ni toute l'année en raison de la saisonnalité de la chasse et du piégeage. Cette sensibilité collective, calculée à partir des tailles d'échantillon préconisées dans la note de service, doit également être remise en perspective par rapport au taux de réalisation de l'échantillonnage prévisionnel réellement effectué. En effet, dans la plupart des départements de niveau 3, plus de 100 animaux sont collectés, ce qui permet l'augmentation de la sensibilité globale de cette composante de surveillance, par rapport à la sensibilité théorique calculée par notre modèle fondée sur les préconisations de la note de service précitée. Par ailleurs, 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, et pourrait constituer un frein à la bonne réalisation de l'échantillonnage dans certains départements. Enfin, la surveillance programmée dans les départements de niveau 2 et 3 est normalement réalisée à l'échelle communale et non départementale : ces résultats nécessiteraient donc d'être affinés à une échelle géographique plus fine, afin de mieux représenter la réalité de terrain.

Les activités d'animation et de collecte sont particulièrement onéreuses pour cette composante de surveillance, et varient selon le niveau de risque du département. En effet, des réunions d'information et de sensibilisation sont organisées régulièrement par les DDecPP, afin de présenter les objectifs d'échantillonnage, les zones géographiques ciblées et le rôle de chaque acteur. Toutefois, la surveillance programmée du grand gibier dans les départements de niveau 3 semble être la composante de surveillance la moins onéreuse à l'échelle individuelle (**Tableau 28, Figure 22**) : cela peut s'expliquer par le fait que les coûts de collecte sont moins importants que pour les autres composantes et pour les blaireaux dans les départements de niveau 2, car peu de matériel spécifique est nécessaire, et la collecte des animaux n'est pas indemnisée. Les coûts d'animation sont par ailleurs plus faibles pour les grands gibiers que pour les blaireaux, car l'organisation et l'encadrement des acteurs de terrain nécessaires pour la surveillance sont moindres, par rapport à la surveillance des blaireaux qui nécessite une animation locale importante, à la fois par les techniciens de la DDecPP mais également par les lieutenants de louveterie qui doivent encadrer les activités de piégeage réalisées par les piégeurs agréés.

3.3.4. 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. La complémentarité des composantes de surveillance permet d'augmenter la sensibilité globale du dispositif : ainsi, par exemple, la mise en œuvre d'une surveillance programmée avec réalisation systématique d'analyses de laboratoire sur un échantillon défini d'animaux permet de compenser le manque de sensibilité de la surveillance par examen de carcasse chez le Sanglier (restreinte par la faible expression lésionnelle dans cette espèce), ou par la non-applicabilité de cette activité de surveillance chez le Blaireau. La combinaison de composantes dans les niveaux de risque plus élevés a pour objectif d'améliorer la capacité de détection d'animaux infectés, mais engendre également des coûts supplémentaires.

La complémentarité des composantes de surveillance doit également être considérée d'un point de vue temporel : en effet, la surveillance événementielle 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 événementielle 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. Des simulations mensuelles permettraient d'affiner les résultats. Par ailleurs, des analyses à une échelle géographique plus locale (communale par exemple) permettraient de mieux représenter la réalité de terrain et la combinaison des composantes de surveillance en fonction du risque d'infection de la faune sauvage. En effet, dans les départements de niveau 3 par exemple, certaines zones sont considérées comme des « points

noirs d'infection localisés », tandis que d'autres sont considérées comme étant indemnes de tuberculose dans la faune sauvage, ce qui n'a pas été pris en compte dans cette étude.

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. Ainsi, à échantillonnage constant ou supérieur, il apparaît logique que la probabilité de détection soit meilleure dans les zones où la prévalence limite détectable a été fixée plus élevée. En effet, le fait de fixer une prévalence limite plus élevée dans les départements considérés comme étant plus à risque permet d'augmenter la sensibilité et donc la probabilité de détecter l'infection dans ces zones. Toutefois, en contrepartie, la prévalence limite fixée plus basse dans les départements de faible niveau de risque (niveau 1) conduit à plus faible probabilité de détecter l'infection si elle est présente. 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.

Le ratio coût-efficacité de la surveillance par le dispositif Sylvatub est meilleur dans les départements de plus haut niveau de risque, en raison notamment de la probabilité de détecter l'infection plus importante (sensibilité). Par ailleurs, en ce qui concerne la surveillance événementielle, la surveillance par examen de carcasse, qui présente le coût unitaire le plus important, est plus efficiente que la surveillance renforcée par le réseau Sagir, en raison de sa meilleure sensibilité. Ainsi, quelle que soit l'espèce et le niveau de risque, la surveillance par examen de carcasse semble plus efficiente que la surveillance renforcée par le réseau Sagir en médiane. Toutefois, le ratio coût-efficacité moyen calculé selon la formation du chasseur montre que la surveillance renforcée par le réseau Sagir devient plus efficiente que la surveillance par examen de carcasse si le chasseur n'est pas formé à l'examen initial de la venaison pour les sangliers dans les départements de niveau 3 et les cerfs dans les départements de niveau 2 et 3 (**Annexe 14**).

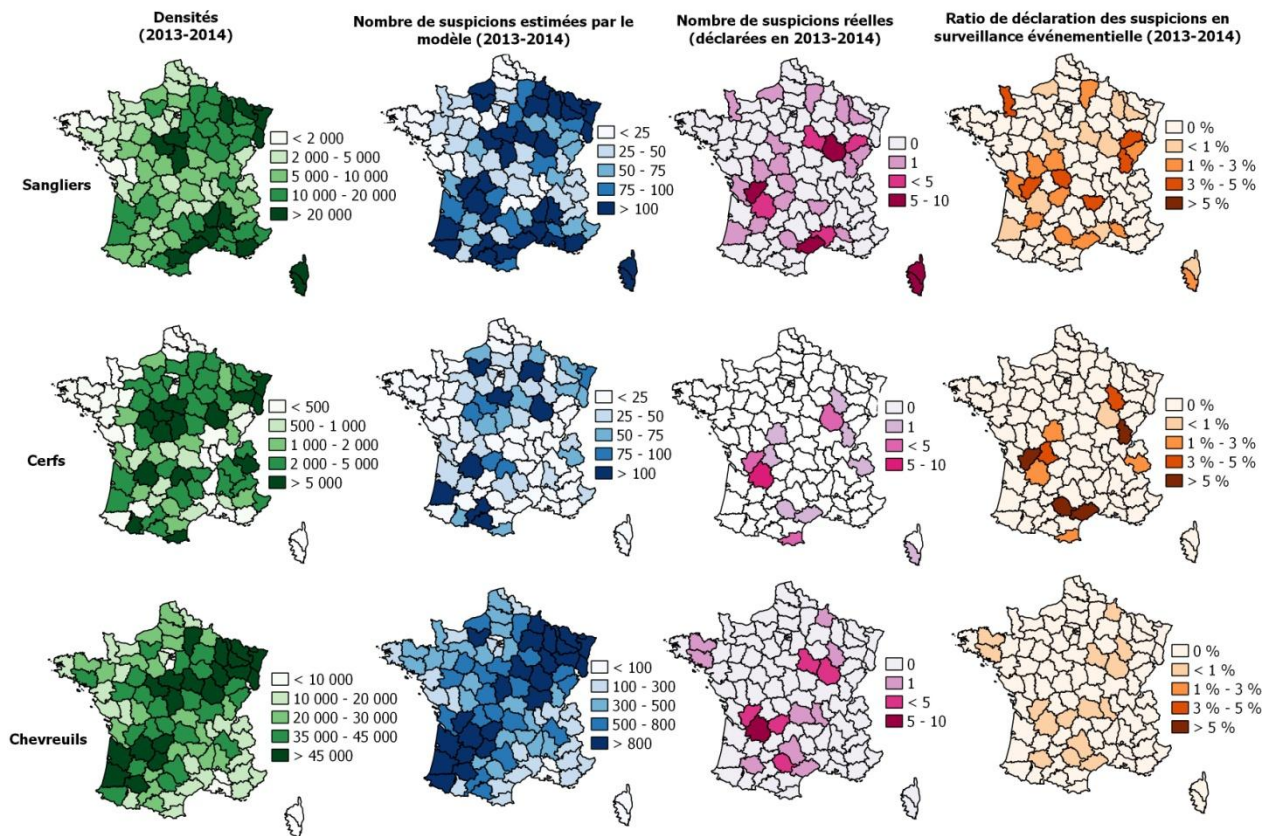
Nous avons estimé le nombre attendu moyen d'animaux qui devraient être collectés par surveillance événementielle (examen de carcasse et réseau Sagir), en fonction de la densité de chaque espèce et des paramètres fixés dans notre modèle par niveau de risque. La comparaison de ce nombre attendu d'animaux collectés en surveillance événementielle et du nombre réel d'animaux collectés par ces modalités de surveillance en 2013-2014 (**Figure 27**) montre toutefois une différence importante entre notre modèle et la réalité ; notre modèle surestimant le nombre de suspicions attendu, comme l'illustre le ratio de déclaration (nombre de suspicions déclarées en 2013-2014, rapporté au nombre de suspicions attendues d'après le modèle). Ainsi, en 2013-2014, seules 114 suspicions ont été recensées sur le grand gibier par surveillance événementielle (examen de carcasse et réseau SAGIR), dans 50 départements. Parmi ces animaux collectés par surveillance événementielle, le mode de collecte (examen de carcasse ou Sagir) n'était pas renseigné dans la base Sylvatub pour 38 d'entre eux. Il n'était donc pas possible de réaliser une comparaison fine du

nombre de suspicions attendues d'après notre modèle avec le nombre de suspicions réellement déclarées pour la saison 2013-2014. L'**Annexe 15** présente toutefois certains résultats détaillés pour chacune des composantes de surveillance événementielle.

Cette différence peut être due soit à un défaut de paramétrage de notre modèle, qui aurait conduit à une surestimation du nombre de suspicions attendues pour la surveillance événementielle (surestimation de certains paramètres par les experts, non prise en compte de certains facteurs dans les arbres de scénarios par exemple), soit à un dysfonctionnement opérationnel du dispositif sur le terrain, lié à un défaut de sensibilisation des collecteurs de données (induisant une sous-observation des suspicions) ou à un manque de communication entre les acteurs, voire un défaut d'acceptabilité du dispositif de surveillance (induisant une sous-déclaration des suspicions). En effet, la propension à déclarer des suspicions en surveillance événementielle peut être influencée par l'acceptabilité de la surveillance par les acteurs de terrain, tant d'un point de vue de ses aspects opérationnels (complexité du dispositif, conséquences opérationnelles comme un renforcement des mesures de surveillance à appliquer si un cas était détecté par exemple), que de ses aspects économiques (impact du coût des activités de surveillance sur la motivation des acteurs par exemple). L'acceptabilité de la surveillance peut également être influencée par la spécificité du système, et notamment par les coûts liés à la surveillance et la collecte d'animaux indemnes (**Annexe 16**). Par ailleurs, même si un défaut de paramétrage n'est pas à exclure, le nombre de suspicions déclarées reste toutefois faible, considérant que tout abcès devrait être considéré comme un élément déclencheur d'une suspicion pour la surveillance par examen de carcasse ; ce type de lésion n'étant pas spécifique de la tuberculose et pouvant donc être rencontré relativement fréquemment.

Ces deux facteurs opérationnels (déficit de sensibilisation et/ou de communication et manque d'acceptabilité) sont toutefois non évaluables par la méthode quantitative de modélisation par les arbres de scénarios, et nécessitent la mise en œuvre d'autres méthodes d'évaluation complémentaires pour être investigués.

Figure 27 : Comparaison entre le nombre attendu moyen d'animaux devant être collectés par surveillance événementielle (examen de carcasse et Sagir) estimé par notre modèle et le nombre d'animaux réellement collectés pour la saison 2013-2014 ; ratio de déclaration correspondant



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 certains paramètres. 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.

CHAPITRE IV.

Méthodes complémentaires d'évaluation du dispositif Sylvatub

La première partie de ce travail a porté sur l'évaluation quantitative du dispositif Sylvatub, à travers l'estimation de la sensibilité et du ratio coût-efficacité des composantes de surveillance et du dispositif dans son ensemble ; la sensibilité étant un attribut exprimant la performance de la surveillance. Si l'estimation de la sensibilité est essentielle pour apprécier la qualité de la surveillance et pour définir les composantes, voire les zones géographiques où faire porter les mesures d'amélioration de la surveillance, la méthode de modélisation par arbres de scénarios ne donne que peu d'éléments sur les mesures à mettre en œuvre pour améliorer cette sensibilité.

C'est la raison pour laquelle des méthodes d'évaluation complémentaires sont nécessaires. Ces méthodes d'évaluation permettent d'évaluer d'autres aspects du dispositif, comme par exemple la qualité du système de gestion des données, de l'animation locale ou encore la stabilité du dispositif à moyen et long termes, qui ont tous, directement ou indirectement, un impact sur la sensibilité de la surveillance. Par ailleurs, le faible nombre de suspicions recensées en surveillance événementielle (**Figure 27**) pourrait être en partie lié à une faible acceptabilité des mesures de surveillance et des conséquences d'une suspicion. Il semblait ainsi nécessaire d'approfondir l'évaluation du dispositif Sylvatub à l'aide d'autres méthodes d'évaluation, afin (1) d'effectuer un bilan de l'état de fonctionnement du dispositif, de ses principaux points forts et points faibles, et (2) d'initier une réflexion sur les leviers qui permettraient de maintenir voire d'augmenter le dynamisme local du dispositif. La compréhension des facteurs de motivation de participation au dispositif de surveillance est en effet essentielle pour entretenir la sensibilisation et l'implication opérationnelle de l'ensemble des acteurs, et permettrait ainsi d'augmenter la sensibilité de la détection des cas.

Ce chapitre présente donc deux méthodes complémentaires d'évaluation, qui ont permis d'évaluer d'autres aspects du dispositif Sylvatub :

- une méthode d'évaluation semi-quantitative du fonctionnement et des principaux attributs du dispositif : la méthode Oasis Flash ;
- une méthode d'évaluation qualitative du réseau d'acteurs du dispositif, fondée sur des entretiens semi-directifs, permettant de mieux comprendre leur perception du dispositif.

I. Evaluation semi-quantitative à l'aide de la méthode Oasis Flash

Afin d'évaluer le fonctionnement et les principales caractéristiques d'intérêt du dispositif Sylvatub, une évaluation semi-quantitative à l'aide de la méthode Oasis, dans sa variante Flash, a été réalisée et a permis d'identifier les points forts et les axes d'amélioration du dispositif.

Cette étude a fait l'objet d'un article publié dans une revue française à comité de lecture : Lhubert L., Réveillaud E., Cavalerie L., Hendrikx P., Rivière J. (2015) Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France à l'aide de la méthode Oasis Flash et recommandations. *Epidemiol. et santé anim.* **68**, 105-119.

1.1. Matériel et méthode

1.1.1. Description de la méthode d'évaluation Oasis

La méthode Oasis permet de réaliser une analyse structurée du fonctionnement et de la qualité d'un dispositif de surveillance épidémiologique (Anses, 2010 ; Hendrikx *et al.*, 2011). Elle est pilotée par une équipe d'évaluation constituée d'évaluateurs externes au dispositif, à laquelle sont associées des personnes internes représentant les gestionnaires de la surveillance. L'évaluation s'appuie sur un questionnaire détaillé, scindé en dix sections qui approfondissent chacune un ensemble d'activités du dispositif (attributs fonctionnels) et permettent de collecter les informations nécessaires à l'évaluation. Chaque section du questionnaire Oasis correspond à un nombre variable de critères (de 4 à 14 par section ; 78 critères au total) : chacun de ces critères fait ensuite l'objet d'une notation, à partir des informations collectées et d'un guide de notation standardisé. Les notes attribuées doivent faire l'objet d'un consensus entre les acteurs participant à l'évaluation (au moins un représentant du gestionnaire du dispositif, l'animateur du réseau, un évaluateur externe ; les autres acteurs devant avoir une bonne connaissance du dispositif et de ses activités de surveillance). Ces notes sont ensuite combinées pour produire trois types de graphiques, portant sur :

- le fonctionnement et la situation générale du dispositif, représentés par un pourcentage de satisfaction de dix attributs fonctionnels sous forme d'un graphique en secteur ;
- les sept points critiques d'un dispositif de surveillance, dont le score de chaque point critique est présenté sous forme d'un histogramme ;
- les éléments de performance d'un dispositif, représentés sous forme d'un graphique en radar obtenu à partir de l'association et la pondération de critères afin d'analyser dix attributs de qualité.

L'analyse des résultats de l'évaluation permet d'identifier les principales forces et faiblesses du dispositif évalué, et de proposer des recommandations générales pour son amélioration en accord avec les acteurs participant à l'évaluation. Les principales étapes d'une évaluation selon la méthode Oasis sont synthétisées dans le **Tableau 31**.

1.1.2. Spécificités de l'évaluation Oasis Flash

L'évaluation du dispositif Sylvatub a été réalisée avec la variante Flash de la méthode Oasis (**Tableau 31**). Lors d'une évaluation Oasis Flash, le questionnaire et la grille d'évaluation (Anses, 2010) sont pré-remplis à partir de recherches documentaires par une équipe d'évaluation, constituée d'un ou plusieurs membres internes au dispositif (dont un membre représentant le

gestionnaire du dispositif et l'animateur du dispositif) et un ou plusieurs membres externes au dispositif (possédant une expertise sur la méthode d'évaluation et/ou sur l'épidémiologie de la maladie surveillée) qui dirigent l'équipe d'évaluation et qui ont une voix prépondérante en cas de désaccord au sein de l'équipe d'évaluation. Les informations et les notes sont discutées et validées au cours d'une journée de réunion, réunissant les membres de l'équipe d'évaluation et une équipe de notation, constituée de plusieurs acteurs du dispositif ayant une bonne connaissance et une expérience pratique des différentes activités de surveillance.

Tableau 31 : Méthode d'évaluation Oasis et spécificités de la variante Flash (Rivière et al., 2015)

Etapes (ordre chronologique)	Supports	Acteurs (méthode classique)	Acteurs (variante Flash)
Description et fonctionnement du dispositif	Questionnaire standardisé	Pré-remplissage par l'équipe d'évaluation à partir d'entretiens semi-directifs	Pré-remplissage par l'équipe d'évaluation à partir d'une recherche documentaire
Validation par l'équipe de notation			
Notation semi-quantitative des 78 critères	Grille de notation Guide de notation standardisé	Pré-remplissage par l'équipe d'évaluation Complément par l'équipe de notation (journée de notation)	
Calculs d'indicateurs	Sorties automatiques à partir de la grille de notation, par combinaison et pondération de critères : sections fonctionnelles, points critiques, attributs		
Identification des points forts et des axes d'amélioration	Grille de notation, sorties graphiques	Propositions de l'équipe d'évaluation Complément par l'équipe de notation	
Formulation de recommandations	Grille de notation, sorties graphiques	Propositions de l'équipe d'évaluation et l'équipe de notation ; validation par un groupe ad hoc	

1.1.3. Déroulement de l'évaluation

Le renseignement du questionnaire et la pré-notation du dispositif ont été effectués par une étudiante vétérinaire dans le cadre de sa thèse d'exercice, puis validés par l'équipe d'évaluation et de notation. La journée de notation s'est tenue le 17 février 2015 de 10h à 17h, en présence des principales parties prenantes. L'évaluation du dispositif Sylvatub par la méthode Oasis Flash a fait l'objet d'un rapport d'évaluation complet (Rivière et al., 2015), présentant la composition des équipes d'évaluation et de notation et les résultats de manière détaillés, la grille d'évaluation étant également consignée en annexe du rapport.

1.2. Résultats

Les critères ont été notés de manière globale, pour l'ensemble du dispositif Sylvatub, permettant ainsi la production de sorties graphiques générales : fonctionnement et situation générale du dispositif (**Figure 28**), points critiques (**Figure 29**) et attributs de performance (**Figure 30**). Toutefois, la discussion avec les acteurs présents le jour de la réunion a permis d'affiner l'évaluation et de proposer des recommandations en fonction des niveaux de risque départementaux lorsque cela s'avérait nécessaire.

Figure 28 : Résultats de l'évaluation de la surveillance du dispositif Sylvatub selon les dix sections fonctionnelles d'un dispositif de surveillance (représentation de la proportion de satisfaction de chaque section en noir)

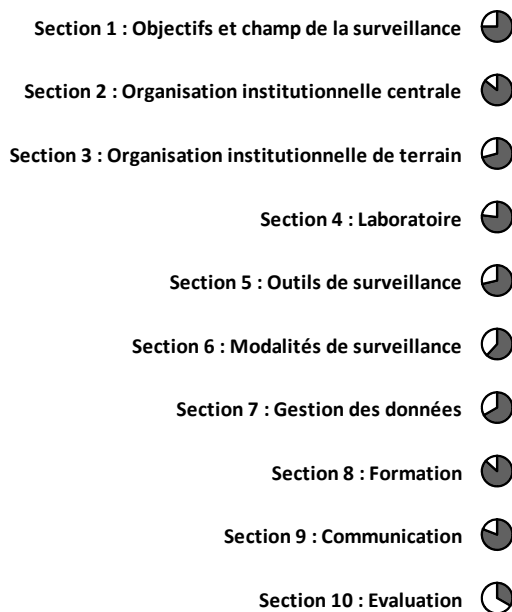


Figure 29 : Résultats de l'évaluation de la surveillance du dispositif Sylvatub selon les sept points critiques d'un dispositif de surveillance

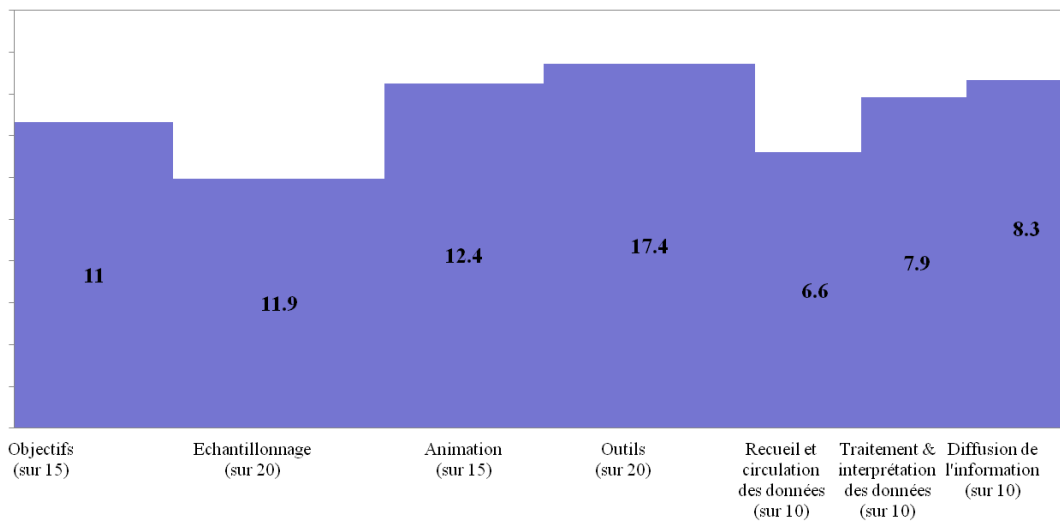
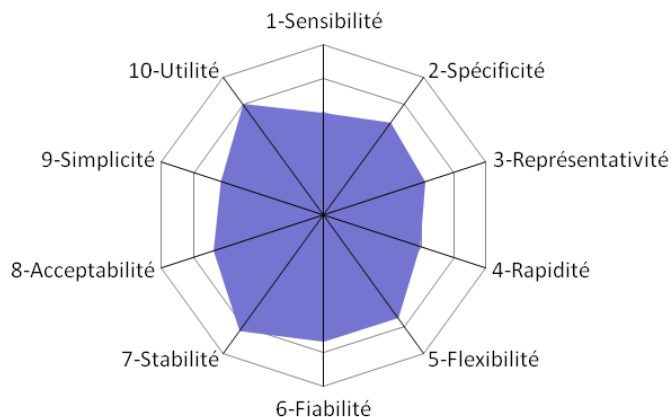


Figure 30 : Résultats de l'évaluation de la surveillance du dispositif Sylvatub selon dix attributs d'un dispositif de surveillance (représentation de la proportion de satisfaction pour chaque attribut)



1.2.1. Principaux atouts du dispositif Sylvatub

1.2.1.1. Une solide organisation institutionnelle

Le dispositif Sylvatub est caractérisé par une très bonne organisation institutionnelle centrale et une bonne organisation institutionnelle de terrain, lui conférant ainsi une bonne stabilité (**Figure 30**). Cette stabilité est due à la structuration du dispositif à travers un comité de pilotage national, une cellule d'animation et un comité scientifique et technique représentant la majorité des partenaires du dispositif et permettant ainsi un pilotage opérationnel. Le niveau central organise par ailleurs régulièrement des réunions à destination des DDecPP dans la plupart des départements, afin de maintenir une bonne dynamique d'animation locale. Ces réunions semblent toutefois insuffisantes dans la plupart des départements de niveau 1.

1.2.1.2. Des outils et protocoles de surveillance formalisés et pertinents

Le point critique « outils » a obtenu un bon score (**Figure 29**), grâce à la pertinence des modalités de surveillance mises en œuvre en fonction de la situation épidémiologique locale et la cohérence des protocoles avec les objectifs de surveillance ; la surveillance fondée exclusivement sur un dépistage lésionnel *post-mortem* ne semblant pas suffisante en milieu infecté. Ainsi, dans les départements de niveau 1 présumés indemnes, la surveillance événementielle vise à une détection précoce de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage, tandis que dans les départements de niveau de risque plus élevé, la mise en œuvre d'une surveillance programmée dans les zones à risque permet d'assurer un suivi local plus précis de l'évolution du niveau d'infection. Les définitions de cas (suspect, possible et confirmé) sont par ailleurs simples et efficaces, ce qui les rend facilement compréhensibles et utilisables par les acteurs de terrain. Enfin, les prélèvements à réaliser sont formalisés et en adéquation avec la localisation connue des lésions de tuberculose.

1.2.1.3. Un réseau de laboratoires fonctionnel

Le réseau de laboratoires participant au dispositif Sylvatub est bien défini. Tous les laboratoires réalisant les analyses sont sous assurance qualité pour les analyses tuberculose (hors activités d'autopsies), assurant ainsi une bonne harmonisation des procédures diagnostiques. La culture bactérienne, analyse réalisée en première intention, et la PCR réalisée en cas de présence de lésions évocatrices, présentent une bonne spécificité. La sensibilité de la procédure diagnostique globale est toutefois relativement faible en raison de la qualité souvent dégradée des échantillons issus de populations sauvages, phénomène particulièrement marqué dans le cas de la culture mais non spécifique du dispositif Sylvatub. Au moment de l'évaluation, l'utilisation systématique de la PCR en première intention à la place de la culture, afin de réduire les délais globaux d'analyses de six à trois mois, était déjà envisagée. Bien que le réseau de laboratoires soit pleinement fonctionnel, une insuffisance des moyens humains et financiers à disposition de certains laboratoires a été soulignée, ce qui peut influencer la gestion des données et la charge de travail de plusieurs groupes d'acteurs.

1.2.1.4. Communication, animation, formation : une triade performante

L'animation, la communication et la formation contribuent fortement au maintien de la vigilance et de la motivation des acteurs, essentielles au bon fonctionnement du dispositif. La communication permet d'une part une bonne diffusion de l'information (procédures, changements des niveaux de risque, transmission des bilans des résultats, etc.), et, d'autre part, l'entretien d'une sensibilisation satisfaisante de la majorité des acteurs dans la plupart des départements, ce qui concourt à la bonne stabilité du dispositif (**Figure 30**). L'édition d'un bulletin d'information participe également à l'efficacité de la communication, même si la régularité de parution pourrait être améliorée. Certains acteurs sont toutefois demandeurs d'une restitution plus complète des résultats individuels de surveillance, pour chaque animal collecté, notamment dans les départements de niveau 3. Les nombreux documents en accès libre sur le site internet de la Plateforme Esa (fiches techniques, diaporama illustrant les lésions évocatrices de tuberculose sur les principales espèces d'intérêt, etc.) concourent également à la formation continue des acteurs, complétée par des réunions d'animation et de coordination à destination des collecteurs de données, assurant ainsi leur sensibilisation régulière et une bonne fiabilité du dispositif (**Figure 30**). Les référents Sylvatub bénéficient d'une formation spécifique sur la prise en charge des carcasses suspectes à leur entrée dans le dispositif. Des formations non spécifiques du dispositif Sylvatub (formation à l'examen initial de la venaison et formation des piégeurs agréés notamment) permettent également aux acteurs de répondre aux besoins opérationnels du dispositif.

1.2.2. Principales faiblesses du dispositif Sylvatub et propositions d'amélioration

1.2.2.1. Une surveillance hétérogène

La surveillance par le dispositif est très hétérogène, à la fois en fonction des niveaux de risque (moindre implication opérationnelle de certains départements de niveau 1), mais également en fonction des acteurs impliqués dans les composantes de surveillance au sein d'un même niveau de risque. Cette disparité a des conséquences à plusieurs échelles :

- le nombre de suspicions déclarées en surveillance événementielle est très hétérogène selon les départements et les collecteurs de données, les procédures de déclaration n'étant pas maîtrisées par tous les acteurs, notamment dans les départements de niveau 1 ;
- le taux de réalisation de la surveillance programmée est hétérogène en fonction des départements et des espèces, même si le taux de réalisation à l'échelle nationale est supérieur à 95 % ;
- les activités de coordination et de supervision centrale, à destination des DDecPP, sont parfois jugées insuffisantes dans certains départements de niveau 1 ;
- l'implication opérationnelle des DDecPP est variable selon les niveaux de risque, et parfois pour des départements d'un même niveau. Le degré d'animation et la fréquence des réunions à destination des collecteurs de données sont souvent jugés insuffisants dans les départements de niveau 1. Par ailleurs, une hétérogénéité est également rapportée en termes d'application des protocoles prescrits par la note de service, de validation et de transmission des données à l'animateur ;

- enfin, le niveau de formation des chasseurs est souvent moins important dans les départements de niveau 1 ; les réunions d'animation et les sollicitations y étant moins fréquentes.

Recommandations spécifiques issues de l'évaluation :

- Augmenter le nombre de réunions de coordination et de supervision à destination des DDecPP, notamment dans les départements de niveau 1, afin de maintenir une sensibilisation régulière. Un appui par les coordonnateurs régionaux « tuberculose » et les cellules inter-régionales d'épidémiologie vétérinaire (CIREV) pourrait être envisagé ;
 - Homogénéiser le niveau d'application des activités de surveillance entre les départements, notamment en ce qui concerne la surveillance programmée ;
 - Renforcer les activités d'animation, de coordination et de supervision à destination des collecteurs de données, notamment dans les départements de niveau 1, afin de maintenir un bon niveau de vigilance et de formation des acteurs de terrain ;
 - Sensibiliser davantage les acteurs de terrain aux modalités techniques de déclaration et de transmission des informations, et à l'importance du renseignement des fiches de collecte. La mise en œuvre de formations pratiques à la reconnaissance de lésions évocatrices de tuberculose pourrait permettre d'améliorer la sensibilité de la surveillance par examen de carcasse et la qualité des données collectées.
- L'application de ces recommandations aurait un effet direct sur la sensibilité de la surveillance.

1.2.2.2. La gestion des données : une procédure lourde et chronophage

La gestion des données constitue un axe prioritaire d'amélioration du dispositif. En effet, le système actuel de gestion des données se présente sous la forme d'une base Access® centralisée, renseignée par l'animateur national, mais ne permet pas un accès facile aux résultats pour l'ensemble des acteurs et manque de fluidité, remettant ainsi en question sa stabilité à long terme. Par ailleurs, divers acteurs sont impliqués dans la saisie à l'échelon local (LDA, DDecPP, référents Sylvatub), activité particulièrement chronophage qui n'est toutefois pas valorisée car l'animateur doit effectuer une nouvelle saisie dans la base centrale. Enfin, les délais de transmission des données et de saisie ne sont pas toujours respectés, remettant ainsi en question la rapidité du dispositif (Figure 30).

Recommandations spécifiques issues de l'évaluation :

- Mettre en place un système de saisie et de gestion des données décentralisées, afin de fluidifier les procédures et de faciliter l'analyse des données à l'échelon central, mais aussi leur accessibilité aux acteurs de la surveillance afin d'entretenir leur motivation ;
 - Ajouter un échelon intermédiaire assurant certaines missions de vérification, de recherche de données manquantes et de validation des données, dans le but d'améliorer les procédures tout en facilitant leur réalisation ainsi que l'analyse des données par l'unité centrale.
- L'application de ces recommandations n'aurait qu'une influence indirecte sur la sensibilité (essentiellement en libérant du temps des acteurs qui pourrait alors être porté sur l'animation).

1.2.2.3. Une procédure de déclaration complexe et mal maîtrisée par les acteurs

La procédure de déclaration de cas suspects en surveillance événementielle fait intervenir de nombreux intermédiaires entre les collecteurs de données et l'unité centrale (référénts Sylvatub et ITD du réseau Sagir notamment), mais leur nombre est difficilement réductible de par la complexité du dispositif. Par ailleurs, bien que cela influence la simplicité et la rapidité du dispositif (**Figure 30**), cela ne semble pas constituer une limite majeure pour son bon fonctionnement. Les procédures de déclaration sont toutefois complexes, les supports de déclaration n'étant parfois pas facilement accessibles pour tous les intervenants. Les modalités techniques de transmission des informations ne semblent pas maîtrisées par tous les acteurs, notamment dans les départements de niveau 1, induisant ainsi une certaine hétérogénéité dans les procédures mises en œuvre et les informations collectées, et expliquant en partie les défauts de simplicité et de représentativité du dispositif (**Figure 30**).

Recommandations spécifiques issues de l'évaluation : Définir un plan de formation afin d'améliorer la connaissance des procédures de surveillance (modalité de déclaration et de transmission des informations aux échelles horizontale et verticale, renseignement des fiches de collecte).
→ L'application de ces recommandations aurait un impact direct sur la sensibilité de la surveillance.

1.2.2.4. Des objectifs de surveillance et un échantillonnage contraints par la réalité de terrain

Les objectifs généraux du dispositif Sylvatub sont clairs et cohérents avec l'épidémiologie et la situation sanitaire actuelle de la tuberculose bovine en France. Toutefois, des précisions pourraient être apportées aux objectifs spécifiques, notamment en ce qui concerne les espèces ciblées par la surveillance, l'échantillonnage en surveillance programmée dans les départements de niveau 2 (justification de la taille d'échantillon préconisée en fonction de la prévalence limite fixée) et la surveillance programmée dans les départements de niveau 3 (où le suivi du niveau d'infection est réalisé de manière qualitative, *vis-à-vis* d'un seuil présumé d'infection, mais ne permet pas le calcul de la prévalence avec précision). Par ailleurs, les moyens humains et matériels sont parfois jugés insuffisants dans certains départements de niveau 2 et 3 pour la mise en œuvre des mesures de surveillance programmée (manque de piègeurs volontaires notamment).

Certains défauts mineurs de couverture de la population cible ont été notés, inhérents à la surveillance de populations sauvages : certains territoires ne sont pas chassés et ne permettent donc pas la mise en œuvre d'une surveillance efficace ; la détection des animaux morts ou mourants est souvent difficile, et la collecte d'animaux de grande taille contrainte de manière pratique limitant ainsi leur collecte et réduisant la couverture de la population cible par les collecteurs ; la collecte des animaux par le piégeage ou par une activité de chasse pour la surveillance programmée peut entraîner des biais de sélection. La faible représentativité du dispositif (**Figure 30**) est ainsi en partie attribuable à des difficultés intrinsèques au mode de collecte des animaux sauvages, mais aussi à une insuffisance de déclaration des suspicions en surveillance événementielle, puisque selon les départements, 30 % à 100 % des acteurs ne transmettent aucune information.

Recommandations spécifiques issues de l'évaluation :

- Préciser les objectifs (qualitatifs et quantitatifs) de surveillance, notamment en surveillance programmée, et réévaluer l'échantillonnage correspondant si nécessaire ;
 - Initier une réflexion permettant de pallier le manque d'acteurs dans certaines zones (piégeurs volontaires en surveillance programmée notamment) ;
 - Renforcer l'animation et maintenir un bon niveau de sensibilisation des acteurs en surveillance événementielle, afin de limiter les sous-déclarations.
- L'application de ces recommandations aurait un effet direct sur la sensibilité de la surveillance.

1.2.2.5. Un défaut d'acceptabilité

L'acceptabilité générale du dispositif semble moyenne (**Figure 30**). Les défauts d'acceptabilité sont liés en partie à la difficulté de surveiller des populations sauvages, mais également aux conséquences en cas de détection d'un animal infecté. En effet :

- dans les départements de niveau 1 présumés indemnes, la détection d'un cas entraîne un changement de niveau de risque et la mise en œuvre de mesures de surveillance supplémentaires ;
- dans les départements de niveau de risque plus élevé, la détection d'un animal infecté peut entraîner le renforcement des mesures de lutte (interdiction de l'agrainage, augmentation des plans de chasse, régulation des populations de blaireaux, etc.).

Ce défaut d'acceptabilité peut se manifester par une sous-déclaration de la détection de lésions évocatrices de tuberculose par les acteurs de terrain, ce qui engendre ainsi une diminution de la représentativité et de la sensibilité du dispositif (**Figure 30**).

Recommandations spécifiques issues de l'évaluation :

- Augmenter les moyens humains et financiers pour les collecteurs de données et les laboratoires ;
 - Elargir la cible des actions de communication (grand public, GDS, vétérinaires, ...).
 - Dynamiser l'animation locale, renforcer la sensibilisation et la motivation des acteurs de terrain, notamment en augmentant le nombre de réunions de coordination, et en favorisant leur accès aux résultats de la surveillance « en temps réel » par la mise en œuvre d'un système de gestion des données plus fluide.
- L'application de ces recommandations aurait un effet direct sur la sensibilité de la surveillance.

1.2.2.6. L'évaluation, un secteur à développer

Des indicateurs de performance complets et pertinents ont été développés par la cellule d'animation, mais n'étaient pas calculés en routine au moment de l'évaluation Oasis Flash.

Recommandations spécifiques issues de l'évaluation :

- Mettre en œuvre le calcul régulier des indicateurs de performance, afin d'améliorer le pilotage opérationnel de la surveillance en routine ;
- Réaliser des évaluations externes de manière périodique.

Cette étude a permis dans un temps relativement court de mettre en évidence les principales forces du dispositif, à savoir sa structuration solide à l'échelle centrale et intermédiaire, la pertinence des outils et des protocoles de surveillance, la standardisation et la qualité des analyses de laboratoire, et la performance de la triade communication-formation-animation. Les faiblesses du dispositif et les recommandations qui en résultent portent essentiellement sur l'hétérogénéité de la surveillance intra et interdépartementale(s), la gestion des données, les procédures de déclaration, l'acceptabilité de la surveillance, l'échantillonnage et l'évaluation du dispositif. La plupart des recommandations formulées au terme de l'évaluation auraient un impact direct sur la sensibilité de la surveillance si elles étaient appliquées.

1.3. Discussion

L'évaluation par la méthode Oasis Flash du dispositif Sylvatub a permis la proposition de plusieurs axes d'améliorations et de recommandations, hiérarchisés selon leur ordre d'importance et de priorité par les évaluateurs (Lhubert *et al.*, 2015). Certaines propositions ont été intégrées à la mise à jour réglementaire de la note de service sur le dispositif, quelques mois seulement après la réalisation de l'évaluation (Note de service DGAL/SDSPA/2015-556 du 26 juin 2015).

Ces propositions ont été validées par l'équipe de notation, mais leur faisabilité pratique et leur acceptabilité doivent encore être étudiées. En effet, le renforcement de la sensibilisation des acteurs dans les départements de niveau 1 semble essentiel pour améliorer l'acceptabilité et la représentativité du dispositif (couverture de la population cible), mais l'augmentation du nombre de réunions à destination des collecteurs de données est une activité chronophage qui pourrait constituer un facteur limitant à moyen terme. Les recommandations d'amélioration du système de gestion des données apparaissent fondamentales pour assurer la durabilité du dispositif et sa flexibilité, mais nécessitent une réflexion approfondie sur les moyens techniques et la sécurité du système. Par ailleurs, la décentralisation partielle de la saisie et l'ajout d'un échelon de vérification et de validation des données à l'échelle locale doivent être acceptées par les acteurs qui seraient sollicités pour réaliser ces activités supplémentaires particulièrement chronophages. Enfin, le dispositif Sylvatub s'appuyant principalement sur des acteurs bénévoles, les recommandations concernant l'amélioration de la sensibilisation et de la motivation des acteurs de terrain apparaissent comme particulièrement importantes et doivent être étudiées avec attention (restitution individuelle des résultats de la surveillance, augmentation des moyens humains et financiers attribués à la surveillance, etc.).

1.3.1. Intérêts de la méthode d'évaluation semi-quantitative Oasis Flash

L'évaluation du dispositif Sylvatub a été réalisée à partir de la méthode Oasis, dans sa variante Flash. Dans un premier temps, le questionnaire détaillé fournit une description précise du dispositif et de son fonctionnement, puis des notes sont attribuées aux critères selon un guide de notation standardisé. Les sorties graphiques qui découlent de cette notation sont complémentaires et mettent en évidence rapidement, de manière automatisée, les points forts et les points faibles du dispositif, ce qui permet *in fine*, avec l'analyse des commentaires de l'évaluation, de proposer des recommandations d'amélioration spécifiques.

La variante Flash permet une évaluation moins approfondie que la méthode classique, mais elle est beaucoup plus rapide à mettre en œuvre, notamment dans la phase de collecte des données qui s'appuie sur des recherches documentaires et non sur des entretiens semi-directifs ; elle semblait donc particulièrement adaptée pour une première évaluation générale du dispositif. Par ailleurs, une grande majorité des informations préparées en amont par l'équipe d'évaluation (questionnaire, pré-notation de la grille) a été validée lors de la journée de notation, soulignant ainsi que la variante Flash semble tout aussi précise et pertinente que la version complète, tout en permettant un gain de temps et de moyens humains. Cette méthode « allégée » permet donc un premier niveau de diagnostic de l'état de fonctionnement d'un dispositif, en identifiant les axes d'amélioration qui peuvent faire l'objet d'une évaluation plus approfondie par la suite.

L'évaluation par la méthode Oasis s'appuie sur une équipe d'évaluation et une équipe de notation, qui sont principalement constituées des représentants des principaux organismes partenaires de la surveillance. Une certaine part de subjectivité peut donc intervenir dans l'évaluation, chaque acteur ayant une opinion particulière sur les différents aspects de la surveillance. Toutefois, cette subjectivité a été en partie limitée (1) grâce au guide de notation standardisé et aux définitions attribuées à chaque note, (2) lors de la phase de collecte des données, réalisée par des évaluateurs externes au dispositif n'ayant *a priori* aucun parti pris, et (3) lors de la journée de notation pendant laquelle les notes ont été attribuées de façon collégiale et donc validées par chaque intervenant. Par ailleurs, le consensus a été atteint assez facilement, à la fois pour la notation des attributs et pour la formulation des recommandations correspondantes.

Cette méthode s'appuie sur de nombreux critères (78 au total), permettant ainsi une évaluation approfondie du dispositif et la production de résultats complets et pertinents. Les documents standardisés servant de base à l'évaluation rendent cette méthode accessible à tous, même à des personnes novices dans le domaine de l'évaluation en santé animale. Par ailleurs, les représentations graphiques des trois types d'indicateurs facilitent la communication des résultats de l'évaluation et leur compréhension. Toutefois, dans le cadre de l'évaluation du dispositif Sylvatub, les sorties graphiques sont générales et peu discriminantes, et n'aident pas beaucoup à la communication spécifique sur les recommandations préconisées dans chacun des niveaux de risque.

1.3.2. Limites de la méthode d'évaluation semi-quantitative Oasis Flash

La version Flash de la méthode Oasis s'appuie sur des recherches documentaires pour la collecte des données, au lieu d'entretiens semi-directifs : cela permet un gain de temps notable, mais peut limiter la participation et l'acceptabilité des mesures proposées aux acteurs, ceux-ci étant peu consultés en amont de l'évaluation. Par ailleurs, l'absence d'entretien préalable et de participation à la journée de notation d'acteurs de terrain (piégeurs, lieutenants de loupeterie, chasseurs, etc.) peut induire la sous-estimation ou la non-identification de certaines faiblesses du dispositif ; certaines difficultés opérationnelles n'étant peut-être pas connues des représentants à l'échelle nationale, rendant ainsi l'évaluation moins approfondie qu'avec la version complète.

Cette méthode a permis la proposition de recommandations d'amélioration pour le dispositif. Toutefois, il serait pertinent d'évaluer la faisabilité de ces propositions, tant d'un point de vue de leur acceptabilité que du coût potentiel qu'elles peuvent engendrer.

L'évaluation du dispositif Sylvatub à l'aide de la méthode Oasis flash a ainsi permis l'identification rapide de ses principaux points forts et points faibles, et la proposition de recommandations validées de manière consensuelle par les représentants des principaux partenaires. Toutefois, l'absence d'acteurs de terrain impliqués au quotidien dans les activités de surveillance est une limite à la méthode utilisée et peut avoir restreint les recommandations opérationnelles d'amélioration du dispositif. Par ailleurs, certains aspects du dispositif nécessiteraient une évaluation plus approfondie afin de pouvoir affiner les recommandations et l'évolution éventuelle du dispositif à moyen et long termes.

La mise en œuvre de l'évaluation Oasis en parallèle d'une étude quantitative de la sensibilité a permis d'identifier des mesures à mettre en œuvre pour améliorer la sensibilité. Afin de pouvoir mesurer l'effet de la mise en œuvre de ces mesures sur la sensibilité, il conviendrait toutefois de mesurer leur impact sur les paramètres du modèle par arbres de scénarios que nous avons développé précédemment et d'effectuer un nouveau calcul avec ces paramètres améliorés, afin d'estimer le gain d'efficacité (sensibilité) qui serait permis par la mise en œuvre de ces recommandations. De même, le coût de la mise en place de ces mesures pourrait être estimé afin d'étudier la faisabilité de la mise en œuvre de ces mesures d'un point de vue économique et de compléter l'analyse coût-efficacité du dispositif.

II. Enquête sociologique auprès d'acteurs de terrain

2.1. Introduction

La modélisation par arbres de scénarios permet de représenter les prises de décisions et les choix effectués par les acteurs d'un dispositif de surveillance (déclaration ou non d'une suspicion, collecte d'un animal mort, ...). Toutefois, le comportement des individus et leurs motivations sont difficiles à évaluer et peuvent dépendre d'un grand nombre de paramètres, qu'ils soient environnementaux (type de chasse dans le département par exemple), ou propres aux individus concernés (sensibilisation au sanitaire). Par ailleurs, même si le niveau de sensibilisation peut être augmenté par des campagnes d'information ponctuelles, il paraît toutefois difficile de maintenir un bon niveau sur le long terme, ce qui peut conduire à une diminution de la sensibilité du dispositif de surveillance au cours du temps. Enfin, les résultats de l'estimation quantitative de sensibilité par la méthode des arbres de scénarios et l'évaluation du fonctionnement du dispositif par la méthode Oasis Flash ont souligné une acceptabilité limitée du dispositif, notamment en raison des contraintes liées à la détection de cas qui peuvent diminuer la propension des acteurs à déclarer des suspicions en surveillance événementielle et donc limiter la sensibilité et la fiabilité du dispositif.

Le dispositif Sylvatub s'appuie sur de nombreux acteurs volontaires, certains étant indemnisés pour leur participation au dispositif comme les piégeurs, d'autres n'étant pas indemnisés pour des activités conduites dans le cadre d'une pratique de loisirs comme les chasseurs. Il est ainsi demandé, à des acteurs privés, pour certains bénévoles et pour la plupart non concernés par le sanitaire au quotidien, de s'investir au nom de l'Etat dans la surveillance d'une maladie animale. Le caractère pluri-partenarial du dispositif Sylvatub rend par ailleurs son organisation relativement complexe. La mise en œuvre de ce réseau d'acteurs soulève ainsi plusieurs questions : ces acteurs se sentent-ils vraiment concernés par la tuberculose et sa surveillance ? Quels sont les facteurs de motivation ou les freins de leur participation au dispositif ? Comment mobiliser et maintenir la mobilisation d'acteurs volontaires à long terme ?

2.2. Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude était d'investiguer la perception de la surveillance à l'échelle locale par les acteurs parties prenantes du dispositif, ainsi que les facteurs motivationnels et les freins à leur participation au dispositif. Différentes catégories d'acteurs ont été enquêtées :

- des acteurs « collecteurs de données » : des chasseurs, intervenant à la fois dans la surveillance événementielle par examen de carcasse et par le réseau Sagir et dans la surveillance programmée sur le grand gibier ; et des piégeurs, intervenant dans la surveillance programmée des blaireaux ;

- des acteurs « animateurs » : représentants de FDC, des SD de l'ONCFS et des lieutenants de l'ovéterie ;
- des acteurs représentant l'autorité de l'Etat (DDecPP et DDT).

Afin de prendre en compte le niveau de risque, qui peut influencer l'implication des acteurs (en raison de la présence ou non de l'infection tuberculeuse et de son niveau d'importance), l'étude a été conduite dans plusieurs départements : le Gers (32), département de niveau 1 ; la Haute-Garonne (31), département de niveau 2 ; les Pyrénées-Atlantiques (64) et les Landes (40), deux départements de niveau 3 ayant une organisation et un fonctionnement différents, bien que reposant sur un même type de réseau d'acteurs.

Le nombre d'entretiens a été déterminé en fonction de la variété des situations sur le terrain : acteurs, niveau de risque, composante de surveillance. Les acteurs ont été interrogés selon la méthode des entretiens semi-directifs, entre mai et juillet 2015, par un stagiaire de l'ENSV ([Durand, 2015b](#)). Cinq thématiques principales ont été abordées lors des entretiens : la description des activités de l'acteur interrogé en lien avec la faune sauvage et le dispositif Sylvatub, le contexte local, les freins et les motivations de l'acteur pour sa participation au dispositif, ses relations avec les autres acteurs du dispositif et son ressenti sur l'intérêt et l'utilité du dispositif.

L'analyse du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub a reposé sur l'étude croisée de plusieurs dimensions :

- une dimension opérationnelle (technique), dans le cadre de la mise en œuvre d'un nouveau dispositif et de la création du réseau d'acteurs et de son fonctionnement local, qui influent sur l'efficacité de la surveillance ;
- une dimension sociale, dans le cadre de la création d'un nouveau réseau d'acteurs qui n'avaient jusqu'à la mise en place du dispositif Sylvatub pas l'occasion de travailler ensemble. L'identification de différents groupes d'acteurs et groupes sociaux ayant divers rôles dans le dispositif nécessite en effet d'analyser leurs relations et l'influence de la mise en œuvre du dispositif Sylvatub sur leurs interactions et relations ;
- une dimension économique, l'analyse coût-efficacité ayant mis en évidence le coût important de la surveillance par le dispositif Sylvatub et impliquant l'indemnisation d'acteurs bénévoles intervenant pour le compte de l'Etat dans le cadre d'une mission sanitaire ;
- une dimension politique, le dispositif reposant sur l'action de deux ministères (de l'agriculture et de l'environnement) ayant parfois des opinions ou intérêts divergents ;
- une dimension juridique, certaines activités comme le piégeage des blaireaux étant encadrées par des règles strictes pouvant être perçues comme des contraintes à la participation des acteurs.

2.3. Résultats

Le nombre et la typologie des acteurs rencontrés dans le cadre de cette étude sont présentés dans l'**Annexe 17**. Afin de respecter l'anonymat des personnes enquêtées, seuls les catégories d'acteurs et le département d'étude sont indiqués pour chaque citation mentionnée. Pour respecter la méthodologie des études en sociologie, la présentation des résultats s'accompagne d'une retranscription exacte et sans modification du langage oral de quelques déclarations des personnes interrogées, qui illustrent des points saillants de l'analyse.

2.3.1. Quelles connaissances de la tuberculose et de sa surveillance ?

Le dispositif Sylvatub s'appuie sur des acteurs de terrain peu sensibilisés au sanitaire et en particulier à la tuberculose. Les diverses formations ont permis d'informer les acteurs sur cette problématique, mais le manque de connaissances a été exprimé par plusieurs acteurs interrogés.

« Moi la tuberculose c'est une maladie mais ça s'arrête là, ça ne me parle pas. [...] Quand on a été sollicité on connaissait légèrement le sujet et on a eu quelques réunions d'informations. Après on est loin d'être des spécialistes. Parfois c'est difficile quand on rencontre des éleveurs qui voudraient des précisions. » (LL 64²)

« Ce que je retiens des formations, mon point de vue même s'il n'a rien de scientifique, c'est que le blaireau y a aucune raison qu'il soit à l'origine de la tuberculose, bien au contraire d'après moi. Sauf que maintenant que la maladie est sur le secteur, on a des blaireaux positifs qui vont maintenir une situation d'animaux positifs dans la faune qui peut faire rejaillir le problème. C'est comme ça que je le comprends. » (LL 64)

« Les gens n'ont pas été surpris lorsqu'on a trouvé un blaireau positif. Partout où on a trouvé des blaireaux positifs, il y avait des cas de bovins tuberculeux. Donc ça expliquerait un petit peu qu'on en trouve sur des bovins, y a quand même un rapport entre les deux. C'est l'histoire de la poule et de l'œuf : est-ce que c'est la vache qui a transmis au blaireau ou l'inverse, je ne sais pas. Les sangliers d'après ce qu'on raconte, je répète ce que j'entends dire, ils seraient porteurs mais ils ne transmettraient pas. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

2.3.2. Les déterminants de la participation des acteurs au dispositif

Afin que le dispositif fonctionne correctement, l'ensemble des acteurs, des collecteurs aux animateurs, doit se sentir concerné par la problématique de la tuberculose dans la faune sauvage. Nous nous sommes donc dans un premier temps intéressés aux facteurs de motivation et d'intérêt de participation au dispositif, qui peuvent *a priori* être différents selon les catégories d'acteurs.

2.3.2.1. Un sentiment d'utilité et de nécessité d'action vis-à-vis du monde agricole

La sensibilisation des acteurs de terrain semble être fortement dépendante du contexte local *vis-à-vis* de l'infection tuberculeuse : en zone infectée (niveau 3), la surveillance et la lutte contre l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage semblent indispensables, même si non suffisantes, à la lutte contre la tuberculose en élevage bovin, quelle que soit la catégorie d'acteur interrogée.

« Je le fais par solidarité avec les agriculteurs que je connais. » (Chasseur, Piégeur 40)

« On ne s'est pas posé la question du conventionnement et de l'indemnisation. On a vu comment ça se passait sur le terrain, on a vu des gens qui étaient dans la merde, on a vu des agriculteurs pleurer parce qu'ils avaient eu un cas. On s'est dit « c'est insupportable, là il faut y aller, on ne peut pas laisser ces gens dans cette merde il faut faire quelque chose ». Les gars font le piégeage parce qu'ils veulent aider leur voisin éleveur qui a la pétoche, parce qu'ils savent qu'il y a la tuberculose dans le coin. » (FDC 64)

« Je pense que la motivation d'aider les éleveurs à sortir de la tuberculose est importante pour les piégeurs. » (LL 64) ; « Se sentir utile est une motivation importante pour un piégeur. » (FDGDON 40³)

² LL : acronyme utilisé pour désigner un lieutenant de louveterie

Ce sentiment est d'autant plus fort pour des acteurs également éleveurs, qui perçoivent le blaireau comme une menace d'infection pour leur troupeau et s'impliquent ainsi davantage dans les actions de lutte et notamment de contrôle des densités de population via le piégeage.

« Je suis entouré de terriers de blaireaux vous voyez [carte à l'appui, rire]. Quand on a fait le recensement, je me suis dit ben ce n'est pas étonnant s'il y a la tuberculose comment je l'ai eu ! Faut une carte comme ça pour voir. Je suis piégeur depuis assez longtemps, mais je piégeais sans plus. Par contre quand il y a eu la campagne blaireaux, ça m'a plus intéressé, donc je m'y suis mis. Le blaireau je m'en suis quand même bien occupé, je pense que j'en ai attrapé au moins 25 sur le village en 3-4 ans. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

2.3.2.2. Une surveillance au service de la science

Plusieurs acteurs ont souligné l'importance de mieux comprendre le rôle joué par les espèces sauvages dans le cycle épidémiologique de la tuberculose comme facteur de motivation de leur participation au dispositif, que ce soit en surveillance événementielle ou programmée.

« Pour le petit et le grand gibier, les gens savent qu'on peut faire des analyses, il y a une volonté de savoir le pourquoi du comment. » (FDC 31)

« On ne savait pas où on allait, avec toutes les réserves d'usage à l'époque et qui sont encore là aujourd'hui, à savoir « qui de la poule ou de l'œuf » pour la contamination blaireau - bovin. On s'est dit qu'il fallait savoir, et pour savoir il faut chercher, et donc il faut attraper des blaireaux. Donc on est parti comme ça. » (FDC 64)

2.3.2.3. Une pratique de loisirs permettant des moments de convivialité et le partage d'une passion

Le dispositif Sylvatub s'appuie sur des acteurs volontaires, et même bénévoles pour certains, qui ne sont pas des professionnels et pratiquent la chasse ou le piégeage comme une activité de loisir, qu'ils vivent même parfois comme une passion. Les contraintes liées au dispositif ne doivent donc pas être trop importantes, pour ne pas conduire à une démobilitation de ces acteurs volontaires qui peuvent se désengager du dispositif tout en continuant à assouvir leur passion.

« Je pense que pour la majorité c'est la passion. Ceux qui ne sont pas passionnés ils ne piègent pas longtemps ou ils ne réussissent pas. » (FDGDON 40)

« Y a aussi l'effet de groupe, d'équipe, les piégeurs se connaissent tous donc si on leur demande d'être efficace et de se motiver par rapport aux éleveurs ils le font. » (LL 64)

« La formation est un peu dense pour les chasseurs. Il faut dire qu'on leur demande beaucoup de choses et ils finissent par être un peu découragés. Il ne faut pas oublier que la chasse est un loisir pour eux au départ pas une contrainte. » (FDC 40)

2.3.2.4. L'indemnisation : un élément non déterminant mais synonyme de reconnaissance

L'aspect financier (indemnisations) n'est pas perçu comme un facteur de motivation prioritaire pour la participation au dispositif.

« Le financier ce n'est pas forcément un levier. On est un territoire très rural ici. Peut-être un jour mais pas pour l'instant. » (Association piégeurs 64)

« Je pense que ça couvre les frais, très bien. Mais moi c'est plus une passion et une motivation pour lutter contre la tuberculose. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« Tous les piégeurs ne demandent pas un défraiement, c'est même la majorité. Aux piégeurs on donne les collets et les kits, et on leur demande de participer ; ils le font bénévolement. Ils savent que ce n'est pas ça qui va leur permettre d'arrondir leur fin de mois. Le piégeur c'est un bénévole par définition. » (FDC 64)

« Les indemnisations sont minimes si on fait le tour de tous les frais que ça occasionne (mécanique, voiture, pneus, carburant, temps passé) mais on fait ça parce que les gens sont motivés, [...] par rapport aux éleveurs aussi, même si le blaireau n'est pas un gibier. » (LL 64)

³ FDGDON : Fédération Départementale des Groupements de Défense contre les Organismes Nuisibles

Toutefois, l'indemnisation de l'activité de piégeage est perçue comme une forme de reconnaissance du travail fourni par les piégeurs et semble ainsi importante pour maintenir la motivation à long terme de ces acteurs.

« Les gens le font pas pour l'argent, mais ça les reconforte qu'on tienne compte de leur effort et qu'on les récompense un peu. » (LL 64)

« On se serait jamais lancé dans une animation si y avait rien eu pour accompagner les piégeurs financièrement, même s'ils le demandent pas. Nous on est plus tranquille pour demander des choses en sachant qu'on donne une contrepartie, qui va pas forcément couvrir tous leurs frais, mais pour eux c'est pas le montant, c'est le geste je pense qui est important. Ils savent qu'il y a quelque chose et qu'on les prend pas pour des guignols, qu'on profite pas de leur bonne volonté. Ça joue quand même, on donne une valeur à leur travail bénévole. » (FDGDON 40)

Certains acteurs proposent même de remplacer ou de compléter l'indemnisation par un geste qui serait plus concret, en fournissant une reconnaissance sous forme de matériel plutôt qu'une indemnisation financière.

« Pourquoi on donnerait pas des collets à ceux qui attrapent des blaireaux, plutôt qu'une gratification financière. Nous on avait déterminé un nombre de dix collets par piégeur, des fois on leur en mettait seulement trois ou quatre, y a même des fois où des piégeurs achètent des pièges. » (Association piégeurs 64)

Certains acteurs, notamment les animateurs locaux, acceptent parfois de prendre certains aspects de fonctionnement à leur charge, en gage de soutien au monde agricole.

« On y a passé beaucoup de temps mais on a rien demandé en termes d'indemnisation les deux premières années. Maintenant, on a prévenu le coordonnateur qu'il existait aussi un coût pour nous et je lui ai demandé la prise en charge des frais d'envois postaux (on a surtout des frais d'affranchissement, environ 1 000 €). Par contre on ne demande rien pour le temps passé (courriers, cartographie, distribution des kits, réunions...) : on considère que c'est notre contribution, notre pierre à l'édifice vis-à-vis de la profession agricole. » (FDC 64)

Ces divers aspects motivationnels sont ainsi synthétisés par ces acteurs :

« Les relations qu'ont les gens entre eux c'est du rendu de service : derrière cette action de piégeage, les gens piègent parce qu'ils aiment piéger, mais aussi pour rendre service. Je pense qu'il faut les deux motivations réunies, sinon ils n'y vont pas. Certains n'ont peut-être pas conscience du service qu'ils peuvent rendre, il y a des zones où il y a peu d'élevages, donc même si ça fait partie de la zone de surveillance si y a pas d'éleveur touché c'est moins motivant. Quand il y a des éleveurs touchés, y a aussi le principe de savoir ce qu'il en est au niveau des blaireaux, de connaître la situation et son rôle. » (LL 64)

« Les piégeurs, la première chose [facteur de motivation] c'est la reconnaissance proche locale. En deuxième ce qu'ils attendent surtout c'est le bilan de l'action collective à laquelle ils ont participé, sous forme de papier ou dans une réunion un peu conviviale, qui se finit par un apéro, ça fait partie des reconnaissances. A mon avis l'indemnité je le mettrais en troisième. » (FDGDON 40)

2.3.3. Les contraintes de fonctionnement et de participation au dispositif

2.3.3.1. Des contraintes pratiques, économiques et matérielles

➤ Surveillance événementielle par le réseau Sagir

Certains manques de moyens ont été recensés pour les acteurs du réseau Sagir, notamment en terme de véhicules disponibles, représentant une contrainte pratique pour la collecte des animaux.

« Les moyens c'est délicat. On a une voiture pour deux ou trois personnes, donc en monopoliser une pour aller chercher un blaireau mort ce n'est pas toujours possible. » (ONCFS 40)

« A l'ONCFS ils commencent à avoir de moins en moins de moyens, jusqu'à regarder l'essence pour les voitures. Je suis pas convaincu qu'ils aient encore les moyens pour courir la campagne pour ramasser les animaux morts et les amener au laboratoire. On s'en charge le plus souvent. » (FDC 64)

L'organisation pratique est souvent déterminée au cas par cas, et semble évolutive en fonction des besoins ressentis sur le terrain. Les acteurs s'approprient ainsi le réseau en fonction de leurs besoins et trouvent des solutions pour faciliter la mise en œuvre opérationnelle de la surveillance, traduisant ainsi leur volonté de s'impliquer dans l'amélioration du dispositif.

« On n'a pas prévu de truc particulier pour le stockage des blaireaux, parce que depuis qu'il y a Sagir on n'en a jamais beaucoup eu. Une fois on devait apporter un blaireau un vendredi soir mais le labo était fermé : c'est un collègue qui a stocké le blaireau chez lui, dans son congélateur. Si on trouve beaucoup de blaireaux à l'avenir, on s'adaptera, ce n'est pas un souci. » (ONCFS 40)

« Dans chaque voiture il y a des fiches [Sagir] mais c'est emmerdant parce qu'elles sont toujours dehors ; quand il pleut au bout d'un moment elles deviennent toutes humides. [...] En réalité les collègues ne s'emmerdent pas et ne remplissent pas systématiquement la fiche au départ, ou parfois ils ne l'ont pas dans la voiture. Je me suis arrangé pour qu'il y ait toujours des fiches au laboratoire. C'est très pratique, quand un animal arrive au labo ils savent que c'est du Sagir, ils font une fiche systématiquement, comme ça l'animal est pris en charge et on ne perd pas d'information. C'est plus facile à gérer. » (ONCFS 40)

➤ **La surveillance programmée des blaireaux, une activité chronophage**

Le piégeage des blaireaux est une activité particulièrement chronophage ; la charge de travail pouvant constituer un frein à la mobilisation des piégeurs (article 13 de l'arrêté du 29/01/2007).

« Le matin, ça prend 1h30, le temps de se déplacer et de vérifier tous les pièges. Je pars de chez moi vers 7h30 puisqu'on est tenu de vérifier dans les 2h qui suivent le lever du soleil, tous les matins. La contrainte est très forte. » (Société de chasse 64)

« Moi je suis comme tout le monde, je piège quand j'ai le temps. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

Cet aspect contraignant est parfois accompagné d'un sentiment d'échec, le piégeage étant une activité difficile où le taux de réussite est parfois très faible, ce qui peut constituer un facteur de découragement à moyen et long termes pour les piégeurs.

« Quand les piégeurs n'attrapent rien, ils se démotivent au bout d'un moment. Ils essayent un moment et après ils sont découragés, on peut le comprendre ça prend du temps. » (LL 64)

« Avant il y avait 32 piégeurs sur le canton, la dernière fois il y en avait 20, certains ont arrêté, ne piègent plus, ils en avaient marre je crois. » (LL 40)

Ces contraintes pratiques façonnent la population des piégeurs, constituée en conséquence d'une majorité de retraités, ayant davantage de temps à consacrer à cette activité chronophage.

« C'est presque que des retraités qui piègent car c'est les seuls qui ont le temps. Le gars qui travaille, il piège juste un peu comme ça le week-end. Le matin son premier travail c'est de se lever et de partir au boulot, donc aller voir les pièges avant de partir au travail c'est trop long. » (Chasseur 40)

« Ce n'est pas facile parce qu'il faudrait prendre plein de notes, les piégeurs doivent noter la distance parcourue, le nombre de passages, etc. Certains ça les embête un peu de remplir tout ça, surtout les personnes un peu âgées. C'est une contrainte supplémentaire, faut y penser. » (LL 64)

Des manques de moyens (matériel) ont parfois été mentionnés, ainsi que certains retards d'indemnisation pour les piégeurs, qui semblent toutefois bien acceptés par les acteurs de terrain.

« Le matériel ça fonctionne un peu au compte-goutte, il y a des périodes où on manque parfois de matériel. Par exemple au début on m'a donné deux ou trois pièges mais moi quand je vais piéger j'en place une dizaine, plus on place de collets et plus on a de chance d'en attraper. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« J'ai reçu de la part de l'administration un document à remplir avec un rib à fournir, j'ai tout donné et puis j'ai pas eu de nouvelles. J'ai eu aucune indemnisation sur toute la campagne, mais j'ai continué à piéger sur la campagne suivante. » (Société chasse 64)

« Les piégeurs étaient assez compréhensifs sur les quelques difficultés d'indemnisation rencontrées. On n'a pas eu de remarque ou de plainte sur les anomalies. » (DDPP 64)

Ces différentes contraintes conduisent ainsi à une mobilisation difficile de la population de piégeurs pour la surveillance programmée dans les zones à risque.

« On a commencé à faire du piégeage de blaireaux l'année dernière. Il y a eu beaucoup de gens qui nous ont dit qu'ils ne voulaient pas piéger, et qui nous ont fait comprendre qu'il ne fallait pas trop les emmerder. Les mecs ils veulent faire ça quand ils veulent ; nous on suit de loin, on ne peut pas être derrière chaque piégeur. Pour que ça marche il faut des piégeurs responsables. » (ONCFS 40)

« Sur la commune j'ai 4 piégeurs vraiment actifs, et 2-3 qui font ça par intermittence. Certains ne sont motivés par le piégeage que sur leur propriété et ne veulent pas trop aller au-delà. J'ai du mal à les motiver. » (LL 64)

Des solutions ont été mises en œuvre par les acteurs de terrain pour pallier ces difficultés dans la mesure du possible, et essayer de limiter les contraintes pratiques.

« Quand on s'est réparti les terriers, on a essayé de prendre les terriers les plus près du domicile, pour faciliter les déplacements. » (Société de chasse 64)

« On n'a pas forcément mis les congélateurs chez les louvetiers car c'était parfois très loin de chez les piégeurs. On a donc positionné les congélateurs d'une manière plus stratégique, pour que ce soit mieux réparti géographiquement et plus simple pour les piégeurs. Il faut simplifier l'organisation, car on fait appel à des bénévoles. » (FDGDON 40)

2.3.3.2. Des contraintes réglementaires

Plusieurs acteurs ont mentionné la complexification de leur environnement de travail, qui semble évoluer d'une pratique de loisir à une pratique contraignante, sans cesse remise en cause par des évolutions réglementaires.

« Les textes c'est un petit peu délicat : la DGAI nous donne des textes, l'Office nous en donne d'autres, et ensuite il y a la DDCSPP. Donc ça fait trois textes à gérer, ce n'est pas facile. Parfois c'est un peu contradictoire, pour moi en dernier ressort c'est ma DDCSPP la référence, parce que c'est au niveau départemental que ça se gère et qu'en réalité l'argent vient de là. Je me sens loin de la DGAI. » (ONCFS 40)

« La partie procédure moi... ils vous envoient 300 pages à lire par ordinateur, c'est bien gentil mais moi j'ai 57 ans, c'est pas comme si j'en avais 20. Lorsque j'ai fini ma journée le soir, j'en ai ras le bol, je le fais parce que je ne peux pas faire autrement. Mais quand vous avez un truc de 300 pages à mettre en œuvre, quand vous êtes sur le terrain vous êtes tout seul en fait. [...] En plus j'ai l'impression quand je les lis qu'il y a des choses contradictoires. Moins il y a de documents sur le terrain et mieux c'est. » (ONCFS 40)

Cette complexification de l'environnement réglementaire suscite des questionnements profonds chez les acteurs, qui doivent tenir à jour leurs connaissances en continu et se sentent parfois un peu dépassés par les aspects administratifs et réglementaires, alors qu'ils pratiquent pour la plupart initialement ces activités par passion et dans un cadre de loisir.

« Cette incompétence me pèse, je ne sais pas comment faire. C'est un empilement de compétences, ça va plus vite maintenant. Il y a plus de prérogatives, et si vous voulez être compétent il faut pouvoir les suivre et se mettre à jour. Le fait de maîtriser un dispositif prend un certain temps, c'est une question d'appropriation. [...] C'est un peu crispant, moi ça me bouffe, je sens que je perds tout, il faut chaque fois se remettre en question. » (ONCFS 40)

Par ailleurs, l'activité de piégeage des blaireaux étant réglementée, elle ne peut être effectuée que sur arrêté préfectoral, ce qui nécessite des délais administratifs parfois incompatibles avec une mise en œuvre précoce de la surveillance, ce qui est parfois mal compris des acteurs.

« Là y a une raison sanitaire, donc à mon avis il me semble qu'il y a urgence, et malgré ça il faut repasser par les rouages de l'administration, avec une certaine inertie parfois. Je ne veux pas dire mauvaise volonté mais y a toujours un temps de retard par rapport à la décision qui devrait être prise assez rapidement, malgré ça il faut attendre un nouvel arrêté pour continuer le piégeage. » (Société chasse 64)

2.3.3.3. Des contraintes relationnelles entre les acteurs du dispositif

« A partir du moment où ça rentre dans l'humain, il y en a toujours qui sont susceptibles. » (ONCFS 40)

Des contraintes relationnelles ont été mentionnées par de nombreux acteurs, qu'elles concernent une même catégorie d'acteurs...

« Si demain il faut faire du piégeage de blaireaux dans notre département, ça sera difficile à mettre en œuvre parce qu'il y a deux sociétés de piégeurs qui se bouffent le nez et c'est un grand problème, notamment pour la FDC : quand les associations de piégeurs font des réunions, personne ne veut y aller parce qu'on sait qu'on aura des emmerdes derrière et que notre action va être interprétée. Le piégeage se ferait quand même si c'est nécessaire, mais ça se ferait dans la jalousie, une association de piégeage essaiera de piquer le boulot à l'autre, de tirer la couverture à soi. » (FDC 32)

... ou des catégories d'acteurs différentes : les chasseurs et les piégeurs, bien qu'intervenant tous deux sur des populations sauvages, ont des activités différentes qui parfois les opposent.

« Je suis chasseur mais je connais très mal le monde du piégeage. Ce sont des passionnés, ils ont des caméras de surveillance, des machins, tout ça. Le milieu des piégeurs et la FDC ne travaillent pas trop ensemble, hélas. » (FDC 32)

« C'est deux postures différentes la chasse et le piégeage. Il y a même des chasseurs qui voient les piégeurs comme des concurrents. Ça va jusqu'à être parfois chaud dans des communes ; donc le piégeur il doit faire son activité discrètement, sinon ça peut être mal vu, alors que tout le monde a le même but au final. [...] Déjà que le piégeage est souvent assimilé à du braconnage dans l'esprit des gens, on doit le faire de façon discrète car sinon le matériel est volé ou esquivé. On se fait mal voir de certains chasseurs. » (FDGDON 40)

Ces aspects relationnels influent sur le fonctionnement local du dispositif et modèlent ainsi l'organisation pratique de la surveillance.

« Pour cette opération on a mis 170 piégeurs sur le terrain donc on était assez satisfait. Par contre, certains piégeurs n'ont pas été sollicités par les lieutenants de louveterie, c'est bien dommage, surtout que c'était pour des problèmes de personnes, relationnels : il faut dépasser ça à partir du moment où des gens se portent volontaires, il faut que les lieutenants de louveterie, qu'ils soient d'accord ou non, les acceptent. Mine de rien, c'est 10 ou 20 personnes en moins, alors qu'il y a encore des communes aujourd'hui où il n'y a aucun piégeur. Ceux qui se sont portés volontaires suite à notre demande et à qui on a dit non ne viendront plus jamais. Et aujourd'hui on manque de bras. » (Association piégeurs 64)

« Les mentalités sont parfois assez différentes d'un département à l'autre, ce qui peut expliquer les modalités d'organisation différentes ou le fonctionnement variable selon les zones. » (DDPP 64)

Ainsi, par exemple, dans le département des Landes, la mise en œuvre de la surveillance programmée des blaireaux a été difficile en raison d'un manque d'implication des lieutenants de louveterie, initialement sollicités par la DDecPP, sans toutefois que les raisons de leur non-implication ne soient clairement exprimées ni comprises ; alors que les louvetiers sont un maillon incontournable de la surveillance programmée des blaireaux d'un point de vue réglementaire.

« Ils ont préféré se reposer uniquement sur les lieutenants de louveterie bénévoles qui ne leur coûtaient pas cher. Ils ont pris l'option d'essayer mais moi j'avais des doutes connaissant la motivation des gens sur le terrain. Et ça c'est révélé, sur les 7 ou 8 louvetiers concernés il n'y en a qu'un seul qui a joué le jeu d'entrée. Ça a fonctionné deux ans comme ça, et ils ont bien vu que les objectifs étaient loin d'être atteints. » (FDGDON 40)

« Sur la réglementation tu peux pas déléguer le piégeage à une autre personne qu'un lieutenant de louveterie, même s'il n'a pas envie de bosser avec toi, t'es obligé sur le papier de dire que c'est lui. » (DDPP 40)

Une solution alternative a été trouvée dans ce département, en impliquant d'autres acteurs que ceux initialement prévus par la note de service : ainsi, la FDGDON a été impliquée dans l'animation du réseau de piégeurs agréés, à la demande du GDS qui avait perçu les problèmes de

fonctionnement. Cela souligne ainsi la mobilisation potentielle d'un grand nombre d'acteurs, et la flexibilité de l'organisation locale fondée sur une adaptabilité des situations et des acteurs.

« Je leur ai dit qu'on pouvait leur faire profiter de notre expérience d'organisation du réseau de piègeurs qu'on a eu pour d'autres espèces. Finalement on est venu s'occuper de Sylvatub à la demande de l'ALMA c'est-à-dire le GDS des Landes. [...] Je fais mention des louvetiers tout le temps et les piègeurs savent sous la responsabilité de qui ils sont. Au final je pense que le fonctionnement qu'on a réussi à mettre en place il est très satisfaisant. Moi je suis plutôt content, même vis-à-vis de la FDGDON générale, c'est un plus, Sylvatub nous sert aussi à mieux pouvoir remplir d'autres réseaux qu'on aurait à maintenir ou à créer. [...] Ce qui est agréable c'est qu'à force je ressens une totale confiance de la part de tout le monde. » (FDGDON 40)

2.3.3.4. L'animation, une activité indispensable mais chronophage

L'animation et la préparation des campagnes de surveillance, à travers l'organisation de réunions et la préparation des kits de prélèvements, est une activité jugée indispensable mais considérée comme très chronophage et parfois contraignante.

« Ça me demande de l'organisation pour gérer l'expédition des animaux dans les congélateurs au laboratoire. [...] La contrainte c'est aussi quand il faut lancer l'opération et lors du bilan car je préfère réunir tout le monde pour faire le point même si c'est pas obligatoire. Lorsqu'il faut étiqueter et fichier les blaireaux aussi, les piègeurs le font mais je contrôle toutes les étiquettes pour voir si c'est suffisamment explicite. Ce n'est pas insurmontable, je considère que c'est indispensable, au moins dans mon secteur. » (LL 64)

« On n'a pas chaque année le nombre de prélèvement attendus [surveillance grand gibier] parce qu'il faudrait sans cesse rabâcher. Il faut penser à faire le suivi régulier auprès des ACCA⁴, ça demande du temps. » (FDC 40)

« Au départ le blaireau ça ne les branchait pas trop [les lieutenants de louveterie], mais avec la tuberculose et les rapports aux éleveurs, ils se sont aperçus que c'était un sujet qui était brûlant. [...] Maintenant, à force d'aller les voir, leur demander des choses précises et personnalisées, etc. on perd beaucoup de temps à animer un réseau, mais la reconnaissance c'est important et ils ont compris l'intérêt de leur travail. » (DDPP 64)

Plusieurs louvetiers ont mentionné la lourdeur de la tâche d'animation des piègeurs et du cadre réglementaire complexe. Par ailleurs, la gestion des populations de blaireaux est une activité relativement récente pour ces acteurs, d'habitude davantage sollicités pour les sangliers notamment.

« La charge de lieutenant de louveterie est reconnue mais sans plus. Entre les battues aux nuisibles une fois par semaine, les battues aux sangliers, la surveillance des chevreuils, chapoter les piègeurs pendant toute l'année maintenant : tout ça c'est pas mal de temps et des contraintes. Ça devient un travail à temps plein du matin au soir pendant quelques mois, ça devient un peu lourd. J'ai parfois du mal à tout faire. En ce moment je me sens un peu débordé, j'ai renouvelé mon mandat pour cinq ans mais je pense que ça sera le dernier ; pas parce que ça me plaît pas mais parce que c'est trop de charges, c'est tous les jours du matin au soir. La charge de travail a beaucoup évolué et est en constante augmentation depuis dix ans. » (LL 64)

« Les louvetiers c'est des chasseurs avant tout, et le piégeage n'est pas un mode de chasse. Ça ne l'est pas juridiquement, c'est une méthode de destruction de nuisibles. C'est pour ça qu'il y a deux réglementations différentes, la réglementation du piégeage n'a rien à voir avec la réglementation de la chasse. » (FDGDON 40)

Par ailleurs, certains défauts d'organisation ou de communication ont freiné la mise en œuvre effective de la surveillance, comme l'illustre cet exemple :

« Un beau jour j'amène les blaireaux au labo, et on me dit « ah non c'est terminé pour le canton X, le quota est atteint ». Je rentre à la maison, j'appelle les piègeurs pour leur dire qu'il fallait retirer les collets et arrêter de piéger, puisque sinon on est en fraude. [...] Le lendemain j'ai reçu un coup de fil du labo, qui m'a dit qu'en fait il en manquait dans certaines communes. Déjà au départ on savait pas qu'il y avait des quotas, et le lendemain on me dit qu'il en manque : c'est un mauvais fonctionnement. C'est une chose à éviter, parce que les piègeurs ils ont déjà assez de mal, donc si on leur fait enlever le collet pour les remettre le lendemain ils se posent des questions. Et moi je ne suis pas très à l'aise, parce que c'est moi qui donne les infos ensuite. Je trouve ça absurde, ça fonctionne mal. » (LL 64)

⁴ Association communale de chasse agréée

La charge importante de travail liée à l'animation du dispositif est également ressentie par les techniciens des DDecPP dans les départements de niveau 3 notamment.

« On travaille dans des conditions dégradées depuis plus d'un an, les missions Sylvatub ont été ajoutées en supplément de celles qu'on avait déjà et il y a un déficit en personnel dans notre service. On n'a pas forcément le temps de se consacrer pleinement à Sylvatub, il faut faire des choix. On est au four et au moulin, on fait de notre mieux. Je pense que Sylvatub c'est un travail à temps plein de mars à juillet. » (DDPP 64)

« La partie paiement de clôture de campagne représente une masse de travail importante, il y a toujours des bugs sur pas mal de choses, [...] et beaucoup de commémoratifs à compléter. » (DDPP 64).

« La DGAI n'a absolument pas réfléchi à ce que c'était Sylvatub ; moi je n'ai pas que Sylvatub, c'est venu se greffer. Si on met notre doigt là dedans, c'est beaucoup de boulot, mais le boulot ce n'est pas l'administratif en lui-même c'est la présence sur le terrain ; il y a vraiment une dimension humaine. » (DDPP 40)

2.3.3.5. L'influence de facteurs exogènes au dispositif Sylvatub

➤ Des revendications externes au dispositif, parfois non exprimées

Certains acteurs n'ont pas souhaité initialement s'impliquer dans le dispositif Sylvatub suite à la sollicitation par la DDecPP, sans toutefois exprimer clairement les raisons de cette non-participation, ou en exprimant des revendications externes au dispositif, ne pouvant donc pas être facilement gérées par les acteurs administratifs en charge du dossier à l'échelle locale.

« Nous quand on les a en face [les chasseurs et en particulier la FDC] ils nous disent « oui oui c'est bien il faut qu'on travaille ensemble c'est important le sanitaire », mais dans les faits ils veulent exprimer certaines de leur revendications à travers Sylvatub. L'année dernière, on les avait sollicité pour ce plan [Sylvatub], ils ont dit oui, j'ai fourni le matériel et on a rien vu arriver. Lorsqu'on fait une réunion on les invite et ils ne viennent pas. Je trouve ça bien dommage. Le problème c'est qu'on n'a pas de vision claire de pourquoi ça bloque ; il n'y a pas forcément de revendication particulière et ils ne nous disent pas qu'ils ne veulent pas faire. » (DDPP 40)

« Avec la fédération on ne sait pas pourquoi ça bloque, c'est très compliqué, ils ont des revendications qui sont autres que du sanitaire, ce n'est pas un problème d'organisation. C'est par rapport aux chasses traditionnelles, aux tirs de nuit, qui n'est pas un sujet DDCSPP, c'est plutôt avec la DDTM. » (DDPP 40)

➤ La problématique du classement de la Martre dans les Pyrénées-Atlantiques

En décembre 2014, la commission départementale de la chasse et de la faune sauvage (CDCFS) a proposé le maintien du classement de la Martre des pins (*Martes martes*) comme animal nuisible dans le département des Pyrénées-Atlantiques. Toutefois, le MEDDE a à l'époque refusé cette demande, ce qui a suscité de vives réactions de la part des acteurs de terrain, qui n'ont pas compris cette position et l'ont vécue comme un manque de confiance à leur égard. Les représentants du monde cynégétique (piégeurs et chasseurs) ont alors menacé de suspendre leur collaboration avec les services de l'Etat dans la régulation des espèces causant des dégâts, et ont ainsi refusé de participer au dispositif Sylvatub tant que leur voix ne serait pas entendue sur le dossier de la Martre.

« Le ministère de l'environnement, sans nous avertir, a changé les règles du jeu et considère que la Martre ne sera pas piégeable sur notre département. La réaction a été épidermique mais c'est lié aux coups qu'on prend depuis une dizaine d'année. Depuis dix ans le ministère de l'environnement n'a de cesse que de mettre des mesures contraignantes. C'est la goutte qui a fait déborder le vase. » (Association piégeurs 64)

« On a toujours répondu présent, on a toujours joué le jeu, mais on se rend compte que ça ne sert pas forcément. Ça vient mettre en doute un travail qu'on a fait de manière la plus sérieuse et honnête qui soit, et ça vient surtout s'accumuler à toute une série d'écueils qu'on a subit depuis quelques années, et qu'on a accepté tant bien que mal, parce qu'on respecte les lois et les règlements, y compris quand on n'est pas d'accord. Aujourd'hui malheureusement ça passe plus. Si on continue comme ça à prendre des coups bas, il va y avoir un désengagement, une perte de confiance de l'association et des piégeurs vis-à-vis de leur administration de tutelle. On perdra beaucoup pour des raisons bêtement idéologiques. » (FDC 64)

Toutefois, comme évoqué précédemment, l'une des premières motivations de participation au dispositif Sylvatub est la nécessité d'agir par rapport aux éleveurs bovins. L'action de blocage initiée par le milieu cynégétique a été faite avec l'accord des représentants des éleveurs, prévenus avant le début des démarches pour ne pas créer de tension avec le milieu agricole.

« Avant de faire quoi que ce soit j'ai été voir les éleveurs, le GDS et la chambre d'agriculture en leur disant que le seul moyen de pression que j'avais était le dispositif Sylvatub : ils ont signé tous les trois. » (Association piégeurs 64)

« Aujourd'hui on envoie un message à l'administration parce qu'on en a marre, on ne le fait pas sans gêne notamment vis-à-vis des acteurs qui mouillent la chemise, mais nous on n'en peut plus : on se désengage vis-à-vis de la commande publique, il n'y a pas assez de confiance ; par contre on ne se désengage pas vis-à-vis de la profession agricole, si un gars nous appelle on y va. » (FDC 64)

Il semblerait par ailleurs que ce refus de participation au dispositif soit un moyen politique de pression sur l'Etat, les acteurs cynégétiques étant conscients de leur rôle et de leur utilité dans le dispositif Sylvatub : ainsi, il semblerait que même si cette position de blocage avait été maintenue par les représentants, elle n'aurait que très peu été suivie sur le terrain.

« Je lui ai demandé ce qu'ils faisaient [dans le 64], parce qu'arrêter le piégeage c'est tout ce que les défenseurs de l'environnement attendent, alors que là il y a une cause sanitaire. Il m'a dit qu'ils feraient le piégeage, mais en attendant Sylvatub sert de moyen de pression qu'ils peuvent utiliser. » (FDGDON 40)

« Cette année je ne sais pas comment ça va se passer parce qu'il y a un conflit entre la fédération et la DDTM. Ça ne m'inquiète pas beaucoup car pour les piégeurs que je connais, quel que soit le message, le piégeage ils vont le faire. Peut-être pas à 100 %, mais si moi je leur dis qu'on a un arrêté et qu'on peut piéger, ils vont aller sur le terrain. L'un des piégeurs, c'est l'oncle d'un éleveur qui a des vaches, donc ce n'est pas parce qu'ils vont recevoir une lettre du Président de l'asso des piégeurs qu'ils ne vont pas aller piéger. » (LL 64)

2.3.4. Des acteurs principalement bénévoles : quelles conséquences ?

« Je trouve les acteurs relativement impliqués. Le dispositif repose, hormis la convention, que sur du bénévolat donc ça reste fragile sur du long terme. Il faut remercier sans arrêt, transmettre de l'info. » (DDPP 64)

La surveillance événementielle par examen de carcasse repose sur la détection et la déclaration de lésions évocatrices de tuberculose par des chasseurs, acteurs bénévoles non formés au sanitaire. Dans la plupart des départements, la sensibilisation des chasseurs est considérée comme correcte et suffisante pour permettre la détection de carcasses suspectes de tuberculose.

« Dans notre département les chasseurs ont pris l'habitude de nous remonter les animaux morts et toutes les anomalies avec le réseau Sagir. Des fois ils nous remontent trop de suspicions même, parfois c'est seulement des coccidioses simples ou des pasteurelloses. Ils ont pris ce réflexe de nous signaler tout animal malade, moribond ou mort donc ils nous signalent naturellement les anomalies qu'ils découvrent lors de l'éviscération, on n'a pas de difficulté par rapport à ça. » (FDC 64)

« Je pense que les chasseurs regardent s'il y a des lésions ou non sur les carcasses. Ils sont sensibilisés à ça par les formations, le message est passé. Ils ne vont pas y perdre du temps mais ils regardent s'il y a des nodules sur les poumons et le déclarent si c'est le cas, surtout dans les communes concernées mais il peut y avoir des communes où c'est moins le cas. J'ai confiance dans leur procédure. » (LL 64)

Toutefois, la déclaration des suspicions pour la mise en analyse des carcasses suspectes n'est pas systématique et semble dépendre de divers facteurs, comme le temps disponible et la zone concernée (zone d'infection tuberculeuse ou non), et surtout de la volonté même de l'acteur ; même si le « doute » et la « peur » ont fréquemment été mentionnés comme raisons à la déclaration.

« Même sans faire la formation, les chasseurs ne consomment pas les carcasses avec lésions : dans le doute, selon les personnes, certains vont les jeter, d'autres vont les faire analyser. Personnellement je suis pour faire les analyses, c'est toujours bien de savoir. [...] Le fait de faire analyser une carcasse douteuse c'est plus une question de volonté et de temps libre qu'une question de coût d'analyse. » (Éleveur, chasseur, piéreur 40)

« Je pense que lorsque certaines personnes découvrent des anomalies sur une carcasse, ils peuvent décider de la jeter. Je pense que si c'était la tuberculose, par exemple des ganglions anormaux, les chasseurs appelleraient mais quelqu'un m'a déjà dit qu'il avait vu des points blancs sur un chevreuil et qu'il l'avait jeté donc on a jamais su ce que c'était. » (FDC 31)

« Il faut qu'il y ait de grosses lésions pour que ce soit détecté, car après la battue on a tendance à expédier les choses, les gens pensent plutôt au repas de chasse et au moment de convivialité qui suit. » (LL 64)

« Pour certains chasseurs, si il y a un doute, ils écartent, mais ils ne vont pas systématiquement contacter la fédé. » (FDC 40)

« Récemment des chasseurs ont trouvé des sangliers morts à quelques jours d'intervalle. Les deux premiers ils les ont balancé, par contre ils sont venus à la DDPP avec le troisième dans une glacière : ils étaient penauds et ils commençaient à avoir peur. » (FDC 32)

Il semblerait que la peur des conséquences en cas de détection de l'infection soit plus importante dans les départements de faible niveau de risque, limitant ainsi davantage l'acceptabilité de la surveillance.

« On a un problème particulier dans ce département, c'est que justement il n'y a pas de problème [sanitaire et de tuberculose], donc les chasseurs sont moins enclins à déclarer s'ils voient quelque chose, par peur des conséquences. Je pense que les chasseurs ont peur qu'on leur impose des contraintes s'ils trouvent quelque chose sur un sanglier. Dans les zones touchées, les chasseurs sont sensibilisés, c'est différent. » (FDC 32)

« Si un jour il y a une opération table rase [référence à l'abattage total en forêt de Brotonne], les chasseurs n'auront plus envie de participer c'est une certitude. » (FDC 31)

« Je ne pense pas que les gens ont peur des mesures contraignantes si on trouve quelque chose. » (Éleveur, piéreur, chasseur 40)

2.3.5. Un réseau d'acteurs récent : quels enjeux ?

Le dispositif Sylvatub est un dispositif récent, mis en place en 2011, s'appuyant sur des acteurs qui n'avaient auparavant que peu l'habitude de travailler ensemble et qui ne se connaissaient donc pas : le réseau d'acteurs ainsi créé est donc relativement récent et nécessite un positionnement de chacun de ces acteurs les uns vis-à-vis des autres.

2.3.5.1. Un contexte, des a priori et des incompréhensions handicapant le bon fonctionnement du dispositif et la mise en place de bonnes relations entre les acteurs

➤ La tuberculose bovine, source d'inquiétude voire de psychose

La tuberculose bovine est perçue comme une source d'inquiétude importante pour les acteurs agricoles mais également pour les acteurs cynégétiques, qui tourne même parfois à la psychose et génère des tensions entre les acteurs, qui s'accusent mutuellement d'être à l'origine du problème.

« Quand on a commencé à rechercher la tuberculose sur les sangliers, tout le monde a pensé que ça voulait dire que les sangliers avaient la tuberculose [rire] : on recherche la tuberculose donc tous les sangliers ont la tuberculose. C'est difficile de rassurer les gens après, ce n'est pas facile de leur expliquer que c'était de la recherche. Ça crée une sorte de psychose. » (Éleveur, chasseur, piéreur 40)

« Moi ce que je ne comprends pas, c'est pourquoi maintenant qu'on trouve des blaireaux positifs, y a pas plus de pressions pour le classer nuisible parce qu'on pourrait le piéger, et s'il l'avait été depuis plusieurs années peut être qu'on n'en serait pas là de la tuberculose aujourd'hui. » (Éleveur, chasseur, piéreur 40)

« On met les chasseurs au boulot mais ça n'est pas eux les responsables du problème ; il aurait peut-être fallu régler le problème en élevage avant d'accuser la faune sauvage. » (FDC 40)

« Certains éleveurs ont fait part de leur inquiétude, car ils ne maîtrisent pas tout, notamment avec cette composante faune sauvage. Ils se rendent compte qu'ils sont tributaires du milieu cynégétique. » (DDPP 64)

« Ça fait peur parce qu'on ne sait pas si l'épidémie va continuer de s'étendre, quels animaux peuvent être touchés, on se demande si c'est grave parce que y a 50 ans les anciens nous disaient qu'il y avait de la tuberculose et que ça les empêchait pas d'être éleveurs. Certains me demandent si ce ne seraient pas les hérons blancs qu'on trouve dans les prés qui transmettent la maladie, je leur réponds que non [...]. Il faut dédramatiser mais on sent bien que tout le monde est suspect, il y a une psychose. » (FDC 64)

➤ **Un manque de connaissance du milieu cynégétique**

Les éleveurs attendent une participation active des acteurs du milieu cynégétique dans la lutte contre la tuberculose dans la faune sauvage, mais ne connaissent parfois pas bien les missions de ces acteurs et les contraintes correspondantes, ce qui peut susciter des tensions importantes.

« Les éleveurs sont demandeurs, pour eux il faut piéger tous les blaireaux. Ils le demandent directement aux chasseurs parce qu'ils font l'amalgame entre blaireaux, gibier et chasseur. Le premier qui prend, c'est le président de société de chasse, c'est pas le piégeur. Par exemple un Président de société de chasse s'est fait apostropher par un éleveur qui a eu son troupeau abattu, de façon assez agressive, parce qu'il ne piégeait pas. Certains éleveurs pensent qu'on a le droit de piéger le blaireau n'importe comment, mais qu'on piège pas parce qu'on n'a pas envie, ils sont pas forcément bien informés sur le fait qu'on a pas le droit. Les gens n'ont pas conscience que quand il faut qu'on piège on intervient sur une demande de l'administration. » (LL 64)

« Les éleveurs savent que c'est une activité bénévole le piégeage, mais ils estiment aussi que les piégeurs et les chasseurs doivent être de leur côté, ils ont souvent donné ou cédé les droits de chasse à la société de chasse donc ils attendent un retour. » (LL 64)

2.3.5.2. Les relations entre les acteurs cynégétiques et les éleveurs

➤ **Des acteurs cynégétiques sensibilisés au sanitaire, au service des éleveurs**

Les acteurs cynégétiques semblent pour la plupart sensibilisés aux problématiques sanitaires et se définissent eux-mêmes comme étant au service des agriculteurs et des éleveurs.

« Les chasseurs sont sensibilisés au sanitaire, ils sont soucieux de la faune sauvage. » (FDC 31)

« J'ai attrapé un blaireau positif et ensuite il y a eu contrôle en comparative sur tout le secteur. Y a jamais personne qui est venu me faire une réflexion parce qu'on faisait ça à cause du blaireau. Au contraire même y a pas mal d'éleveurs qui sont contents que je piège et même m'encouragent ou me disent « tiens là y en a un d'écrasé par une voiture, va le ramasser, etc. ». » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« Les gens sont au courant, le fait de surveiller le gibier c'est quelque chose d'ancré dans le village. Quand il y a un cas de tuberculose, ça se sait à des kilomètres à la ronde, tout le monde est plus ou moins choqué et sensibilisé à cette problématique, les chasseurs y compris. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« Nous on est au service des agriculteurs. » (FDGDON 40)

➤ **Un fossé de plus en plus important entre le monde de la chasse et le monde agricole**

Les relations entre acteurs cynégétiques et éleveurs sont toutefois de plus en plus difficiles, notamment car de moins en moins d'agriculteurs sont actuellement également chasseurs, ce qui complique la communication entre ces deux mondes.

« Il y a une bonne moitié des agriculteurs qui ne se rendent pas compte de l'utilité qu'a le chasseur. Il y a aujourd'hui tellement peu d'agriculteurs chasseurs que je ne crois pas qu'ils aient conscience de tout ça. A la louche au moins la moitié des agriculteurs ne savent pas ce qu'est un lieutenant de louveterie. » (LL 64)

« Y a un truc qui joue contre nous c'est que ça manque d'éleveurs chasseurs, y a de moins en moins d'éleveurs qui chassent. Y a un décalage qu'est en train de se faire. » (DDPP 40)

« La fédération a communiqué auprès des instances agricoles pour sensibiliser les éleveurs. Ce qui est paradoxal c'est que le monde agricole ne chasse pratiquement plus. On a le sentiment qu'ils viennent se plaindre, ils viennent nous chercher ; on les incite à venir, à participer aux battues. Il faudrait faire plus de sensibilisation pour que tout le monde participe. Tout le monde pourrait y trouver son compte. » (FDC 40)

➤ **Une mobilisation des éleveurs hétérogène et parfois difficile**

Certains éleveurs s'impliquent dans les activités de surveillance, soit en passant l'agrément pour réaliser le piégeage au sein de leur exploitation, soit en surveillant simplement les pièges posés sur leur exploitation par des piégeurs agréés, dans le cadre de la délégation de surveillance.

« On forme de plus en plus les agriculteurs au piégeage. Ils interviennent eux-mêmes sur cette opération Sylvatub, c'est hyper important. » (FDC 64)

« On a eu des agriculteurs cette année dans le cœur central (géographique) des opérations qui ont bien compris qu'il fallait qu'ils nous aident. On s'est beaucoup battu pour la délégation de surveillance, c'est très important. On peut mailler beaucoup mieux le terrain. » (Association piégeurs 64)

« Il y a quelques éleveurs qui me surveillent les pièges. Y en a quand même qui se sentent concernés un petit peu même s'ils ne sont pas piégeurs. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

Toutefois, il semblerait qu'une partie des éleveurs soit difficile à mobiliser, même pour réaliser une surveillance des blaireaux dans leur élevage, ce qui ne constituerait, *a priori*, pas une contrainte trop forte pour eux. Les actions de piégeage et de chasse semblent ainsi s'adresser principalement à des acteurs passionnés, et aux acteurs vraiment concernés par la tuberculose.

« Des éleveurs piégeurs j'en vois très peu. Je ne comprends pas parce que ces gens ils sont sur le terrain. Les éleveurs ça les concernent quand y a des cas chez eux, les autres ils se posent pas trop de questions. » (LL 64)

« Les agriculteurs ne sont pas très motivés. Ils vont surveiller les collets un jour ou deux, après ils arrêtent si y avait rien. Moi personnellement je me lasse de leur demander de surveiller les pièges, j'ai demandé plusieurs fois et j'ai tout le temps été déçu jusqu'à maintenant. » (LL 40)

« Malheureusement, y a pas d'éleveurs qui se sont mis à piéger (qui piégeaient pas avant) suite à la découverte du cas de tuberculose sur le blaireau du village. C'est difficile de motiver les gens pour piéger. On est trois piégeurs sur le village, les autres ils s'en foutent. L'un est éleveur, l'autre non. Il y a de la mobilisation pour me dire tiens là y a des blaireaux, mais eux ne font pas. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« C'est vrai que si on trouve un blaireau positif, les éleveurs auront des contrôles. C'est un problème et une contrainte ce contrôle de troupeau [...], ça leur fait peur, et c'est peut être pour ça qu'ils ne veulent pas nous dire s'ils voient des blaireaux. » (LL 40)

2.3.5.3. Le positionnement difficile de la DDecPP

Les acteurs cynégétiques n'avaient, jusqu'à la mise en œuvre du dispositif Sylvatub, que peu de contacts avec la DDecPP, ce qui a généré des difficultés à la mise en œuvre opérationnelle initiale du dispositif. Par ailleurs, la DDecPP est souvent considérée comme l'autorité administrative, synonyme de réglementation, contraintes et contrôles, ce qui n'inspire pas la confiance des acteurs cynégétiques et l'intégration fonctionnelle des agents en charge du dossier à la DDecPP.

« On s'est découvert : au niveau DDPP on ne se connaissait pas, on ne se côtoyait pas, on avait très peu l'habitude de travailler ensemble. Certains louvetiers, pas tous, ont freiné des quatre fers parce que leur donneur d'ordre habituel c'est la DDTM ; la DDPP ils ne la connaissaient pas. Je dirais que c'était simplement un problème de fonctionnement, de compréhension, et puis c'est rentré dans l'ordre et tout le monde s'y est mis. La première année faut déjà qu'on apprenne à se connaître, à travailler ensemble entre piégeurs, louvetiers, DDTM, DDPP, FDC... Bon voilà ça a été un peu compliqué. » (FDC 64)

« Je ne sais même pas s'il y a un référent Sylvatub à la DDPP, c'est moi qu'on appelle. » (FDC 32)

« Le problème, c'est que si tu parles pas leur langage et si t'es pas sur le terrain, c'est difficile. Une fois que t'as le contact humain, ça passe. Il faut réussir à trouver des portes d'entrée par rapport à ce milieu. Mais ils nous voient encore comme des gens moralisateurs, qui viennent imposer des choses. » (DDPP 40)

« On a une mauvaise image : on est dans l'administration donc on contrôle, on ne connaît pas le milieu etc. On part avec un handicap sur le plan communication. Pour essayer de motiver les acteurs, on essaie de faire au mieux même si on fait comme on peut, mais je sais pas si c'est bien perçu. » (DDPP 64)

« Mon sentiment au début c'était que j'étais la 5^{ème} roue de la charrette. Un des défauts de la campagne précédente, c'est qu'il y avait trop d'acteurs sur le dispositif. Les lieutenants de loupeterie nous voient peu, nous on est dans les bureaux. Le fait de rencontrer physiquement les gens facilite les choses. » (DDPP 64)

2.3.6. Les facteurs de maintien de la sensibilisation des acteurs à terme

2.3.6.1. Une attente de reconnaissance

Le sentiment d'utilité pour le monde agricole ressenti par les acteurs non-éleveurs suscite un besoin de reconnaissance.

« Pour les piégeurs c'est important qu'on informe les éleveurs de leur travail. Il faudrait présenter aux éleveurs le volume de piégeage que ça représente, le nombre de personnes qui y ont participé, les kilomètres parcourus ça en jette aussi. Ils sous-estiment le travail des gens qui s'impliquent auprès d'eux. Je pense que ça jouerait sur la fidélité des piégeurs et leur motivation. » (FDGDON 40)

« Le dispositif si on avait l'impression d'avoir le retour il serait très bien vécu. Le problème c'est qu'on a l'impression d'être toujours les mêmes à ramer dans un sens, et avoir d'autres qui freinent de l'autre, donc à un moment c'est plus possible. Les bras s'épuisent, lassitude c'est le terme. Si notre rôle doit se contenter à être des serveurs pour une cause générale et que ce qui nous anime n'a plus de raison d'être sur la partie plaisir, à un moment donné on pourra plus donner et on ne voudra plus. Qu'on ne soit pas enfermé dans une simple case de régulateur de la faune sauvage, on n'est pas là pour ça. » (FDC 64)

« J'ai l'impression que mon travail n'est pas reconnu par les gens ici. » (Chasseur, piégeur 40)

2.3.6.2. Une attente d'information et de communication plus développée

La communication sur les résultats de la surveillance semble importante pour les acteurs.

« Les acteurs sont avides des résultats. Quand je viens chez eux prendre des prélèvements, ils me demandent souvent s'il y a eu des positifs dans le coin ou autre part. On les fait participer dans un but de gestion sanitaire, ça passe dans leur congélateur, ils veulent savoir ce qu'il en est. » (FDGDON 40)

« Ils sont demandeurs d'un retour, ils s'intéressent un peu plus qu'à leur action stricte. » (DDPP 64)

Un manque d'information et de communication a toutefois été mentionné par de nombreux acteurs, que ce soit en surveillance événementielle ou programmée.

« Je reçois tous les résultats de labo mais j'aimerais bien avoir des retours sur ce qui se passe dans les autres départements. Avoir des informations Sylvatub dans les autres départements, c'est difficile. » (FDC 32)

« Ce qui manque, au niveau du piégeur et au niveau des présidents des sociétés de chasse pour la partie grand gibier, c'est le retour d'information. Les résultats d'analyses arrivent très tard, [...] et parfois la saison de chasse est finie depuis longtemps. Il y a des réunions d'information avec des partenaires, dont nous, les piégeurs, les louvetiers, les GDS, la chambre d'agriculture, etc. pour présenter les résultats mais par contre à tous les piégeurs qui ont participé et aux présidents des sociétés de chasse il n'y a pas de remontée ou de redescende individuelle de l'information. Les termes dans les courriers sont trop compliqués pour eux, quand on commence à leur parler de spoligotype, de taux de prévalence, de réservoir... » (FDC 64)

« J'ai senti un manque de communication sur les résultats. Pour que les choses marchent bien, c'est du contact verbal, c'est appeler, on vous remercie, etc. Il ne veut pas des félicitations mais de l'information. Je pense que si y a pas cette communication on risque de perdre ces gens là. » (FDC 31)

« On a eu ce discours des présidents, qu'ils trouvaient que la redescende de l'info était tronquée, partielle, qu'ils avaient du mal à s'y retrouver. Ils ont reçu cette carte multicolore qui était globale. Je vais être très terre à terre mais le président du secteur X il s'en fout de savoir qu'il y a eu un sanglier positif sur un autre secteur. Il préfère avoir moins d'info mais une info plus ciblée et plus localisée sur son secteur plutôt que l'info globale du département. Après lui dire qu'il y a eu 15 sangliers positifs sur le département ok, mais sur les 15 il y en avait trois autour de chez lui, et combien de positif sur son secteur. » (FDC 64)

Certains acteurs ont même proposé de mettre en place un système de communication plus adapté et ludique pour les acteurs de terrain. Ce type de communication existe toutefois déjà, à travers un bulletin d'information édité de manière régulière et diffusé auprès des partenaires nationaux du dispositif, qui ont à leur charge de transférer ce document à leurs adhérents. Il semblerait donc qu'il y ait un déficit de communication à ce niveau, qui pourrait pourtant être facilement réglé et permettrait de maintenir l'intérêt des acteurs pour le dispositif.

« Il faudrait peut-être avoir une lettre d'information par exemple sur la tuberculose, qui circule à tous les présidents de société de chasse sur un mailing, une fois par an, et nous on le rebalance à tous les présidents de société de chasse. Un truc ludique par exemple ; là il y a quelque chose à faire. » (FDC 32)

« Moi je n'ai jamais entendu parler de ce bulletin Sylvatub, je l'ai jamais vu. Je pense que ceux qui sont en mailing président société de chasse et administrateurs seraient heureux de recevoir ça. Il faudrait que le bulletin soit diffusé plus largement. » (FDC 32)

De même, certains acteurs sont demandeurs de supports d'information et de formation, à relayer auprès de leurs adhérents.

« J'avais fait la demande lors d'une réunion avec la DDPP, lors du passage en niveau 2, d'un document propre à envoyer auprès de nos formés sur les trucs à regarder par rapport à la tub. On nous a dit 'ouioui' et plus rien. Je n'ai pas eu de diapo spécifique, de belle vidéo. Je pense que ça serait pas mal d'avoir un pdf, en montrant des exemples, des points à contrôler, ... ça permet de réactiver le relationnel avec les gens. » (FDC 31)

Les acteurs sont également demandeurs d'une communication plus large auprès d'autres catégories d'acteurs, notamment les éleveurs, afin de présenter l'importance de leur implication.

« Autre point important, sur lequel j'ai pas mal de remontées du milieu agricole : il faudrait trouver le moyen d'informer les agriculteurs sur les communes où y a des problématiques, j'en réfère au dernier mail que j'ai reçu, où tous les agriculteurs le savent pas. Il faut passer le message et diffuser l'information par le maire ou le président d'ACCA ; les gens directement concernés n'étaient pas à la réunion. Ça nous a été reproché dernièrement : pourquoi les agriculteurs ne sont pas conviés aux réunions ? Il faut aussi une communication au GDS, aux gens locaux, aux présidents locaux et communaux. » (Association piégeurs 64)

2.3.6.3. Une attente d'une plus forte implication des éleveurs

Le manque d'implication des éleveurs, premiers acteurs concernés par la lutte contre la tuberculose dans la faune sauvage, est souvent mentionné par les acteurs cynégétiques, qui attendent une plus forte implication de la population agricole à leur côté.

« Moi si j'étais éleveur, j'irai le faire [le piégeage] au moins autour de chez moi, ça ne me demanderait pas un gros investissement en temps, seulement un petit détour. » (LL 64)

« Ce que je regrette c'est qu'il n'y ait pas assez de sensibilisation des éleveurs, qu'ils se motivent pas plus pour faire le stage de piégeage. Ils ont l'info mais ils ne veulent pas le faire. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« Aujourd'hui on essaie de recruter dans le milieu agricole des éleveurs de bovins concernés directement par Sylvatub pour qu'ils passent l'agrément piégeur : on leur dit « écoutez vous avez le feu directement dans votre foyer, maintenant on va vous apprendre comment l'éteindre. » (DDPP 40)

2.3.6.4. Un maintien de la sensibilisation fortement dépendant du contexte local

Dans le département du Gers (département de niveau 1), la difficulté principale du maintien de la vigilance et de la sensibilisation des chasseurs pour la surveillance événementielle semble être l'absence de cas d'infection dans la zone, ce qui souligne le facteur d'utilité comme élément déterminant de la participation au dispositif et de l'implication opérationnelle des acteurs.

« La pression d'observation du gibier chassé est suffisante actuellement à condition de maintenir la vigilance. J'en parle régulièrement aux acteurs de terrain mais il faut les maintenir en pression parce sinon lorsqu'ils trouvent un truc bizarre lors d'une battue ils se disent « bon on ne va pas se faire chier avec ça, c'est l'heure de l'apéro, on met ça à la poubelle et on n'en parle plus ». S'il y avait un élevage atteint de tuberculose à côté ce serait différent. La difficulté c'est de garder une motivation pour le peu de cas qu'on peut découvrir. » (FDC 32)

« Le problème c'est le maintien de la motivation et de la vigilance ; le problème c'est que pour l'instant il n'y a pas de répercussion dans le département. » (FDC 32)

« Dans cette zone on est tous proche d'un éleveur concerné par la tub, donc les gens sont sensibilisés. » (LL 64)

2.3.6.5. Le duo « collecteur – animateur », clé du dynamisme local

Afin de maintenir une bonne sensibilisation et une motivation des collecteurs, le rôle des animateurs locaux est fondamental. Ce maillon intermédiaire, entre les agents administratifs des DDecPP ou des DDT et les collecteurs de terrain, est indispensable ; les collecteurs ayant plus confiance dans leur institution départementale qu'en des représentants de l'autorité administrative, qu'ils connaissent finalement peu et qui sont perçus parfois négativement par les acteurs de terrain.

« J'ai un rôle explicatif : mon rôle est d'expliquer aux chasseurs qu'il est important de bien faire l'examen initial et d'être réactif. Ils ont besoin d'être rebriefés régulièrement pour ça. Le souci c'est de faire comprendre qu'il faut qu'ils parlent des problèmes qu'ils rencontrent sur l'examen de la venaison, ça ne doit pas être une source d'emmerdes pour eux, plutôt un apport positif. » (FDC 32)

« On organise chaque année des formations et des réunions régulières avec les Présidents de sociétés de chasse et on met l'accent sur l'importance de nous signaler des carcasses anormales. Ils ont tous le numéro de portable du technicien du secteur [FDC] ou de l'ITD. » (FDC 64)

« J'ai l'impression que ce dispositif repose malgré tout sur la FDC. Le vrai relai c'est l'association des piégeurs et l'association des chasseurs. » (Association piégeurs 64)

« Après une année de fonctionnement, je veux reprendre contact avec tous les piégeurs et comparer avec le fichier de prélèvements de blaireaux, et voir tous ceux qui n'ont pas eu de prélèvements et pour connaître l'explication. Savoir si on peut répondre à une attente qu'ils n'ont pas eu, dont ils n'ont pas la réponse, qu'est ce qui a fait défaut, ou est ce que c'est juste la disponibilité qui a manqué... » (FDGDON 40)

2.3.6.6. Le relationnel, la clé d'une bonne surveillance

Le bon fonctionnement du réseau d'acteurs et la bonne entente relationnelle entre les différentes catégories d'acteurs impliqués sont fondamentaux pour assurer l'efficacité de la surveillance. La disponibilité semble également être une attente importante des acteurs.

« Il faut son réseau pour que ça marche. Je ne peux pas travailler par mail et tous ces machins là, j'ai besoin d'avoir le contact humain, sans ça je ne peux pas travailler. Je n'impose rien aux collègues. Ils savent que je fais partie de Sagir, ils font un peu ça pour me faire plaisir, pour que ça marche bien pour moi. J'ai de bons contacts avec eux, sinon ils me diraient peut être que le blaireau mort ce n'est pas leur priorité. » (ONCFS 40)

« On a de très bons contacts [avec les chasseurs], je tiens à ce que ça reste comme ça. On ne peut pas travailler sans eux, de toute façon la maille est faite par les chasseurs. » (ONCFS 40)

« Je ne suis pas le seul à m'occuper de l'organisation du piégeage, la FDC a aussi un rôle, on est complémentaires. On se complète et on intervient les uns les autres dans nos formations. » (FDGDON 40)

« Le travail de l'association des piégeurs vaut de l'or pour nous en termes de structuration, d'animation, de transmission d'informations, c'est irremplaçable. La réglementation relative au piégeage est en perpétuelle évolution, c'est l'asso de piégeurs qui prend le temps d'informer les piégeurs de ces évolutions réglementaires. C'est fondamental pour nous d'avoir une asso sur laquelle on peut compter. » (FDC 64)

« Il y a cette dimension d'animation de ce réseau qui est une dimension humaine, et les gens ils aiment bien. Tu vas aller parler Sylvatub, blaireau, et tu peux te retrouver à parler pendant une demi-heure. Moi je suis persuadé d'un truc, l'animation tu l'as quand tu es proche des gens. Après il faut prendre le temps d'y aller. T'as la réglementation et après t'as l'aspect humain derrière, c'est plus important, ça peut t'ouvrir pleins de portes. Ce qui est important c'est la présence humaine et la disponibilité. » (DDPP 40)

2.4.6.7. Une inquiétude quant à l'avenir

Certains acteurs ont fait part d'une inquiétude quant à la suite de la surveillance et de la lutte contre la tuberculose, à la fois dans la faune sauvage, mais également de manière générale.

« L'année prochaine je sais pas ce qui va se passer. Si j'en rattrape et qu'ils ne sont pas positifs, j'imagine qu'on ne sera pas sous surveillance, dans une zone très sensible ici... on l'a été parce qu'il y avait eu un cas positif. Ça serait intéressant de poursuivre la surveillance sachant qu'il y a eu quand même trois cas en élevage bovin. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« On est sur un public vieillissant, c'est une population bénévole, vieillissante, la relève est pas forcément là avec ce que la société actuelle nous offre en termes de loisirs. Certains disent que la tuberculose on en a encore jusqu'en 2035 mais je ne sais pas qui restera dans les rangs à ce moment là ; c'est long comme échéance. On peut se demander qui va piéger si ça doit durer 20 ans. Le début ça va, entre la motivation et le rendu des résultats, mais après ça va être long. » (DDPP 64)

« J'ai l'impression qu'on est partis pour faire du suivi mais qu'est ce qu'on fait pour le reste ? » (FDC 40)

« C'est pas demain la veille qu'on saura qui contamine qui entre les blaireaux et les bovins. Est-ce qu'on aura un jour une réponse ? » (Société de chasse 64)

Certains acteurs manifestent également une certaine inquiétude quant à l'évolution du dispositif Sylvatub et sa complexification potentielle.

« J'ai peur qu'on tombe dans la même pieuvre que l'ensemble de la tuberculose actuellement. La gestion de la tuberculose, c'est devenu un mammoth, ce n'est pas évident à gérer sur le terrain. Je trouve que c'est trop compliqué donc je pense que l'intérêt c'est que Sylvatub soit une affaire simple et ludique puisqu'on la confie à des gens de terrain qui ne sont pas des scientifiques ; il ne faut jamais oublier ça. » (FDC 32)

« Je ne veux pas être obligé de faire toute une infrastructure et prévoir tout un tas de trucs, une organisation complexe alors que ça va peut être pas marcher et qu'il n'y aura peut être pas beaucoup de blaireaux à collecter. » (ONCFS 40)

« Je pense que ça manque de cohésion entre Sagir et Sylvatub, les différents acteurs ne sont pas assez reliés. Sagir et Sylvatub ce n'est pas assez emmêlés ces trucs là. » (FDC 32)

2.3.7. Le dispositif Sylvatub : quelle utilité ?

La plupart des acteurs enquêtés ne remettent pas en cause l'utilité du dispositif Sylvatub.

« Je pense que Sylvatub est nécessaire et que c'est un bon outil. » (FDC 32)

« Je pense que c'est un sujet [Sylvatub] qui réconcilie les chasseurs et les piégeurs, parce que l'arrêté nomme la méthode d'utilisation du collet comme unique méthode possible et pas le tir. » (FDGDON 40)

« La surveillance de la tuberculose c'est vraiment utile (dans la faune sauvage), il y a trop d'éleveurs qui ont été touchés, y en a plusieurs qui ont arrêté. » (Chasseur 40)

« Je pense que les gens ont l'impression que c'est utile de faire ça. Déjà celui qui est éleveur c'est sur, je vous dis on tremble tous par rapport à la tuberculose donc si c'est un moyen de la faire régresser, les gens sont pour. » (Eleveur, chasseur, piégeur 40)

« Sylvatub ça permet de travailler sur une base plus scientifique, d'avoir un travail un peu plus structuré et parlant (recensement des terriers, cartes IGN...). Même les piégeurs se disent qu'il y a du sérieux là-dedans, que ce n'est pas du bricolage. Je pense que ce système a permis de mieux cibler notre recherche. » (DDPP 40)

« Je crois que Sylvatub est utile. Je l'ai perçu dans les réunions où sont présents les éleveurs. » (FDGDON 40)

« Avant les gens avaient plutôt tendance à détruire les carcasses anormales, mais maintenant certains ont le réflexe de demander des analyses pour savoir le pourquoi du comment. » (FDC 31)

« Sylvatub c'est le premier bébé que la DGAI, la FNC et l'ONCFS font ensemble, mais après il va y en avoir d'autres. » (ONCFS 40)

L'étude du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub a ainsi permis de mettre en évidence divers éléments importants à prendre en compte pour le maintien de leur sensibilisation à moyen et long termes :

- le dispositif semble être perçu comme utile, voire comme nécessaire, par la majorité des acteurs ;
- de nombreuses contraintes pratiques et réglementaires inhérentes à la surveillance ont été mentionnées par les acteurs de terrain, mais sont souvent en partie compensées par un sentiment d'utilité vis-à-vis de la lutte contre la tuberculose dans la faune sauvage ;
- les acteurs du monde cynégétique attendent une connaissance voir une reconnaissance de leur travail par les éleveurs ;

- les éleveurs, premiers acteurs concernés par la surveillance et la lutte contre la tuberculose dans la faune sauvage, sont pour certains peu impliqués dans ces activités ;
- la communication et l'information locale auprès des acteurs cynégétiques, mais également auprès des éleveurs et du « grand public », semble importante à renforcer ;
- l'animation est une activité très chronophage mais indispensable au maintien de la motivation et de la participation des acteurs.

2.4. Discussion

2.4.1. Méthode d'évaluation qualitative par entretiens semi-directifs

Les entretiens semi-directifs ont l'avantage d'être relativement flexibles, par rapport à des questionnaires d'enquêtes fermés ne permettant pas une liberté de réponse très importante, et permettent de guider la discussion autour de thématiques préalablement définies en fonction des objectifs de l'étude (Ghiglione et Matalon, 1998 ; Becker, 2002 ; Beaud et Weber, 2003 ; Kaufmann, 2011). Cette méthode semblait ainsi particulièrement adaptée pour l'étude de la perception d'un dispositif nouveau et de la compréhension du réseau d'acteurs. Les thématiques ont été définies suite à un premier entretien exploratoire avec l'animateur du dispositif, la référente nationale tuberculose de la FNC et le coordonnateur régional « tuberculose » pour la région Sud-Ouest.

Le nombre prévisionnel d'entretiens n'a pas été atteint, mais cela a *a priori* peu d'impact sur la qualité des résultats. En effet, à la différence d'une étude par questionnaire, les entretiens semi-directifs ont principalement pour objectif d'étudier l'opinion ou le comportement des acteurs : l'analyse étant qualitative, le nombre d'entretiens dépend ainsi de l'intérêt des personnes enquêtées et de leur point de vue, et non de la représentativité de l'échantillon (de nouveaux entretiens ne sont plus nécessaires à partir du moment où il n'y a plus de nouvelles idées exprimées) (Glaser et Strauss, 1967 ; Guest *et al.*, 2006). Ainsi, dans ces approches qualitatives, la qualité de l'échantillon est plus importante que la taille de l'échantillon (Côte et Turgeon, 2002). Certaines personnes avaient par ailleurs de multiples compétences (par exemple : éleveur, chasseur, piégeur ; **Annexe 17**), ce qui a permis d'aborder plusieurs thématiques au cours d'un même entretien et donc de réduire le nombre d'interviews réalisées.

L'analyse des entretiens a consisté en une retranscription des enregistrements et une analyse du contenu manifeste (exprimé) par thématique, en fonction des catégories d'acteurs, pour étudier les différents ressentis et identifier les incohérences ou contradictions. Des biais liés à l'enquêteur peuvent avoir influencé les réponses des personnes enquêtées, en raison de sa prise de position ponctuelle (mention de ses liens avec l'administration) et de sa forte implication dans le dialogue (monopolisation ponctuelle du temps de parole). Par ailleurs, l'enquêteur a principalement axé les entretiens sur la surveillance des blaireaux et le piégeage ; les aspects relatifs à la chasse ayant moins été investigués.

2.4.2. Résultats et recommandations

Le caractère pluri-partenarial du dispositif Sylvatub rend son organisation particulièrement complexe. Le dispositif implique la mobilisation de plusieurs types d'acteurs (**Figure 11**), sur des périodes relativement longues, ce qui nécessite une compréhension et une appropriation par chaque acteur des procédures qu'il a à mettre en œuvre pour une bonne réalisation des activités de surveillance. L'animation locale par les lieutenants de louveterie, les agents des FDC et des DDecPP semble être l'élément fondamental pour le bon fonctionnement du dispositif au niveau local et pour assurer l'implication opérationnelle des acteurs de terrain. Cette activité est toutefois ressentie comme étant compliquée et souvent très chronophage, même si tous les acteurs interrogés la considèrent comme nécessaire au maintien du dynamisme local.

Plusieurs activités de formation (théorique et pratique) ont été proposées aux acteurs de terrain depuis le lancement du dispositif, et diverses activités de communication et de restitution des résultats sont régulièrement effectuées. Il semblerait toutefois que ces dernières ne soient pas assez développées : la communication pourrait ainsi être étendue à un public plus large, afin notamment de fédérer davantage les acteurs cynégétiques et les éleveurs.

La surveillance par le dispositif Sylvatub semble être perçue comme utile, voire comme nécessaire, par l'ensemble des acteurs interrogés. Les intérêts des différentes parties prenantes semblent être bien perçus et compris, ce qui représente un enjeu décisif pour maintenir leur implication dans le dispositif à long terme. Toutefois, les activités de surveillance demandées aux acteurs du dispositif, souvent non professionnels et bénévoles, sont parfois perçues comme des contraintes supplémentaires qui peuvent constituer des facteurs de démobilitation à plus ou moins long terme si leur travail n'est pas reconnu à sa juste valeur, ou si les contraintes dépassent les bénéfices qu'ils peuvent en tirer (considérant qu'ils pourront continuer à effectuer ces activités de loisir, sans pour autant s'impliquer dans le dispositif). Ainsi, la reconnaissance du travail fourni par les acteurs cynégétiques, par des activités de communication, des indemnisations ou toute autre forme de reconnaissance, est fondamentale à maintenir et à développer.

Il semble par ailleurs que la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir soit mal comprise par les acteurs, qui ont déjà du mal à distinguer la surveillance événementielle par examen de carcasse et la surveillance événementielle par le réseau Sagir et ne perçoivent pas forcément l'utilité de l'ajout de cette mesure de surveillance intermédiaire, dite « renforcée », appliquée par ailleurs seulement sur certaines espèces et dans certaines zones.

La poursuite de la surveillance par le dispositif Sylvatub présente un enjeu fondamental pour assurer une meilleure compréhension du rôle épidémiologique des espèces sauvages dans le cycle de la tuberculose et pour participer à la lutte contre la tuberculose à la fois dans la faune sauvage mais également en élevage bovin. Toutefois, la durabilité du dispositif peut être limitée par la mobilisation importante des ressources humaines et financières dans les départements très infectés, et par les activités chronophages demandées à des acteurs pour la plupart bénévoles. Il faut également

prendre en compte l'importance de l'évolution de la surveillance (changement de niveau) sur l'impact comportemental, sociologique, relationnel et économique des acteurs de terrain.

Cette étude réalisée auprès des acteurs impliqués dans le dispositif Sylvatub, à différents niveaux de la surveillance, a permis de mieux comprendre leur perception du dispositif et les facteurs motivationnels ainsi que les freins de leur participation à la surveillance, afin d'initier une réflexion sur les leviers permettant d'augmenter le dynamisme du dispositif et d'entretenir la sensibilisation de l'ensemble des acteurs, pour améliorer la sensibilité de la détection de cas.

L'acceptabilité et la faisabilité opérationnelle de la surveillance sont en effet indispensables au bon fonctionnement et à l'efficacité de la surveillance à moyen et long termes. Afin d'obtenir un engagement fort et durable des différents acteurs locaux, ce type d'étude semble nécessaire afin d'analyser et de mieux percevoir les facteurs de mobilisation et d'investissement des acteurs pour la surveillance, notamment dans le cadre de dispositif reposant sur un réseau d'acteurs pluripartenarial particulièrement complexe comme Sylvatub.

Cette étude a ainsi permis de compléter l'évaluation quantitative du rapport coût-efficacité de la surveillance, en permettant d'évaluer d'autres attributs du dispositif et de comprendre la rationalité de certaines décisions politiques et opérationnelles. Les facteurs socio-économiques et comportementaux peuvent en effet influencer la motivation des acteurs de terrain dans leur participation au dispositif et leur propension à déclarer des suspicions, et sont donc à ces titres fondamentaux à prendre en compte dans l'évaluation d'un dispositif de surveillance. Toutefois, même si cette étude a permis d'affiner et de mieux comprendre les premiers résultats obtenus avec les évaluations semi-quantitative et quantitative, ses résultats qualitatifs semblent difficiles à intégrer et à associer à ceux précédemment obtenus.

CHAPITRE V. Discussion générale

I. L'évaluation du dispositif Sylvatub à l'aide de méthodes complémentaires

1.1. Enjeux de l'évaluation du dispositif Sylvatub

Ce travail a consisté en l'évaluation du dispositif Sylvatub, visant à la surveillance de l'infection à *M. bovis* chez les sangliers, les cerfs, les chevreuils et les blaireaux en France métropolitaine. Sylvatub est un dispositif récent et pouvant être considéré comme « complexe » car reposant sur plusieurs composantes de surveillance, événementielles ou programmées, appliquées seules ou de manière combinée selon une analyse de risque locale, concernant diverses populations animales sauvages à l'état libre et différents groupes d'acteurs pour la plupart volontaires et non formés spécifiquement aux activités de surveillance.

L'évaluation de ce dispositif de surveillance était particulièrement importante, car l'existence de populations sauvages infectées peut empêcher l'éradication de la tuberculose en élevage bovin, comme cela est le cas dans plusieurs pays (Gortazar *et al.*, 2012 ; EFSA, 2013 ; Ciliberti *et al.*, 2015). 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 tuberculose à l'échelle d'un pays (Naranjo *et al.*, 2008 ; Gortazar *et al.*, 2012 ; Fitzgerald et Kaneene, 2012). Alors que la surveillance des espèces sauvages n'est pas définie d'un point de vue réglementaire au plan européen, à la différence de la surveillance en élevage bovin, des dispositifs de surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage ont été mis en œuvre dans plusieurs pays (Rivière *et al.*, 2014a), notamment dans des pays où la présence de l'infection dans la faune sauvage libre a été constatée. Toutefois, considérant le coût que représenterait un dépistage systématique à grande échelle, il est utile d'analyser les efforts d'investigation au regard des objectifs et des plans d'échantillonnage (Thulke *et al.*, 2009).

La gestion des maladies de la faune sauvage est ainsi essentielle pour la prévention des maladies pouvant diffuser aux animaux de rente ou pour la préservation de la santé publique en cas de zoonose. L'obtention des connaissances nécessaires à la gestion appropriée 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. La plupart des méthodes existantes pour la surveillance et la gestion des maladies humaines et animales (animaux de rente) ne sont pas applicables sur les animaux sauvages libres (impossibilité d'effectuer un dépistage systématique, dispersion géographique des populations, difficultés d'accès aux animaux pour leur observation

et/ou la réalisation de prélèvements). 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). Enfin, l'opinion publique prend souvent position, à travers les médias, contre certaines mesures de lutte pourtant nécessaires (abattages massifs notamment), ce qui ne facilite pas, par voie de conséquence, la mise en œuvre de mesures de surveillance appropriées.

L'évaluation du dispositif Sylvatub n'avait jamais été réalisée, que ce soit dans ses aspects fonctionnels ou économiques. Sylvatub étant un dispositif récent, les données de surveillance étaient par ailleurs souvent incomplètes et parfois peu fiables. Enfin, la seule composante de surveillance appliquée dans l'ensemble des départements étant une composante événementielle, il était important de prendre en compte les facteurs psychosociaux et les mécanismes comportementaux influençant la participation des différents groupes d'acteurs à ces activités de surveillance.

1.2. Synthèse des principaux résultats

L'évaluation du dispositif Sylvatub a été effectuée dans un objectif d'aide à la décision pour chacune des composantes de surveillance en permettant leur comparaison par niveau de risque et espèce animale, et pour l'ensemble du dispositif en fonction du contexte épidémiologique local. L'évaluation a été effectuée par espèce, car il existe des spécificités épidémiologiques et lésionnelles liées à l'espèce (Zanella *et al.*, 2008a) pouvant influencer le protocole de prélèvement, l'interprétation des résultats, et donc la sensibilité et la spécificité des activités de surveillance. Diverses méthodes d'évaluation ont été appliquées, afin d'investiguer plusieurs aspects du dispositif Sylvatub et de proposer des recommandations d'amélioration les plus précises possibles.

La méthode d'évaluation Oasis, dans sa variante Flash, a permis d'analyser le dispositif Sylvatub d'un point de vue structurel et fonctionnel, d'identifier les points forts et les axes d'amélioration du fonctionnement du dispositif et de formuler des recommandations générales. Ainsi, les principales propositions d'amélioration portent sur la flexibilité, la sensibilité, l'acceptabilité et la stabilité à moyen et long termes du dispositif. Elles concernent principalement la modification du système actuel de gestion des données, l'ajout d'un échelon intermédiaire local de vérification et de validation des données, l'harmonisation des activités de surveillance entre les départements, le maintien voire le renforcement de la sensibilisation des acteurs locaux dans les départements de plus faible niveau de risque et le développement de la communication, notamment la transmission des résultats individuels d'analyses aux collecteurs de données afin d'entretenir leur implication dans le dispositif.

L'évaluation quantitative de l'efficacité du dispositif Sylvatub a reposé sur la modélisation stochastique de la probabilité de détection de l'infection à *M. bovis*, sous la forme d'arbres de scénarios (Martin *et al.*, 2007a), ce qui a notamment permis de modéliser l'hétérogénéité du

processus de détection entre les espèces, les composantes de surveillance et les niveaux de risque, c.-à-d. 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.). Cette méthode a permis de prendre en compte à la fois des phénomènes biologiques (probabilité qu'un animal infecté présente des lésions par exemple), des phénomènes humains (capacité à détecter des lésions en fonction de la formation et de l'expérience du chasseur) et les processus diagnostiques. Elle a ainsi permis d'estimer quantitativement la sensibilité de chaque composante de surveillance et du dispositif dans son ensemble, tout en prenant en compte la variabilité et l'incertitude liées à l'estimation de certains paramètres. Ainsi, d'après nos résultats, la surveillance événementielle par examen de carcasse présente une bonne sensibilité collective, comparée à la surveillance par le réseau Sagir. Ces résultats peuvent notamment être expliqués 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). La surveillance programmée réalisée dans les départements de niveau 2 et 3 présente également une bonne sensibilité, car elle dépend de moins 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 limite) était plus élevée dans notre modèle. L'estimation de la sensibilité collective par espèce 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.

Cette méthode quantitative a également permis d'intégrer à l'évaluation les coûts moyens estimés de chaque composante de surveillance, en distinguant les activités d'animation, de collecte et d'analyse de laboratoire. Ainsi, les coûts directs des activités de surveillance du dispositif Sylvatub ont été estimés en prenant en compte des coûts fixes (mobilisation de moyens humains et de matériels) et des coûts variables en fonction du nombre d'animaux concernés (prise en charge d'une suspicion et analyses diagnostiques). L'évaluation quantitative de sensibilité a ainsi été complétée par une évaluation quantitative du coût de la surveillance et a notamment permis de calculer un ratio coût-efficacité pour chaque composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale. Ainsi, d'après nos estimations, fondées sur la saison 2013-2014 pour le grand gibier et l'année civile 2014 pour les blaireaux, la surveillance par le dispositif Sylvatub coûte environ 1 million d'euros par saison, dont 90 % sont consacrés à la surveillance programmée qui ne concerne que 10 % des départements de France métropolitaine, 9 % à la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir et seulement 1 % à la surveillance événementielle par examen de carcasse (composante qui présente le coût unitaire le plus important et est appliquée dans tous les départements français).

Enfin, l'évaluation qualitative socio-comportementale réalisée auprès des divers groupes d'acteurs impliqués dans le dispositif Sylvatub a permis de mieux comprendre la perception du

dispositif par les acteurs de terrain, et ainsi de mieux cerner les attentes des partenaires de la surveillance ; les facteurs de motivation et de blocage pouvant influencer la capacité de détection des cas ou la propension à les déclarer, et donc la sensibilité du dispositif préalablement estimée de manière quantitative par la méthode des arbres de scénarios. L'investigation de l'acceptabilité de la surveillance est en effet importante, notamment dans le cadre d'un dispositif de surveillance complexe reposant sur plusieurs catégories d'acteurs, en majorité bénévoles et non professionnels. Cette étude a ainsi montré que la plupart des acteurs considèrent le dispositif Sylvatub comme utile, voire même nécessaire, et que les nombreuses contraintes pratiques et réglementaires inhérentes aux activités de surveillance semblent en partie compensées par un fort sentiment d'utilité vis-à-vis de la lutte contre la tuberculose bovine en général et vis-à-vis de la profession agricole en particulier. Toutefois, des attentes d'une communication plus ciblée et d'une meilleure reconnaissance de la part de l'Administration ont été mentionnées par les acteurs locaux, et pourraient influencer le maintien de leur participation à moyen et long termes au dispositif Sylvatub.

L'évaluation du dispositif Sylvatub a permis la formulation de recommandations d'amélioration, dont certaines ont déjà été intégrées à la mise à jour réglementaire de la note de service encadrant le dispositif ([Note de service DGAL/SDSPA/NS 2015-556 du 26 juin 2015](#)).

1.3. Qualités et complémentarité des méthodes d'évaluation utilisées

Le dispositif Sylvatub a été évalué à l'aide de quatre méthodes d'évaluation différentes : une méthode semi-quantitative permettant d'évaluer de nombreux attributs du dispositif, une méthode quantitative visant à estimer la sensibilité de la surveillance, une méthode quantitative visant à estimer le coût de la surveillance, et enfin une méthode qualitative sociologique permettant d'investiguer l'acceptabilité de la surveillance par les acteurs de terrain. Les résultats obtenus par ces différentes méthodes illustrent que chacune est utile pour l'évaluation d'un dispositif de surveillance, les méthodes étant complémentaires et permettant d'évaluer des aspects différents du dispositif.

La méthode Oasis permet, par l'étude de 78 attributs, d'analyser un dispositif d'un point de vue structurel, fonctionnel et opérationnel, d'en identifier les forces et les faiblesses de manière consensuelle avec des représentants des principaux partenaires du dispositif, et de mettre en évidence des points d'amélioration notables du dispositif (qui permettront d'en améliorer la flexibilité, la sensibilité et la stabilité à moyen et long termes par exemple pour le dispositif Sylvatub). La subjectivité potentielle, due à la participation d'acteurs impliqués dans le dispositif, est neutralisée en partie aux différentes étapes de l'évaluation par divers moyens (existence d'un guide de notation et d'un outil de recueil des données standardisés, présence d'évaluateurs externes dans l'équipe d'évaluation, attribution des notes de façon collégiale lors de la journée de notation). Toutefois, les acteurs de terrain ne sont souvent pas contactés directement lors de la mise en œuvre de la variante

Flash de la méthode Oasis, ce qui peut constituer une limite pour l'identification de certaines difficultés opérationnelles qui ne sont pas forcément perçues à l'échelle nationale, voire pour l'acceptabilité des recommandations prescrites à l'issue de l'évaluation.

Cette méthode d'évaluation générique présente l'avantage d'être flexible et adaptable à différents types de dispositifs de surveillance, comme l'illustrent les nombreux dispositifs évalués avec cette méthode (maladies enzootiques des bovins comme la tuberculose, [Gorecki et al., 2012](#) ; maladies enzootiques des équidés comme l'anémie infectieuse, l'artérite virale et la métrite contagieuse, [Amat et al., 2015](#) ; maladies enzootiques de la faune sauvage comme la tuberculose, [Lhubert et al., 2015](#) ; maladies enzootiques des mollusques marins, [Dominguez et al., 2012](#) ; maladies exotiques comme la fièvre aphteuse, les pestes aviaires et la peste porcine africaine, [Dominguez et al., 2014](#), par exemple). Cet outil standardisé fonctionne en effet de la même manière, quels que soient la maladie, la population surveillée, le nombre de composantes ou les objectifs de surveillance. Il peut donc facilement permettre la comparaison des résultats d'évaluation de plusieurs dispositifs, voire la recommandation d'améliorations simultanées de plusieurs dispositifs pour une même filière, afin de rationaliser l'utilisation des ressources, de favoriser les synergies et d'identifier des leviers permettant un renforcement transversal de la surveillance ([Dominguez et al., 2014](#) ; [Amat et al., 2015](#)). Cette méthode présente enfin l'avantage d'être rapide à mettre en œuvre, la collecte des données étant peu chronophage et nécessitant peu de moyens humains et financiers, contrairement aux méthodes d'évaluation quantitatives et sociologiques.

Toutefois, cette méthode d'évaluation reste assez générale, en partie subjective, et ne permet pas de caractériser avec précision l'incertitude entourant l'évaluation de certains attributs du dispositif. Par ailleurs, elle ne fournit pas de données quantitatives, notamment pour l'évaluation d'attributs importants pour apprécier la performance de la surveillance, comme la sensibilité par exemple, qui est pourtant un déterminant majeur de l'efficacité de la surveillance. Ainsi, ces diverses limites justifient l'utilisation d'autres méthodes d'évaluation, notamment quantitatives, permettant d'investiguer plus en détail certains attributs comme la sensibilité et de prendre en compte les potentielles incertitudes rencontrées au cours du processus d'évaluation.

L'évaluation quantitative de l'efficacité du dispositif Sylvatub par modélisation stochastique de la probabilité de détection de l'infection à *M. bovis* à l'aide d'arbres de scénarios semble particulièrement adaptée aux dispositifs de surveillance complexes composés de plusieurs activités de surveillance, indépendantes ou non, appliquées de manière hétérogène sur un territoire et concernant des populations animales ou des strates de population différentes. Cette méthode structurée et transparente permet de schématiser les principales étapes d'intérêt du processus de surveillance et de modéliser l'hétérogénéité du processus de détection entre plusieurs catégories à risque (espèces animales, zones géographiques, etc.). Elle facilite ainsi la compréhension des principaux facteurs influençant le processus de détection des animaux et l'identification des étapes sur lesquelles il faudrait agir pour améliorer la sensibilité d'un dispositif.

L'analyse coût-efficacité permet de rationaliser les décisions prises par les gestionnaires, par rapport à une simple évaluation de l'efficacité de la surveillance. Toutefois, les analyses économiques sont complexes et nécessiteraient, pour être exhaustives, d'estimer les coûts directs et indirects pour tous les acteurs impliqués dans le dispositif afin de prendre en compte la complexité du réseau d'acteurs nécessaire au bon fonctionnement du dispositif et à sa viabilité. Ainsi, dans notre étude, les coûts pour l'Etat concernaient principalement les coûts de formation et de sensibilisation des acteurs de terrain et les coûts d'indemnisation liés d'une part à la collecte des cas suspects et d'autre part à la prise en charge des analyses. Les coûts pour le « monde de la chasse » (chasseurs, FDC, services départementaux de l'ONCFS, etc.) n'ont pas été pris en compte dans cette première évaluation économique du dispositif, mais pourraient concerner par exemple les coûts inhérents à la perte pour le chasseur d'une carcasse présentant des lésions évocatrices, qu'elle soit initialement destinée à la commercialisation ou à l'autoconsommation, ou encore les frais d'investissement liés à l'achat de matériel pour le transport ou le stockage des carcasses suspectes.

L'évaluation économique des dispositifs de surveillance se heurte parfois à la difficulté de dissocier les coûts inhérents à la surveillance d'une part et à la lutte d'autre part, comme cela a été le cas pour l'estimation des coûts de la surveillance programmée des blaireaux dans les départements de niveau 2 et 3, pour laquelle les deux types de coûts étaient étroitement imbriqués et difficilement dissociables au sein des conventions locales. Toutefois, certains auteurs ([Häsler et al., 2011a](#)) recommandent de ne pas dissocier ces coûts lors des évaluations économiques des dispositifs de surveillance, ce que nous avons cependant fait dans cette étude qui portait exclusivement sur la surveillance.

La méthode d'évaluation quantitative par arbres de scénarios a l'avantage, contrairement à la méthode Oasis, de fournir des résultats chiffrés de la probabilité de détection d'un animal infecté, et de pouvoir comparer facilement l'efficacité et le coût des différentes composantes de surveillance selon la zone géographique (niveau de risque départemental notamment) et les espèces surveillées ; informations utiles aux gestionnaires pour la prise de décision. Ce type d'évaluation quantitative peut cependant donner une fausse impression de précision, car elle peut s'accompagner d'une incertitude non négligeable, notamment dans le domaine de la surveillance de maladies sur des populations sauvages libres, pour lesquelles les connaissances sont encore en cours d'acquisition. Il faut en effet reconnaître que de nombreux paramètres chiffrés du modèle ont été déterminés à dire d'experts par manque de données, et représentent d'une certaine manière la quantification d'une appréciation initialement qualitative. Toutefois, parmi les différentes méthodes d'évaluation étudiées dans ce travail, seule la méthode quantitative par arbres de scénarios a permis de prendre en compte et de représenter la variabilité biologique et l'incertitude liées aux paramètres estimés, par la modélisation des paramètres d'entrée à l'aide de lois de distribution et la réalisation d'un modèle stochastique de Monte Carlo.

Plusieurs types d'incertitudes ont été rencontrés dans ce travail ([Toma et Dufour, 2015](#)) : une incertitude stochastique, liée au hasard (par exemple l'expression lésionnelle variable selon les

individus, ou la probabilité de découverte d'un cadavre en fonction du milieu environnant), et une incertitude épistémique (insuffisance de connaissances sur les paramètres nécessaires au modèle). L'incertitude épistémique pourrait être réduite par un approfondissement des connaissances sur le sujet : une analyse de sensibilité du modèle utilisé permettrait ainsi d'identifier les principaux paramètres d'intérêt influençant la sensibilité du dispositif, pour lesquels l'incertitude épistémique devrait être réduite en priorité par la mise en œuvre de nouvelles études pour améliorer la confiance dans nos estimations. Les différents types d'incertitudes et leurs interactions doivent être pris en compte et indiqués aux partenaires et décisionnaires pour permettre une prise de décision adéquate.

En ce qui concerne le dispositif Sylvatub, les incertitudes proviennent du fait que (1) la population d'intérêt concerne des espèces sauvages libres, (2) le dispositif évalué est un dispositif récemment mis en œuvre et donc pas encore opérationnel dans toutes ses dimensions, (3) l'évaluation économique du dispositif et de chacune de ses composantes n'avait jamais été réalisée. L'étape la plus chronophage dans l'évaluation quantitative a été l'obtention des nombreuses données épidémiologiques et économiques nécessaires pour paramétrer le modèle, soit pour des raisons administratives (conventions), soit en raison de leur indisponibilité nous ayant contraint à interroger des experts pour obtenir les informations souhaitées. Il est donc probable que certaines données soient peu fiables, mais la modélisation stochastique a permis d'incorporer ces incertitudes dans l'analyse. Par ailleurs, cette méthode présente une importante flexibilité, permettant de choisir les nœuds et paramètres pour lesquels on dispose de données fiables et utilisables pour une évaluation de première intention ; et peut être réutilisée très facilement dès que de nouvelles données sont disponibles. Ainsi, d'après [Stärk et al. \(2002\)](#), cette méthode est à la fois objective, précise, transparente, pratique et a l'avantage de fournir des résultats quantitatifs. Toutefois, elle ne permet l'évaluation que de quelques attributs seulement (sensibilité ou autre indicateur comme la spécificité, coûts) ([Drewe et al., 2012](#)), et n'est pas adaptée à l'évaluation de certains attributs comme la rapidité ou la simplicité du dispositif par exemple ; alors que la méthode semi-quantitative Oasis permet d'étudier la plupart des attributs préconisés par les CDC ([German et al., 2001](#)).

L'évaluation quantitative coût-efficacité et l'évaluation Oasis ne permettent toutefois pas de prendre en compte le contexte local, sociétal et parfois médiatique, qui peut pourtant influencer la qualité de la surveillance et la prise de décision. En effet, le risque estimé ou l'efficacité peuvent être perçus différemment par les partenaires d'un même dispositif (par exemple pour Sylvatub : les chasseurs, les éleveurs, les politiques, etc.) : la prise de décision politique doit ainsi prendre en compte à la fois la faisabilité pratique de la surveillance, mais également son acceptabilité par les différents acteurs, afin d'en assurer la stabilité et la durabilité à moyen et long termes.

La modélisation par arbres de scénarios permet de prendre en compte certaines décisions ou choix effectués par les acteurs de terrain (déclaration ou non d'une suspicion, choix de la réalisation d'un test par exemple), mais le comportement social des individus et leurs motivations sont difficiles à évaluer et peuvent dépendre d'un grand nombre de paramètres, qu'ils soient environnementaux ou propres aux individus concernés. Comme souligné par [Rich et al. \(2013\)](#), il est important d'inclure

ce type de facteurs sociologiques, même s'ils sont difficiles à estimer et que certaines estimations peuvent inclure des biais dans l'analyse ou diminuer la précision des estimations. Certains paramètres comportementaux sont certainement absents de notre étude, notamment dans le cadre de la surveillance événementielle, mais il est important de ne pas ignorer ceux identifiables, sous prétexte qu'ils sont difficiles à paramétrer, car la non-prise en compte de phénomènes de (rétro)action comportementaux pourrait engendrer des estimations erronées de l'efficacité du dispositif (Rich *et al.*, 2013). La méthode Oasis permet quant à elle de proposer certaines améliorations afin d'augmenter l'acceptabilité des mesures de surveillance par les acteurs du dispositif, mais ne permet qu'une évaluation superficielle de l'acceptabilité de la surveillance.

Ainsi, la réalisation d'investigations (études qualitatives) sur les facteurs motivationnels influençant la participation à la surveillance sont intéressantes pour étudier l'acceptabilité et la simplicité d'un dispositif de surveillance, et ainsi permettre son optimisation à terme, par la compréhension des facteurs intervenant dans le processus de décision des acteurs de terrain. Elles permettent d'identifier les facteurs principaux qui influencent les acteurs dans leur prise de décision et qui doivent être pris en compte pour améliorer l'efficacité de la surveillance, facteurs parfois jusque-là inconnus et qui peuvent être différents selon les acteurs (Bronner *et al.*, 2014). Toutefois, l'évaluation qualitative du réseau d'acteurs est une méthode chronophage, à la fois pour la réalisation des entretiens semi-directifs auprès des acteurs, mais également pour les étapes d'écoute, d'analyse et de retranscription, nécessaires à la mise en évidence de thématiques communes au sein du discours et à l'émergence de convergences ou de divergences dans la perception du dispositif et de son acceptabilité. Cette méthode présente également une certaine subjectivité, dépendante à la fois de l'enquêteur, mais également des personnes enquêtées ; et les bénéfices peuvent être limités lorsque les acteurs sont interrogés sur des pratiques qui pourraient révéler un écart à la réglementation. Enfin, il faut souligner que les entretiens auprès des acteurs de terrain peuvent permettre de favoriser l'acceptabilité des mesures d'évolution du dispositif prescrites suite à l'évaluation.

Aucune de ces méthodes d'évaluation n'a permis de prendre en compte les aspects dynamiques de l'infection à *M. bovis* (dynamique épidémiologique et diffusion intra et inter espèces), la temporalité du processus de surveillance (délai entre la contamination d'un individu et sa détection) et l'évolution du dispositif de surveillance au cours du temps. En effet, Rich *et al.* (2013) insistent sur le fait qu'un dispositif doit être dynamique, et que cet aspect dynamique doit être pris en compte dans l'évaluation. Ainsi, nous avons estimé de manière séparée l'efficacité et le coût de la surveillance dans les différents niveaux de risque départementaux, mais notre analyse ne prend pas en compte le temps d'adaptation nécessaire au changement de niveau (notamment le passage d'un département dans un niveau de risque supérieur, qui nécessite des réunions ou des formations supplémentaires pour l'appropriation des nouvelles activités de surveillance). Toutefois, la prise en compte des niveaux de risque dans notre étude a permis de considérer, en partie, les interactions entre surveillance, détection, mesures de contrôle, et ainsi les principaux facteurs socio-

économiques (Rich *et al.*, 2013) et comportementaux (Gilbert *et al.*, 2014) (par exemple, sous-déclaration dans les départements de niveau 1 liée à un défaut de sensibilisation et/ou de formation ; ou à un défaut d'acceptabilité au vu des conséquences dans les départements de niveau 3). Par ailleurs, la prise en compte des aspects dynamiques de l'infection a souvent moins d'importance pour une maladie enzootique comme la tuberculose que pour une maladie épizootique, car les variations des déterminants épidémiologiques sont moins importantes.

L'évaluation du dispositif Sylvatub a été effectuée par quatre méthodes différentes, complémentaires, chacune permettant l'apport d'informations utiles aux décideurs en vue de l'amélioration du dispositif et de sa capacité à détecter des cas d'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage. L'évaluation Oasis permet d'identifier les points faibles et les axes d'amélioration d'un dispositif, mais elle ne permet pas l'approfondissement nécessaire pour estimer de manière quantitative le gain de sensibilité ou de coût qui serait permis par la mise en œuvre de ces recommandations ou de stratégies alternatives de surveillance. L'évaluation quantitative à l'aide de la méthode des arbres de scénarios intègre à la fois une mesure de l'efficacité et du coût de la surveillance, mais ne permet pas d'évaluer tous les aspects d'un dispositif, à la fois dans son organisation, son fonctionnement et ses aspects sociologiques. Une étude approfondie des autres critères de qualité du dispositif, du réseau d'acteurs et des facteurs motivationnels ou bloquants pour leur participation au dispositif semble ainsi nécessaire en complément d'une évaluation quantitative de la sensibilité, comme l'a illustré la comparaison du nombre de suspicions attendues en surveillance événementielle d'après notre modèle et le nombre de suspicions réellement déclarées sur la période d'étude. Par ailleurs, en cas de défaut de sensibilité estimé d'un dispositif ou d'une composante de surveillance, l'analyse quantitative ne permet pas à elle seule d'identifier des axes d'amélioration pour compenser ce défaut de sensibilité. Enfin, l'investigation de l'acceptabilité des mesures préconisées permettrait également d'étudier leur faisabilité à court terme. Ces différentes réflexions illustrent bien la complémentarité des méthodes d'évaluation utilisées dans ce travail. Toutefois, ces évaluations ont été conduites séparément, la question de l'intégration respective des différentes méthodes d'évaluation restant encore posée.

1.4. Recommandations pour l'évaluation de dispositifs de surveillance complexes

Les dispositifs de surveillance doivent être évalués dans leur contexte, à la fois d'un point de vue environnemental, économique ou social. Le choix d'une méthode d'évaluation dépend en premier lieu de l'objectif de la surveillance et de l'évaluation, mais plusieurs méthodes peuvent être appliquées de manière séquentielle, comme cela a été effectué dans ce travail. En effet, pour l'évaluation de dispositifs de surveillance complexes comme le dispositif Sylvatub, une seule

méthode n'est souvent pas suffisante, car elle ne permet pas l'analyse en profondeur de tous les aspects du système. L'application d'une seule méthode d'évaluation, au détriment des autres, reposerait alors sur un véritable choix à justifier selon les objectifs de l'évaluation, l'attente et les besoins des décideurs ainsi que des partenaires de la surveillance.

Cette étude a montré les limites d'une évaluation isolée, fondée sur un seul attribut, ne prenant pas en compte les aspects socio-économiques notamment, d'ailleurs peu souvent évalués dans le domaine de la santé animale (Drewe *et al.*, 2012 ; Calba *et al.*, 2015a). Cette étude a également montré qu'il était intéressant de comparer les résultats des différents types d'évaluation, et d'étudier leur complémentarité : il est ainsi intéressant d'étudier la corrélation entre la sensibilité (ou le défaut de) du dispositif de surveillance et son fonctionnement général ou l'acceptabilité des mesures de surveillance par les acteurs de terrain par exemple.

En effet, par exemple, l'étude quantitative a montré que la surveillance programmée avait une très bonne sensibilité, mais l'évaluation Oasis a identifié une hétérogénéité importante de la mise en œuvre locale de cette surveillance dans les départements de niveau 2 et 3, tant au niveau de l'application des mesures réglementaires prescrites que de la réalisation de l'échantillonnage prévu ; l'évaluation sociologique ayant quant à elle mis en évidence un défaut d'acceptabilité, notamment en ce qui concerne la surveillance programmée des blaireaux. Ainsi, la surveillance programmée semble efficace, mais les tailles d'échantillons importantes impliquent un coût élevé et une acceptabilité relativement faible, ce qui peut limiter la durabilité de cette composante dans les départements concernés. La surveillance événementielle par examen de carcasse présente une faible sensibilité individuelle, en partie compensée par le nombre important d'animaux pouvant être soumis à cette surveillance. Par ailleurs, cette composante présente un coût unitaire très élevé, en raison des activités importantes d'animation, et son application effective semble très hétérogène à l'échelle nationale (évaluation Oasis), en lien avec un déficit de sensibilisation des acteurs de terrain notamment (évaluation Oasis, étude qualitative). Ainsi, l'amélioration de la composante de surveillance par examen de carcasse passerait par un renforcement des activités d'animation, de coordination et de supervision locale à destination des collecteurs de données. Toutefois, cela impliquerait un coût important, qui ne serait peut-être pas récompensé par une augmentation notable de la sensibilité dans tous les départements, car la déclaration des cas suspects est soumise à des facteurs comportementaux et psychosociaux influencés en partie par les conséquences de la détection de cas (conséquences opérationnelles et économiques) et la perception du risque vis-à-vis de l'infection (plus faible dans les départements de niveau 1) (étude sociologique qualitative). Enfin, la surveillance par le réseau Sagir semble présenter une bonne acceptabilité (étude sociologique qualitative), ce qui peut être expliqué par le fait que ce réseau existe depuis de nombreuses années. Toutefois, son efficacité semble limitée, à la fois à l'échelle individuelle et collective. Par ailleurs, l'augmentation de sa sensibilité n'est pas aisée, car elle dépend de facteurs biologiques non modifiables, comme la probabilité qu'un animal meure et qu'il soit détecté avant sa disparition naturelle, dépendant des contextes environnementaux, des ressources alimentaires et de l'abondance de la végétation par exemple.

Enfin, certains attributs ont été évalués par deux méthodes différentes, comme par exemple l'utilité ou la simplicité, ce qui permet de renforcer la valeur et l'importance des recommandations prescrites (par exemple, simplifier les procédures de déclaration d'une suspicion, développer la communication auprès des partenaires du monde agricole ; évolutions proposées suite à l'évaluation Oasis et à l'enquête sociologique qualitative de manière indépendante).

Concernant le déroulement chronologique de l'application de diverses méthodes d'évaluation pour un même dispositif, la méthode Oasis semble plus adaptée en première intention car elle nécessite une étape de collecte de données précises sur le dispositif et son fonctionnement, et permet d'évaluer de manière consensuelle de nombreux aspects du dispositif. La variante Flash, plus rapide que la méthode complète, est alors conseillée pour un premier diagnostic général du dispositif, car elle permet, en un temps réduit par rapport à la méthode complète, de fournir des résultats assez complets et pertinents, et d'identifier les principales faiblesses et les principaux axes d'amélioration du dispositif, sur lesquels orienter ensuite les méthodes complémentaires d'évaluation. Toutefois, ce type de méthode semi-quantitative ne permet pas de quantifier l'efficacité d'un dispositif de surveillance en termes de capacité à détecter des cas.

Parmi les méthodes quantitatives, le choix de l'utilisation des méthodes capture-recapture ou des arbres de scénarios dépend du contexte : il est en effet généralement admis que les méthodes capture-recapture sont adaptées aux situations où la maladie est présente sur le territoire, lorsque la surveillance permet une détection multiple (estimation de la probabilité qu'une unité épidémiologique infectée soit effectivement détectée par le dispositif), et les méthodes d'arbres de scénarios sont davantage adaptées aux situations où la maladie est absente, permettant de déterminer si un territoire est réellement indemne d'une maladie (estimation de la probabilité de détecter au moins une unité épidémiologique infectée si la maladie apparaissait à une certaine prévalence). Toutefois, notre étude a montré qu'il était possible d'utiliser les méthodes d'arbres de scénarios pour l'évaluation de dispositifs de surveillance d'une maladie enzootique sur un territoire. Dans le cas de l'évaluation du dispositif Sylvatub, l'application des méthodes capture-recapture était impossible, en raison notamment de l'absence de possibilité de détection multiple des individus (animaux collectés et détectés une fois morts, donc non détectables par d'autres dispositifs). Par ailleurs, les différentes composantes de surveillance ne ciblent pas les mêmes strates de la population (animaux tués à la chasse ou animaux morts par collision routière par exemple), empêchant là encore des détections multiples. Les méthodes capture-recapture semblent ainsi moins utiles dans le cas de données complexes et non aléatoires (Vergne, 2012), et ne permettent d'introduire qu'un nombre limité de facteurs, au contraire des arbres de scénarios qui permettent l'étude de nombreux facteurs d'infection ou de détection.

Ainsi, il semble important d'utiliser plusieurs méthodes pour l'évaluation de dispositifs de surveillance complexes : une méthode semi-quantitative comme la méthode Oasis dans un premier temps, afin d'estimer de manière générale plusieurs attributs comme la faisabilité, la durabilité et la

flexibilité de la surveillance, à partir d'opinions de représentants nationaux des partenaires ; une méthode quantitative permettant d'investiguer plus en détail l'efficacité de la surveillance ; et, si le temps consacré à l'évaluation le permet, une méthode qualitative sociologique visant à interroger des acteurs de terrain afin d'investiguer plus en détail les facteurs motivationnels et bloquants de leur participation à la surveillance et permettant ainsi de prendre en compte les facteurs influençant l'acceptabilité des mesures prescrites.

Les informations collectées par les méthodes semi-quantitatives et qualitatives peuvent être utilisées pour évaluer de potentielles stratégies alternatives de manière quantitative, en créant de nouveaux nœuds de détection ou de décision dans les arbres de scénarios, ou en modifiant les valeurs des paramètres d'entrée utilisés pour le modèle. Cette combinaison de différentes méthodes permet ainsi de quantifier le gain de sensibilité pouvant être attendu de l'adaptation d'une activité de surveillance existante ou de la mise en œuvre d'une nouvelle composante de surveillance. Les arbres de scénarios peuvent donc être utilisés à différentes étapes de l'évaluation d'un dispositif de surveillance : lors de l'estimation initiale de la sensibilité du dispositif existant, et ensuite lors de l'estimation de la sensibilité de mesures de surveillance adaptées ou alternatives, proposées suite à une évaluation par des méthodes semi-quantitatives et sociologiques qualitatives permettant d'aborder les aspects technico-opérationnels et sociologiques de la surveillance. Ainsi, ces méthodes n'ont pas le même objectif : les méthodes semi-quantitatives comme la méthode Oasis permettent de faire un bilan général de l'ensemble du dispositif de surveillance et indiquent les aspects à améliorer pour augmenter l'efficacité de la surveillance, tandis que les méthodes quantitatives permettent de quantifier l'efficacité de la surveillance et donc la fiabilité des informations sanitaires produites par le dispositif, mais ne fournissent pas d'éléments permettant d'améliorer directement le fonctionnement du dispositif (Vergne, 2012). Il est toutefois possible d'utiliser les arbres de scénarios au-delà du processus d'évaluation, comme outil d'aide à la prise de décision lors d'événement épidémiologique nécessitant la modification de certains paramètres de surveillance, ou lors de contraintes pratiques ou financières nécessitant une adaptation de la surveillance.

Les méthodes d'évaluation appliquées dans ce travail étaient ainsi diverses et complémentaires, permettant d'évaluer des aspects différents d'un même dispositif de surveillance. Cette étude souligne ainsi les avantages d'utiliser à la fois des méthodes quantitative et qualitative, permettant l'étude de plusieurs attributs d'un même dispositif de surveillance. Cette approche multiple n'est pas habituelle, la plupart des évaluations s'appuyant sur une seule méthode (Drewe *et al.*, 2015 ; Bronner *et al.*, 2015a). A notre connaissance, une seule autre évaluation d'un dispositif de surveillance a utilisé cette combinaison d'approches quantitatives, semi-quantitatives et sociologiques en France (Bronner *et al.*, 2013, 2014, 2015a, 2015d). Ces auteurs ont estimé la proportion d'éleveurs déclarant au moins un avortement parmi ceux qui les détectaient par une méthode capture-recapture uniliste, afin d'estimer la sous-déclaration des avortements par les éleveurs, et ont identifié les facteurs influençant leur décision de déclarer par des méthodes sociologiques qualitatives (enquêtes). Les auteurs ont ainsi identifié plusieurs facteurs intervenant

dans le processus de déclaration : la situation épidémiologique locale (situation sanitaire favorable conduisant à un faible risque perçu par les éleveurs et à un manque de sensibilisation), le type d'élevage (allaitant ou laitier), et le degré de coopération au sein du réseau socio-technique regroupant les éleveurs et les vétérinaires par exemple. Toutefois, cette étude ne permettait pas de distinguer l'influence relative de l'occurrence de l'avortement (phénomène biologique), de la détection et de la déclaration (phénomènes socio-comportementaux) ([Bronner et al., 2013, 2015c](#)).

L'utilisation d'une approche interdisciplinaire, combinant des approches techniques et opérationnelles, économiques, sociales et comportementales, est ainsi recommandée pour l'étude des facteurs influençant la participation des acteurs à un dispositif de surveillance, et identifier comment leur participation peut être optimisée pour atteindre une efficacité maximale à moindre coût (recherche d'efficacité). Le choix de la ou des méthodes d'évaluation à utiliser dépend ainsi de l'objectif de l'évaluation, des ressources (humaines et matérielles) et du temps disponible pour sa réalisation, mais aussi du contexte local, environnemental et éventuellement politique.

II. Choix d'une méthode d'évaluation adaptée à la prise de décisions

Les systèmes de surveillance produisent des données, qui, une fois analysées et interprétées, servent à prendre des décisions au regard de la gestion des maladies (Grosbois *et al.*, 2015). Ainsi, un dispositif de surveillance efficace est un dispositif dont la collecte, l'analyse et l'interprétation des données conduisent à des décisions appropriées compte tenu du statut réel de la maladie dans la population d'étude. Toutefois, les décisions d'action ne dépendent pas uniquement de la situation de la maladie étudiée et des informations fournies par le dispositif de surveillance, mais également de nombreux autres facteurs comme les attentes sociales, les souhaits politiques ou encore des considérations pratiques (Grosbois *et al.*, 2015).

L'évaluation des dispositifs de surveillance peut être utilisée comme outil d'aide à la prise de décisions en santé animale, en permettant d'identifier et de développer des méthodes de surveillance efficiente, et en aidant ainsi les gestionnaires dans la mise en œuvre de méthodes de surveillance appropriées au regard de la situation épidémiologique de la maladie et du contexte socio-économique local, tout en favorisant la participation des acteurs à la surveillance.

2.1. Diversité des méthodes d'évaluation des dispositifs de surveillance en santé animale : avantage ou contrainte ?

Les recommandations fournies par les CDC en 2001 pour l'évaluation des dispositifs de santé publique (German *et al.*, 2001) ont permis de fournir un cadre général et une liste d'attributs pouvant être ciblés par le processus d'évaluation. Toutefois, même si des méthodes standardisées émergent ces dernières années, il n'existe pas de méthode unique d'approche pour l'évaluation de dispositifs de surveillance en santé animale (Drewe *et al.*, 2012). Par ailleurs, les recommandations des CDC n'indiquent pas comment choisir et hiérarchiser les attributs à évaluer en fonction du contexte et de l'objectif de l'évaluation (Bronner *et al.*, 2015a). Face à une pléthore d'attributs et de méthodes d'évaluation existants et disponibles, les gestionnaires manquent souvent d'outils pour choisir les attributs et la méthode adaptés aux objectifs de l'évaluation d'un dispositif en particulier.

La diversité des méthodes d'évaluation provient de la diversité des dispositifs de surveillance, en raison de la variété des situations épidémiologiques possible, et de la diversité des objectifs d'évaluation. Les attributs pertinents permettant l'estimation de la performance de la surveillance varient donc selon les dispositifs. Dans le cas de la surveillance d'un danger exotique, l'objectif de la surveillance est souvent la détection précoce de l'introduction de l'agent pathogène et l'attribut de performance peut alors être le délai entre l'introduction de l'agent et sa détection. Dans le cas de la surveillance d'un danger enzootique présent à faible prévalence, l'objectif de la surveillance peut être la détection de cas, l'attribut de performance étant alors généralement la probabilité de détection de cas suspects ou avérés par exemple (Guo *et al.*, 2015). Il n'est ainsi pas pertinent d'évaluer tous les attributs listés par les CDC ; ceux-ci doivent être sélectionnés au regard du

contexte et des objectifs de l'évaluation (Calba *et al.*, 2015a). Toutefois, la revue de la littérature sur les évaluations de dispositifs de surveillance en santé animale réalisées montre que le choix des attributs n'est souvent pas justifié par les auteurs et qu'il pourrait ainsi soit dépendre d'un degré de pertinence au regard de la question d'évaluation, soit d'un choix pratique en fonction des données et des ressources disponibles (humaines et temporelles) (Calba *et al.*, 2015a). A ce jour, seules quelques approches permettent de prioriser les attributs en fonction de leur pertinence, et fournissent en parallèle les méthodes d'évaluation adaptées (paragraphe 2.3.).

Par ailleurs, il n'existe pas à l'heure actuelle de liste complète, exhaustive, des attributs pouvant être évalués, qui prendrait également en compte les aspects économiques et sociologiques (Calba *et al.*, 2015a). Les aspects économiques sont en effet primordiaux dans le processus de décision et leur prise en compte permettrait de mieux sélectionner les actions correctives efficaces, considérant que les décideurs doivent faire des choix avec des ressources financières limitées (Drewe *et al.*, 2012 ; Calba *et al.*, 2015a). Les attributs sociologiques, comme l'acceptabilité, la communication, ou la perception des bénéfices non-monétaires de la surveillance sont fondamentaux pour assurer le maintien de la participation des acteurs dans le dispositif et donc sa durabilité et sa fiabilité, mais aucune méthode standardisée n'existe actuellement sur la manière de prendre en compte les perceptions et les attentes des acteurs (Calba *et al.*, 2015a).

2.2. L'importance de la prise en compte de critères socio-économiques dans l'évaluation des dispositifs de surveillance

L'évaluation économique n'est pas régulièrement considérée comme une partie intégrante de l'évaluation des dispositifs de surveillance en santé animale. Parmi les 99 études publiées ces dix dernières années sur les méthodes d'évaluation, seul un tiers prenait en compte un aspect économique de type coût-bénéfice ou coût-efficacité par exemple (Drewe *et al.*, 2012). Par ailleurs, d'après la revue effectuée par Calba *et al.* (2015a), seuls trois guides d'évaluation sur les dix identifiés recommandent la réalisation d'une évaluation économique.

Les évaluations économiques présentent pourtant des avantages importants, notamment pour les gestionnaires qui doivent fonder leurs décisions en fonction de ressources financières limitées (Stärk *et al.*, 2006 ; Häsler *et al.*, 2011a) : l'évaluation des activités de surveillance et l'identification des points critiques des dispositifs est ainsi importante afin d'assurer une répartition optimale des moyens humains, techniques et financiers ; les coûts de la surveillance peuvent représenter jusqu'à 80 % des coûts d'un programme de contrôle d'une maladie (Kellar, 2012).

Toutefois, même si le souhait d'allouer au mieux les ressources financières et humaines disponibles est de plus en plus présent, il est auparavant nécessaire de s'interroger sur ce que signifie « au mieux » et sur les aspects qui nécessiteraient d'être optimisés. En effet, l'optimisation de la surveillance peut avoir pour objectif de maximiser la probabilité de détection de cas parmi différentes sous-populations, de minimiser le délai de détection de phénomènes de santé, de

minimiser les coûts de la surveillance ou encore de maximiser les bénéfices issus de la surveillance, ce qui n'implique pas forcément la mise en œuvre des mêmes mesures correctives (Cannon, 2009). De manière générale, l'optimisation des ressources financières et humaines ne passe pas seulement par la recherche de la maximisation de l'efficacité de la surveillance (capacité d'atteinte des objectifs de performance), mais davantage de son efficacité (capacité d'atteinte des objectifs de performance à moindre coût ou maximisation de l'efficacité pour un coût fixé par les gestionnaires) (Cannon, 2009). Les méthodes d'évaluation coût-efficacité ou coût-bénéfice constituent ainsi des outils d'aide à la décision fondamentaux, permettant l'optimisation des ressources disponibles (Häsler *et al.*, 2011a).

Les évaluations socio-économiques sont encore relativement rares dans le domaine de la santé animale à l'heure actuelle, car l'intégration du volet social de la gestion sanitaire implique une approche multidisciplinaire, parfois difficile à mettre en œuvre entre les professionnels de la santé animale et les économistes. Toutefois, l'aspect social semble indissociable d'une évaluation complète, l'accès aux informations sanitaires reposant sur l'organisation d'acteurs au sein d'un réseau de surveillance ; la formalisation de ce réseau et sa structuration étant fondamentales pour son bon fonctionnement (Antoine-Moussiaux, 2011). En effet, les dispositifs de surveillance reposent sur une circulation multidimensionnelle des informations sanitaires, depuis les sources (éleveur ou chasseur par exemple) vers les décideurs et inversement, en passant par une série d'acteurs intermédiaires (institutions techniques comme les GTV, GDS, FDC et SD ONCFS, et institutions administratives comme les DDecPP par exemple) (Antoine-Moussiaux, 2011). Ainsi, le bon fonctionnement d'un dispositif dépend à la fois de contraintes opérationnelles, techniques et économiques, souvent incluses dans les méthodes traditionnelles d'évaluation, mais également de contraintes sociétales d'acceptabilité liées à ce réseau d'acteurs (Antoine-Moussiaux, 2011).

Les facteurs psychosociaux, comportementaux et motivationnels sont particulièrement importants à prendre en compte dans le cadre de l'évaluation de la surveillance événementielle, qui repose sur la déclaration spontanée de cas ou de suspicions par les acteurs de terrain, parfois peu sensibilisés au sanitaire, et donc de leur volonté de s'impliquer dans le dispositif. Or, en France, la surveillance événementielle couvre plus de 60 maladies animales pouvant avoir des impacts importants sur la santé publique ou sur l'économie, dont 60 % concernent des maladies sporadiques ou exotiques (Bronner *et al.*, 2013), sans toutefois que leur sensibilité ne soit régulièrement évaluée (Hadorn *et al.*, 2008). Les approches socio-économiques considèrent ainsi la décision de déclarer une suspicion comme une mise en balance par l'acteur des avantages (bénéfices) et des conséquences (coûts), qu'ils soient monétaires ou non, que cette décision engendre (Antoine-Moussiaux, 2011). Le comportement de déclaration d'une suspicion ne dépend pas seulement de facteurs économiques, et peut varier à l'échelle locale en fonction de divers facteurs (Hopp *et al.*, 2007 ; Barnes *et al.*, 2015).

Différentes études ont montré qu'il existait plusieurs types de freins à la déclaration, comme un manque de connaissances et/ou de sensibilisation influençant notamment la perception du risque et donc de l'utilité de la surveillance, la culpabilité, la honte, le préjudice, une opinion négative sur les

mesures de lutte, une insatisfaction concernant les procédures suivant la déclaration d'une suspicion (blocage de l'élevage), un manque de confiance envers les vétérinaires et l'Etat, un manque de transparence dans les procédures de déclaration, et enfin un manque de coopération entre les acteurs institutionnels (Hopp *et al.*, 2007 ; Palmer *et al.*, 2009 ; Elbers *et al.*, 2010a, 2010b ; Bronner *et al.*, 2014, 2015d). Ces observations permettent la formulation de recommandations appropriées et adaptées au réseau d'acteurs pour maximiser l'efficacité de la surveillance. Par ailleurs, l'investigation de la faisabilité des mesures de surveillance ou de lutte peut être importante à réaliser auprès des acteurs de terrain (Benjamin *et al.*, 2010 ; Cowie *et al.*, 2015). Ainsi, certains auteurs ont montré que, parfois, la stratégie de surveillance estimée comme étant la plus efficace n'est pas considérée comme étant applicable par les acteurs de terrain (Cowie *et al.*, 2015).

Les facteurs intervenant dans les processus de décision peuvent être différents selon les acteurs, ce qui peut compliquer l'intégration des aspects sociologiques dans la formulation de recommandations. La prise en compte de différentes opinions et préférences de divers groupes d'acteurs peut ainsi nécessiter le recours à une analyse multicritères. Plusieurs critères peuvent alors être étudiés dans le processus de décision pour rationaliser le choix d'une stratégie de surveillance ou de lutte, par exemple, les impacts économiques directs (les coûts des mesures, pouvant influencer les préférences de l'Etat), les impacts économiques indirects (les pertes à l'export, pouvant influencer les préférences des industries agro-alimentaires ; le déficit pour le secteur du tourisme), et les impacts sociaux (qui peuvent induire une méfiance vis-à-vis des politiques de contrôle des maladies animales et influencer les préférences de l'opinion publique) (Marsot *et al.*, 2014).

Les prises de décision pour le contrôle des maladies en santé animale ne dépendent pas seulement d'un rationnel scientifique, fondé sur des critères épidémiologiques ou économiques, mais également de facteurs politiques et sociaux (Marsot *et al.*, 2014). La prise en compte des besoins et des intérêts des acteurs parties prenantes de la surveillance sont essentiels pour s'assurer de l'acceptabilité, de la durabilité et de la stabilité du dispositif, et pour s'assurer que le dispositif fournit les informations adéquates aux besoins et de qualité (Calba *et al.*, 2015a). Les enjeux de l'évaluation sont ainsi techniques, opérationnels, économiques, mais également institutionnels, sociétaux voire politiques (Antoine-Moussiaux, 2011). Le développement de compétences en sociologie et en économie, notamment dans le cadre de l'intégration de la consultation sociétale et du développement des évaluations socio-économiques, permettrait d'enrichir les méthodes existantes d'évaluation en santé animale.

2.3. L'émergence de guides pour les évaluateurs

2.3.1. Exemples de guides d'évaluation de la surveillance en santé animale

De nombreux guides décisionnels voient le jour dans le domaine de l'évaluation de la surveillance en santé animale, afin d'aider les évaluateurs à générer des données fiables et pertinentes face à des questions d'évaluation spécifiques, nécessaires pour la gestion et la prise de décision (Calba *et al.*, 2015a). Plusieurs publications recensent ces différents outils d'aide à l'évaluation de la surveillance en santé animale, que ce soit d'un point de vue technique (Drewe *et al.*, 2012) (quel attribut évaluer avec quelle méthode), ou comparatif (Stärk *et al.*, 2002 ; Calba *et al.*, 2015a) (analyse comparative de la complétude et de la praticité des différentes approches d'évaluation, identification des manques récurrents dans les processus d'évaluation, etc.). Les auteurs soulignent un manque d'information sur l'identification et la sélection de la méthode d'évaluation adaptée pour le(s) attribut(s) choisi(s), ainsi qu'un manque de considération des attributs économiques et sociologiques (Calba *et al.*, 2015a). Cette revue souligne le besoin de guide d'évaluation à la fois standardisé pour permettre des comparaisons entre les dispositifs, mais aussi assez flexible pour s'adapter à toute question d'évaluation, quel que soit l'objectif de la surveillance et le contexte épidémiologique et socio-économique (Calba *et al.*, 2015a ; Hautefeuille, 2015).

Dans ce contexte, un outil d'aide à l'évaluation (outil EVA) a récemment été développé. Il permet à l'évaluateur de décrire le contexte de la surveillance et le contexte socio-économique, et donc de formuler une question et des objectifs d'évaluation adaptés. Il fournit ensuite une liste des attributs les plus pertinents à sélectionner, et propose en parallèle les méthodes d'évaluation les plus adaptées en fonction des données disponibles. Sur le même principe, le guide Serval a également été récemment développé (Drewe *et al.*, 2015). Ce guide, élaboré par un ensemble d'experts, propose aux évaluateurs une liste générique de 22 attributs, et permet à l'évaluateur de prioriser les attributs les plus pertinents en fonction de l'objectif de l'évaluation et du dispositif. Cet outil permet le choix de cinq à dix attributs à sélectionner en priorité (nombre recommandé par les auteurs, même si la plupart des études publiées ne font état que de un à trois attributs évalués (Drewe *et al.*, 2015). Ces outils fournissent donc aux évaluateurs un protocole d'évaluation pratique et détaillé, et répondent aux besoins préalablement identifiés (standardisation, flexibilité, évaluation économique, praticité), mais ne constituent pas une méthode d'évaluation en tant que telle. Ces outils sont très flexibles et peuvent être appliqués à différents types de dispositifs et à plusieurs objectifs de surveillance. Certains auteurs ont également développé des guides spécifiques à destination des gestionnaires pour la réalisation d'une évaluation économique d'un dispositif de surveillance en santé animale (Häsler *et al.*, 2011b), qui abordent notamment deux types d'évaluation : (1) coût-efficacité, lorsque la surveillance est contrainte par une législation particulière, (2) coût-bénéfice, lorsque la surveillance n'est pas particulièrement contrainte. Ce type de guide permet de mieux comprendre les interrelations entre les considérations techniques et économiques qui peuvent avoir un impact sur la valeur économique de la surveillance.

Toutefois, même si ce n'est pas un objectif prioritaire de l'évaluation de dispositifs de surveillance, les guides présentés précédemment (Eva et Serval) ne permettent pas la comparaison des résultats d'évaluation entre plusieurs dispositifs, car une évaluation comparative nécessiterait le choix des mêmes attributs (Amat *et al.*, 2015). Il existe peu de guides génériques permettant une mesure standardisée de l'efficacité d'un dispositif de surveillance (les attributs de performance étant variables selon les dispositifs et leurs objectifs, comme mentionné précédemment). Récemment, Grosbois *et al.* (2015) ont développé une méthode générique de l'évaluation de la performance de la surveillance, afin de mesurer son efficacité indépendamment des objectifs ou des méthodes de surveillance, et ainsi permettre la comparaison et la standardisation des études d'estimation de performance. Les auteurs proposent une évaluation de l'efficacité en relation avec les décisions prises à partir de l'analyse des données générées par la surveillance, permettant de représenter de manière probabiliste le sens et l'ampleur de la divergence entre les décisions qui seraient prises si la situation réelle de la population était connue et les décisions qui sont actuellement prises à partir des données de la surveillance. L'efficacité peut alors être mesurée par l'estimation de deux types d'erreur : l'erreur de type I (le dispositif produit des informations qui conduisent à prendre une décision de gestion, alors que le statut réel de la population ne le nécessite pas, ce qui conduit à des dépenses non nécessaires), et l'erreur de type II (le dispositif produit des informations qui ne conduisent pas à une décision de gestion, alors que le statut réel de la maladie le nécessite, entraînant des coûts liés à l'absence de prise de décision). Cette approche peut être appliquée à des dispositifs simples ou complexes, ayant des objectifs différents, et peut permettre la comparaison de dispositifs de surveillance, par comparaison des probabilités d'erreurs.

Les valeurs prédictives peuvent également être intéressantes à estimer lors de l'évaluation de dispositifs (Drewe *et al.*, 2015 ; Grosbois *et al.*, 2015), car elles permettent d'informer les décideurs sur les risques pris lors d'une décision, et peuvent constituer un bon indicateur pour la prise de décision. Ainsi, le complément à un de la valeur prédictive négative renseigne le décideur sur la probabilité que les résultats de la surveillance suggèrent que des mesures de lutte ne sont pas nécessaires, alors que la situation épidémiologique réelle le nécessiterait ; et inversement pour la valeur prédictive positive (probabilités liées aux erreurs de type I et II précédemment évoquées). Par ailleurs, cette méthode permettrait également la prise en compte des conséquences économiques des divers types d'erreurs (en développement, Grosbois *et al.*, 2015).

2.3.2. Limites des guides d'évaluation de la surveillance en santé animale

Les approches, guides et méthodes génériques ne fournissent pas tous le même niveau de détail aux évaluateurs et ne permettent pas tous de prendre en compte le contexte spécifique de l'évaluation, les particularités du dispositif et le contexte socio-économique (Calba *et al.*, 2015a). Ils ne s'intéressent par ailleurs qu'à la surveillance stricte, et ne permettent pas de prendre en compte les mesures d'intervention et de gestion comme recommandé par certains auteurs, notamment lors de la réalisation d'une évaluation économique (Häsler *et al.*, 2011a). En effet, les stratégies de

surveillance optimales varient selon la situation épidémiologique de la maladie, et donc avec l'efficacité des mesures de surveillance et de gestion mises en œuvre pour lutter contre la maladie. Pour être utile aux décideurs, l'évaluation doit donc être flexible et s'adapter aux hétérogénéités géographiques locales potentielles et à l'évolution temporelle de la situation épidémiologique et de la surveillance qui en résulte, en incluant un aspect dynamique et temporel permettant l'inclusion de l'évolution des objectifs de surveillance et des attributs de performance pertinents à évaluer (Rich *et al.*, 2013). Ainsi, l'évaluation de dispositifs de surveillance peut également s'appuyer sur des modèles de simulation dynamique, qui permettent d'investiguer les caractéristiques de l'échantillonnage, la performance des tests diagnostiques, la capacité d'acteurs à détecter et déclarer des cas suspects, etc., et ainsi de comparer plusieurs stratégies de surveillance en fonction de divers attributs (augmentation de la fréquence d'échantillonnage pour améliorer la rapidité de détection ; augmentation de la taille d'échantillon pour améliorer la probabilité de détection, ...) (Comin *et al.*, 2012 ; Stahnke *et al.*, 2013 par exemple).

Par ailleurs, ces outils ne s'intéressent pas ou très peu à l'acceptabilité de la surveillance par les acteurs et ne reflètent souvent qu'un aspect de la surveillance ou l'opinion d'une seule entité, souvent représentée par le gestionnaire du dispositif. L'utilisation de méthodes socio-comportementales en parallèle de ces outils, pour investiguer l'acceptabilité des mesures politiques, permet de pallier en partie ce problème, mais ne permet pas facilement d'interconnecter les opinions de toutes les parties prenantes dans la surveillance. Des méthodes complémentaires, comme des méthodes d'analyses multicritères, peuvent alors être utilisées, afin de pondérer les impacts relatifs à divers aspects de la surveillance, en fonction des partenaires considérés (Guo *et al.*, 2014, 2015 ; Marsot *et al.*, 2014).

Aucun des guides évoqués ne fournit de recommandation particulière pour l'interprétation de l'évaluation des attributs et la cible des actions correctives à mettre en œuvre (Calba *et al.*, 2015a). Enfin, les aspects économiques sont importants à considérer lors de la proposition de recommandations, pour faire le compromis entre l'amélioration des performances du dispositif et ses coûts, notamment dans un contexte où les ressources financières sont rares.

Récemment, des guides d'aide à l'évaluation de dispositifs de surveillance en santé animale ont été développés pour guider l'évaluateur dans la définition du ou des objectif(s) de l'évaluation en fonction du contexte socio-économique et épidémiologique local, dans le choix du ou des attributs le(s) plus pertinent(s) à évaluer en fonction de l'objectif de la surveillance et des méthodes d'évaluation à appliquer pour y parvenir. Toutefois, les méthodes d'évaluation pouvant être variables et fournissant souvent des informations séparées sur les aspects technico-opérationnels, épidémiologiques, économiques voire sociologiques, la question se pose alors de l'interprétation conjointe de ces différents résultats, voire de l'intégration des méthodes d'évaluation pour permettre une évaluation complète et cohérente d'un même dispositif de surveillance.

III. Perspectives

3.1. Perspectives méthodologiques sur l'évaluation de la surveillance en santé animale

Cette étude, fondée sur l'application de plusieurs méthodes d'évaluation, a permis d'étudier à la fois les aspects opérationnels de la surveillance, comme la coordination, la communication et la formation, mais aussi sa sensibilité ainsi que son acceptabilité et sa simplicité. Toutefois, ces différents aspects ont été investigués de manière séparée, par des méthodes différentes. La question se pose alors de l'intégration de ces méthodes, et de la valorisation de leur complémentarité en un outil qui permettrait d'investiguer l'ensemble de ces attributs. Comme évoqué dans le précédent paragraphe, de nombreux guides d'aide à l'évaluation ont vu le jour récemment, proposant des méthodes d'évaluation adaptées pour des attributs pertinents en fonction du contexte socio-économique et épidémiologique local, mais les applications de ces méthodes restent indépendantes les unes des autres, la comparaison des résultats ne se faisant qu'une fois l'évaluation terminée. Par ailleurs, aucun des guides recensés ne permet d'investiguer en profondeur l'acceptabilité de la surveillance et les perceptions des acteurs, pourtant indispensable dans le contexte actuel, notamment dans le cas de dispositifs de surveillance événementielle. La question se pose ainsi de la possibilité de développer un outil générique, semi-quantitatif ou quantitatif, qui permettrait d'investiguer l'acceptabilité de la surveillance de manière standardisée afin de faciliter la comparaison avec d'autres dispositifs ; voire de son intégration aux autres méthodes d'évaluation.

Les facteurs permettant d'évaluer la qualité de la mise en œuvre de la surveillance, comme l'acceptabilité, la communication, ou les coûts non monétaires et les bénéfices de la surveillance, sont rarement examinés malgré leur importance pour les gestionnaires et leur impact sur les performances du système (Calba *et al.*, 2015a). L'acceptabilité est pourtant citée par les CDC comme l'une des principales qualités de la surveillance (German *et al.*, 2001). Jusqu'à présent, l'acceptabilité et les perceptions des acteurs étaient souvent investiguées à l'aide de méthodes qualitatives (entretiens semi-directifs par exemple), qui sont limitées par leur subjectivité, et qui rendent difficile la comparaison de plusieurs dispositifs de surveillance. Ainsi, plusieurs études ont analysé les processus de décision par l'exploration des perceptions individuelles (Hopp *et al.*, 2007 ; Elbers *et al.*, 2010a, 2010b ; Bronner *et al.*, 2014) et les contraintes économiques, sociales ou culturelles qui ont une influence sur leur décision (Sawford *et al.*, 2012 ; Paul *et al.*, 2013), en utilisant des approches anthropologiques ou des études par questionnaires. Toutefois, ces facteurs n'ont jusqu'à présent pas été intégrés au sein d'un cadre d'évaluation économique.

De nouvelles méthodes sont à l'étude, afin de développer des approches plus génériques de l'évaluation de l'acceptabilité, voire des approches semi-quantitatives qui faciliteraient l'interprétation des résultats. Dans ce cadre, deux études en particulier ont investigué l'apport des

méthodes participatives (Calba *et al.*, 2015b ; Delabouglise *et al.*, 2015), qui se définissent par un ensemble de méthodes et d'outils qui permettent à différents acteurs, à des degrés divers, de jouer un rôle actif dans la définition et l'analyse du problème qu'ils peuvent rencontrer et dans sa solution (Pretty, 1995 ; Johnson *et al.*, 2004 ; Mariner *et al.*, 2011). Ces études ont pour objectif d'étudier l'acceptabilité à travers l'estimation des bénéfices et coûts non monétaires de la surveillance (conséquences positives directes et indirectes produites par le dispositif ; mesures incitatives et dissuasives qui ne peuvent pas être directement valorisées en termes monétaire) par une estimation de la valeur économique perçue des informations sanitaires (Calba *et al.*, 2015b ; Delabouglise *et al.*, 2015). Pour cela, les méthodes participatives paraissent bien adaptées car elles sont assez flexibles pour prendre en compte le large éventail de coûts et bénéfices pouvant être perçus par les acteurs au regard des systèmes en santé animale (Catley *et al.*, 2012). Les entretiens, conduits de manière individuelle ou groupée, permettent d'investiguer la perception des coûts et bénéfices associés à une suspicion et à sa déclaration (conséquences positives et négatives), et l'influence des interactions sociales entre les acteurs sur le processus de décision à l'aide de méthodes visuelles (construction de diagrammes par les acteurs) (rôle de chaque acteur et représentation de leur propre utilité, relations entre les acteurs et reconnaissance de leur rôle respectif, conséquence du flux d'information et changement dans leurs activités et relations suite à une suspicion, confiance dans le dispositif et dans les autres acteurs). Ces informations qualitatives sont ensuite transformées en informations semi-quantitatives, par l'attribution de notes selon leur importance relative et selon leur impact sur la décision de déclarer la suspicion (Delabouglise *et al.*, 2015). Les coûts et bénéfices non monétaires peuvent être ensuite quantifiés, par l'utilisation d'une méthode des préférences déclarées et d'une analyse conjointe. Les auteurs ont ainsi adapté le principe de « propension à payer », développé en santé humaine, dans le cadre de la valeur à attribuer à une information sanitaire en tant que résultat de la surveillance (Calba *et al.*, 2015b).

Cette méthode fournit un outil semi-quantitatif, fondé sur les préférences et les méthodes participatives, permettant de quantifier les mesures incitatives et dissuasives qui ne peuvent pas être évaluées directement en termes monétaires (Delabouglise *et al.*, 2015). Pour l'instant, les auteurs se sont principalement intéressés aux éleveurs, mais l'ensemble des acteurs intervenant dans la chaîne de décision pourrait être pris en compte dans ce type d'étude. Cette méthode constitue le premier essai de développement d'une approche plus standardisée et reproductible de l'investigation de l'acceptabilité, par l'identification systématique des coûts et bénéfices directement ou indirectement liés à la surveillance en santé animale perçus par les acteurs, permettant la comparaison de l'influence relative de contraintes monétaires et non monétaires sur les prises de décision des éleveurs (Delabouglise *et al.*, 2015).

Enfin, de nombreuses réflexions voient le jour afin de mutualiser les ressources inhérentes à la surveillance, pour plusieurs maladies voire plusieurs filières (Drewe *et al.*, 2014), et ainsi diminuer les coûts de la surveillance par la création de dispositifs de surveillance intégrée, par exemple pour la surveillance de maladies exotiques (Calavas *et al.*, 2015) ; de maladies abortives chez les bovins

(Bronner et Calavas, 2015), ou encore de maladies de la filière équine (Amat *et al.*, 2015). Les possibilités d'amélioration de l'efficacité de tels programmes de surveillance seraient alors diverses, comme par exemple le partage des échantillons prélevés pour la surveillance de plusieurs maladies ou d'informations entre partenaires publics et privés. Ces propositions permettraient d'éviter la dispersion de ressources financières et humaines pour des données similaires (Ahmadi, 2014), mais nécessiteraient l'adaptation des méthodes d'évaluation des dispositifs de surveillance existantes, afin d'évaluer des indicateurs de performance définis de manière transversale, et non spécifiques d'un agent pathogène. Guo *et al.* (2015) ont proposé une méthode pour l'optimisation économique de tels systèmes de surveillance intégrée, qui repose sur un processus d'analyse multicritères incluant potentiellement une grande variété d'alternatives pour la décision. Cette méthode permet d'évaluer l'efficacité de différentes stratégies de surveillance, ainsi que leurs coûts respectifs, tout en prenant en compte les préférences de différents acteurs (poids différents selon les acteurs considérés – éleveurs, opinion publique, etc. –, en fonction de leur niveau d'importance estimé par les décideurs). Cette approche ne prend toutefois pas en compte les liens avec les stratégies de contrôle, mais son cadre conceptuel pourrait être utilisé et adapté pour définir une méthodologie d'intégration des méthodes d'évaluation de dispositifs de surveillance en santé animale.

Des développements méthodologiques sont à envisager pour faciliter l'intégration et la synergie des diverses méthodes d'évaluation. L'acceptabilité et les approches socio-économiques doivent être prises en compte et des outils doivent être développés pour évaluer ces aspects de manière plus générique, afin de les inclure de manière systématisée dans les processus d'évaluation et de faciliter les comparaisons entre les dispositifs de surveillance. Dans ce cadre, une réflexion est par exemple en cours sur l'enrichissement de l'outil Oasis par l'intégration des aspects socio-économiques. L'utilisation de processus multicritères permettant d'intégrer les critères techniques, fonctionnels, opérationnels, économiques et sociologiques paraît intéressante.

3.2. Approfondissement de l'évaluation du dispositif Sylvatub

Le travail d'évaluation du dispositif Sylvatub devra être poursuivi à plusieurs niveaux, en tenant notamment compte des perspectives méthodologiques précédemment décrites.

3.2.1. Approfondissement de l'évaluation quantitative par arbres de scénarios

3.2.1.1. Echelle géographique de l'évaluation

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 de surveillance 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, ce qui n'a pas été pris en compte dans notre analyse. 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 de surveillance 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. Une réflexion en ce sens est en cours au sein de la Plateforme Esa et de la cellule d'animation du dispositif, afin de définir les niveaux de risque et les objectifs de surveillance à une échelle infra-départementale, ce qui permettrait la réalisation d'une évaluation plus ciblée de l'efficacité.

Par ailleurs, des méthodes d'analyses spatiales pourraient également être utiles pour faciliter l'interprétation de la distribution spatiale des indicateurs épidémiologiques étudiés, et analyser l'influence de la densité de population sur les variations spatiales du paramètre étudié (compte tenu de l'hétérogénéité des densités de populations selon les zones géographiques, pouvant conduire à une puissance statistique hétérogène, une méthode reposant sur des unités de populations homogènes pourrait être utilisée ; [Bronner et al., 2015b](#)).

3.2.1.2. Echelle temporelle de l'évaluation

La complémentarité des composantes de surveillance devrait également être considérée d'un point de vue temporel : en effet, la surveillance événementielle 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 événementielle par le réseau Sagir est appliquée en continu, rendant ainsi la détection de cas possible tout au long de l'année. Des simulations mensuelles permettraient ainsi d'affiner les résultats.

3.2.1.3. Evolution de la procédure diagnostique

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 polycontaminations éventuelles). Une PCR plus spécifique de *M. bovis* a été récemment développée au LNR, et intégrée aux outils diagnostiques utilisés dans le cadre du dispositif Sylvatub. La PCR est 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.

Par ailleurs, un test sérologique permettant la détection des anticorps vis-à-vis de *M. bovis* a récemment été évalué sur les sangliers et pourrait éventuellement constituer une bonne alternative pour le dépistage (Boadella *et al.*, 2011b ; Richomme *et al.*, 2013). Il serait rapide à mettre en œuvre et moins coûteux, ce qui est particulièrement important lorsqu'un dépistage est envisagé à grande échelle (Beerli *et al.*, 2015). Toutefois, il semblerait que ces tests sérologiques présentent un défaut de spécificité, notamment en raison de réactions croisées avec *M. microti* (de Lisle *et al.*, 2002 ; Beerli *et al.*, 2015), ce qui peut limiter leur utilisation dans des zones à forte prévalence de mycobactéries non tuberculeuses, comme dans certaines régions d'Espagne (Garcia-Jiménez *et al.*, 2013 ; Chiari *et al.*, 2015) ou d'Italie (Boniotti *et al.*, 2014).

3.2.1.4. Approfondissement de l'évaluation des coûts

L'évaluation des coûts devra être approfondie, notamment en ce qui concerne les coûts inhérents à l'animation nationale et locale par les différents partenaires, et en particulier pour le monde de la chasse (FDC et SD ONCFS notamment). Par ailleurs, les coûts subjectifs, non monétaires, liés à la perte de la carcasse pour le chasseur pourraient être investigués en lien avec leur acceptabilité. Enfin, pour évaluer de manière plus globale les coûts de la surveillance de la tuberculose dans la faune sauvage, les coûts inhérents à la surveillance par le réseau Sagir dans son fonctionnement classique devront être évalués, en les distinguant des coûts liés à la surveillance des autres maladies par ce réseau généraliste.

Les coûts devront également être évalués de manière plus dynamique, notamment pour prendre en compte la charge supplémentaire liée à l'augmentation du niveau de risque d'un département (réunions voire formations supplémentaires par rapport à un département classé dans ce niveau depuis plusieurs années, comme ce qui a été évalué dans ce travail, en raison de l'appropriation nécessaire par les acteurs des nouvelles modalités de surveillance). Les coûts d'investissement et les questions d'amortissement pourront également être investigués pour l'achat de matériel spécifique et pour certaines activités d'animation non reconduites chaque année.

3.2.1.5. Analyse de sensibilité

Compte tenu de leur complexité, les arbres de scénarios ont été élaborés par composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale, ce qui n'a pas permis la réalisation d'une analyse de sensibilité prenant en compte ces facteurs sur l'estimation de l'efficacité de la surveillance. Toutefois, il semble primordial de pouvoir conduire cette analyse de sensibilité, pour estimer l'influence relative du niveau de risque, de l'espèce animale, de la prévalence, de la procédure diagnostique et des différents facteurs comportementaux (probabilité de détection de lésions évocatrices et de déclaration d'une suspicion de tuberculose, probabilité de collecte d'un animal mort ou mourant). En effet, nos premiers résultats montrent que le niveau de risque (et donc la prévalence limite) et la densité semblent avoir un impact important sur les estimations de sensibilité.

3.2.1.6. Evaluation de stratégies de surveillance alternatives

L'enquête européenne sur les méthodes de surveillance de l'infection à *M. bovis* a montré que d'autres pays avaient mis en œuvre une surveillance de certaines espèces sauvages libres (Rivière *et al.*, 2014a). Il serait ainsi intéressant d'identifier les mesures de surveillance pouvant être appliquées en France, et de les intégrer dans de nouveaux arbres de scénarios afin de tester leur efficacité sur le territoire. Les arbres de scénarios pourront ainsi être utilisés comme outils d'aide à la prise de décision pour le choix de futures stratégies de surveillance les plus coût-efficaces possible, en fonction de critères socio-géographiques notamment (Hadorn *et Stärk*, 2008). Les analyses coût-efficacité peuvent également être utilisées pour la comparaison d'une stratégie alternative par rapport à une stratégie de référence, par l'estimation du ratio coût-efficacité différentiel (différence de coûts entre les deux stratégies rapportée à la différence d'efficacité) ; ou pour la comparaison de l'évolution d'une stratégie par rapport aux modalités déjà en place, par l'estimation du ratio coût-efficacité marginal (variation du coût lié à l'évolution de l'activité de surveillance rapportée à celle de son efficacité) (dans notre étude, seul le ratio coût-efficacité moyen, relativement difficile à interpréter, a été utilisé). Par ailleurs, pour faciliter son analyse, il pourrait être utile de disposer d'une valeur d'efficacité minimale attendue par les gestionnaires, et/ou du coût maximal toléré.

3.2.2. Approche dynamique

Afin de prendre en compte la dynamique épidémiologique de diffusion de la maladie intra- et inter-espèce, il pourrait être intéressant de coupler aux méthodes quantitatives d'évaluation un modèle dynamique de diffusion, permettant de prendre en compte à la fois les aspects spatiaux et temporels de la diffusion épidémiologique.

3.2.3. Evaluation de la qualité des données

La base Sylvatub était assez récente et a subi plusieurs transformations au cours de cette étude. Des erreurs de classement des animaux ont été identifiées et ont conduit à un travail important de nettoyage de la base. Il semble donc pertinent d'évaluer la qualité des données produites par le dispositif Sylvatub, car ce facteur peut influencer la qualité et la fiabilité des résultats (German *et al.*, 2001 ; Palussière *et al.*, 2014).

En santé animale, aucune méthode particulière d'évaluation de la qualité des données de dispositifs de surveillance n'existait jusqu'au développement récent de la méthode de Palussière *et al.* (2014). Cette méthode repose sur une combinaison d'une approche quantitative, visant à estimer des indicateurs relatifs à diverses dimensions de la qualité, et d'une approche qualitative, permettant d'aider à l'interprétation des résultats quantitatifs par l'identification des facteurs influençant la qualité des données. Les attributs évalués de manière quantitative peuvent concerner la complétude (données renseignées dans leur totalité), le format, la validité, la vitesse de circulation des données et leur conformité (ou exactitude, souvent estimée de manière indirecte à travers la conformité

syntaxique, la plausibilité et la cohérence) (Weiskopf and Weng, 2013 ; Palussière *et al.*, 2014 ; Bronner *et al.*, 2015a ; Queré *et al.*, 2015). La proportion de données avec erreurs peut alors être comparée à un taux basal pouvant être expliqué par des erreurs d'inadvertance ou de collecte. Si la proportion de données erronées dépasse un certain seuil, cela peut signifier un manque de connaissance ou de sensibilisation des acteurs impliqués dans la collecte ou la saisie des données. Enfin, l'analyse qualitative peut porter sur la compréhensibilité, la pertinence des données à collecter et leur crédibilité par exemple (Palussière *et al.*, 2014 ; Bronner *et al.*, 2015a). L'analyse peut être effectuée à l'échelle nationale, mais également départementale, afin d'étudier les aspects locaux des étapes de collecte et de saisie sur la qualité des données locales. L'amélioration de la qualité des données peut concerner diverses étapes de la surveillance : l'animation, la collecte, la saisie, le traitement et l'analyse des données par exemple (Palussière *et al.*, 2014).

3.2.4. Application d'autres méthodes d'évaluation quantitative

Il serait également intéressant d'estimer les valeurs prédictives négative et positive de la surveillance (O'Brien *et al.*, 2004 ; Grosbois *et al.*, 2015). Dans le cadre de la surveillance événementielle, l'élément déclencheur est la découverte de lésions évocatrices de tuberculose, mais il faudrait pouvoir estimer la probabilité qu'un animal ne présentant pas de lésion soit vraiment indemne de tuberculose par exemple. Le niveau de confiance dans les méthodes de dépistage est en effet primordial, afin de maintenir la crédibilité du dispositif de surveillance et d'entretenir la motivation des acteurs de terrain. Il serait également intéressant d'utiliser les méthodes décrites par Martin *et al.* (2007a) pour estimer la probabilité que les départements de niveau 1 soient réellement indemnes de tuberculose, pour chacune des espèces animales étudiées (probabilité que la zone soit indemne considérant qu'aucun résultat positif n'est détecté). Cette étude nécessiterait peut-être quelques ajustements méthodologiques comme cela a été le cas pour une étude effectuée en Nouvelle-Zélande (cette approche nécessitant l'estimation de probabilités *a priori* que la maladie soit absente de la zone sous certaines conditions ; Anderson *et al.*, 2015).

3.2.5. Approfondissement de l'acceptabilité de la surveillance par l'estimation des coûts et bénéfices non monétaires et une approche multicritères

Les conséquences peuvent être exprimées soit par un indicateur unique, illustrant l'efficacité du dispositif évalué, soit par des indicateurs multiples, laissant la possibilité au gestionnaire de leur attribuer des valeurs relatives dans un objectif d'aide à la décision. La complexité du dispositif de surveillance Sylvatub et la multitude des espèces concernées nécessiteraient de réaliser une analyse multicritères afin d'identifier des indicateurs d'efficacité pondérés par leur importance, facilitant ainsi la prise de décision pour les gestionnaires. Par ailleurs, il serait intéressant d'estimer les coûts et bénéfices non monétaires, et donc de la valeur perçue de la surveillance (par exemple, une surveillance efficace sur les espèces sauvages peut avoir comme bénéfice une diminution de la contamination des pâtures et des élevages bovins).

3.3. Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose en élevage bovin

L'évaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose en élevage bovin à l'aide de la méthode quantitative par arbre de scénarios a également été initiée en parallèle de ce travail et sera poursuivie. En effet, comme présenté dans le chapitre II, les foyers sauvages ont jusqu'à présent pour la plupart été identifiés à proximité des foyers bovins ; les populations domestiques étant *a priori* à l'origine de la contamination des populations sauvages. En raison des échanges et interactions entre les compartiments domestiques et sauvages, l'efficacité de la surveillance et des mesures de lutte dans un compartiment influence en retour l'efficacité de la surveillance et des mesures de lutte dans l'autre compartiment et *vice-versa*. Ainsi, afin d'étudier la surveillance de la tuberculose en France dans sa globalité, il semblait important d'évaluer les dispositifs de surveillance conjointement afin de prendre en compte les interactions entre populations domestiques et sauvages dans ce système multi-hôtes particulier de l'infection à *M. bovis*.

3.3.1. Contexte

L'évaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose en élevage bovin présente des enjeux particuliers, du fait de la situation sanitaire actuelle et des contraintes réglementaires portant sur cette maladie. En effet, la tuberculose étant une maladie en voie d'éradication en France, il devient de plus en plus difficile de détecter les animaux atteints, à la fois au regard de la discrétion des manifestations cliniques, du caractère chronique de l'infection et irrégulier de la réaction allergique. Par ailleurs, la faible proportion du nombre d'animaux atteints implique de nombreuses erreurs par excès lors des tests de dépistage, engendrant de lourdes conséquences sociales et économiques. Dans ce contexte, l'investissement humain et financier nécessaire à la mise en place de la surveillance est considérable, et la question de la pertinence de cet investissement par rapport aux résultats obtenus se pose alors. Ce problème est particulièrement aigu lorsque les activités de dépistage sont difficiles à conduire et nécessitent une forte motivation des acteurs de terrain, ce qui est le cas de l'acte de tuberculination. Par ailleurs, la prévalence globale de la tuberculose étant relativement faible en France, le maintien d'une vigilance constante à un niveau suffisant est difficile.

La surveillance de la tuberculose en élevage bovin est réglementée à l'échelle européenne et repose sur la combinaison de plusieurs composantes : (1) dépistage en élevage par intradermotuberculination, dont la périodicité dépend du niveau de risque local, (2) contrôle lors des mouvements d'animaux, (3) recherche de lésions évocatrices de tuberculose à l'abattoir à l'occasion de l'inspection de salubrité, (4) enquêtes épidémiologiques suite à la découverte d'un foyer infecté.

3.3.2. Evaluation de la sensibilité du dispositif

Le dispositif de surveillance de la tuberculose bovine en élevage a déjà été évalué par la méthode Oasis en 2012 (Anses, 2012), qui a mis en évidence certaines faiblesses concernant notamment la formation des vétérinaires à l'intradermotuberculination, qui peut avoir un impact sur

la sensibilité et la qualité des données collectées, la qualité des enquêtes épidémiologiques permettant de cibler la surveillance sur les cheptels à risque, les outils de dépistage et de diagnostic au laboratoire, la pertinence du maintien du contrôle aux mouvements et la qualité de la surveillance lésionnelle à l'abattoir. Une évaluation quantitative de la sensibilité de la surveillance à l'aide de la méthode des arbres de scénarios permettra d'affiner les premiers résultats obtenus par l'évaluation Oasis, et d'évaluer le gain de sensibilité qui serait permis par la mise en œuvre des recommandations formulées. Par ailleurs, avec la diminution progressive des dépistages systématiques dans la plupart des départements et l'arrêt de la surveillance par le contrôle aux mouvements, la détection repose actuellement principalement sur la détection de lésions évocatrices de tuberculose à l'abattoir et sur les investigations ciblées dans les élevages foyers et les élevages à risque. Ainsi, la sensibilité globale de la surveillance varie selon les zones, en fonction de la prévalence et des mesures de surveillance appliquées. Les arbres de scénarios en cours d'élaboration pour chacune des composantes doivent prendre en compte la variabilité des gestions départementales mises en évidence dans l'évaluation Oasis (diversité des situations épidémiologiques, des problématiques – éradication ou surveillance –, des modalités de surveillance et des rythmes de prophylaxie par exemple). Par ailleurs, la modélisation stochastique permettra d'illustrer la variabilité de la qualité de la réalisation des intradermotuberculinations par les vétérinaires (Humblet *et al.*, 2009) et de la qualité de l'inspection sanitaire en abattoir par exemple.

Cette étude présente plusieurs particularités par rapport à l'évaluation du dispositif Sylvatub : (1) l'évaluation sera en partie contrainte par les aspects réglementaires encadrant le dispositif, (2) les analyses seront effectuées à l'échelle du troupeau et non plus à l'échelle individuelle, (3) les données seront a priori plus facilement accessibles (*via* le centre de services des données développé dans le cadre de la Plateforme Esa), et plus fiables.

3.3.3. Evaluation économique du dispositif

Il y a déjà eu plusieurs débats et recherches sur la justification technique et économique des stratégies de contrôle de la tuberculose (Smith *et al.*, 2007 ; Torgerson, 2010 ; Torgerson et Torgerson, 2010 ; Bessel *et al.*, 2013 ; Godfray *et al.*, 2013 ; Ahmadi, 2014). En France, la lutte contre la tuberculose bovine représente environ 20 millions d'euros chaque année, dont environ 75 % sont destinés à l'assainissement des foyers (indemnisation des animaux abattus). Les mesures du plan d'action représentent un surcoût d'environ 10 millions d'euros, destinés à l'indemnisation (60 %), au renforcement des moyens de surveillance (20 %), et aux aides pour les structures en charge de la lutte contre la maladie (20 %). L'impact économique indirect sur les échanges commerciaux est également important à étudier, en relation avec le statut officiel du pays (bovins destinés à l'engraissement, vente de reproducteurs au sein ou à l'extérieur de l'U.E.). Les différents protocoles de dépistage actuellement en vigueur ou à l'étude en France (IDS en première intention suivie d'une IDC de recontrôle, IDC en première intention suivie d'une IDC en recontrôle, abattage diagnostique

directement après une première IDS ou IDC non négative, recontrôle par IFN- γ par exemple) pourraient être comparés par une évaluation combinée de leur coût et de leur efficacité.

3.3.4. Evaluation socio-comportementale du réseau d'acteurs

Une étude sur l'acceptabilité des mesures de surveillance pourrait également être utile. En effet, l'évaluation Oasis a montré un manque de simplicité et de clarté des définitions de cas et du schéma décisionnel. La combinaison de tests de dépistage conduit à des délais importants de blocage des élevages suspects, ce qui induit probablement une diminution de l'acceptabilité du dispositif. Dans ce cadre, l'investigation du rapport coût-efficacité de la mise en œuvre du protocole IFN- γ semble ainsi pertinente (son acceptabilité a déjà été en partie évaluée, [Boireau, 2015](#)). Une simplification des procédures pourrait cependant conduire à une augmentation du nombre de déclaration de suspicions, au détriment de la valeur prédictive positive ([Anses, 2012](#)). L'évaluation Oasis a également montré que la mobilisation importante des ressources humaines et financières dans les départements très infectés pouvait remettre en cause la durabilité de la surveillance ([Anses, 2012](#)) et a recommandé une étude de l'impact de la simplification et de l'harmonisation des procédures, en parallèle d'une réflexion sur l'allègement des conséquences d'une suspicion ou d'un cas. L'analyse de la faisabilité d'une surveillance de qualité à l'abattoir en fonction des contraintes économiques et de cadence selon les typologies d'abattoir serait également intéressante.

L'attitude des éleveurs face à un dépistage annuel serait influencée par divers facteurs, comme la taille de l'élevage, la conduite de l'élevage et le coût ([Benjamin et al., 2010](#)), ainsi que le contexte social et la perception du risque vis-à-vis de la tuberculose ([Naylor et Courtney, 2014](#)). La qualité des outils de dépistage, et notamment leur défaut de spécificité, peut également influencer la perception positive ou négative vis-à-vis du dispositif de surveillance.

3.3.5. Interconnexion entre l'évaluation de la surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin et dans la faune sauvage

Il serait également intéressant de conduire une étude qualitative sur la perception du risque par les éleveurs, en particulier lié à la faune sauvage, comme cela a déjà été fait dans certains pays ([Brook et McLachlan, 2006](#) ; de [Gariné-Wichatitsky et al., 2013](#)). Une meilleure compréhension du rôle joué par la faune sauvage et une communication à ce sujet pourrait favoriser l'acceptabilité de la lutte contre la tuberculose en général, que ce soit en élevage bovin ou dans la faune sauvage ([Brook et McLachlan, 2006](#)) et pourrait favoriser l'acceptabilité de certaines recommandations comme le renforcement des mesures de biosécurité par exemple. La perception des acteurs du monde agricole sur la surveillance conduite par le dispositif Sylvatub dans la faune sauvage serait également intéressante à investiguer, comme l'ont illustrés les premiers résultats obtenus dans cette étude (chapitre IV).

CONCLUSION

La surveillance épidémiologique est un outil scientifique qui permet de fournir des informations factuelles pour la prise de décisions en santé animale. Toutefois, les décisions d'action ne dépendent pas uniquement de la situation sanitaire de la maladie étudiée documentée par les informations fournies par le dispositif de surveillance, mais également de nombreux autres facteurs comme des considérations pratiques, politiques, économiques ou sociales.

La mise en œuvre d'évaluations régulières et pertinentes des dispositifs de surveillance est indispensable pour s'assurer que le dispositif produit des données fiables et de qualité, et pour améliorer l'efficacité de la surveillance, au regard des ressources disponibles (humaines, financières, matérielles) et du réseau d'acteurs sur lequel s'appuient les activités de surveillance. Les enjeux de l'évaluation sont ainsi techniques, opérationnels, économiques, mais également institutionnels, sociétaux voire politiques, avec des conséquences sur le comportement des acteurs à l'échelle locale.

Cette étude visait à évaluer, à l'aide de différentes méthodes, un dispositif de surveillance complexe. Nous nous sommes intéressés au dispositif Sylvatub qui a pour objectif la surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage libre, et avons appliqué des méthodes d'évaluation qualitative, semi-quantitative et quantitative, permettant d'évaluer à la fois des attributs de performance de la surveillance, mais également des attributs économiques et sociologiques.

Alors que la plupart des évaluations des dispositifs de surveillance se fondent sur une approche unique, notre étude a illustré la complémentarité de différentes méthodes d'évaluation. L'évaluation semi-quantitative par la méthode Oasis a permis de fournir un diagnostic général du dispositif, en identifiant ses forces et ses faiblesses et a permis la formulation de propositions d'amélioration, dont certaines ont été intégrées à la mise à jour de la note de service encadrant le dispositif. L'évaluation quantitative par modélisation stochastique des probabilités de détection de l'infection à *M. bovis* (estimation de sensibilité) à l'aide d'arbres de scénarios a permis de modéliser l'hétérogénéité du processus de détection entre les zones géographiques (zones à faible ou fort risque d'infection, modélisé à travers les niveaux de risque départementaux) et les espèces animales surveillées (sanglier, cerf, chevreuil, blaireau), tout en intégrant des facteurs comportementaux tels que la capacité d'un acteur à détecter des lésions évocatrices de tuberculose et sa propension à les déclarer. Par ailleurs, cette méthode a permis l'estimation des coûts de la surveillance, en distinguant les coûts relatifs à l'animation, à la collecte des animaux et aux analyses de laboratoire. Par la combinaison des attributs économiques et de performance, l'évaluation quantitative a permis l'estimation d'un ratio coût-efficacité, pouvant être utile dans le cadre de la prise de décision en permettant de rationaliser les dépenses inhérentes à la surveillance en fonction de son efficacité. Enfin, l'enquête qualitative sociologique conduite auprès de divers groupes d'acteurs impliqués dans le dispositif a permis de mieux comprendre leur perception du dispositif, leurs attentes et besoins ainsi que les facteurs motivationnels ou bloquants influençant leur volonté de participer à la surveillance.

A l'issue de cette étude, nous avons pu conclure à une bonne sensibilité de la surveillance programmée, engendrant toutefois des coûts importants en termes d'animation, de collecte et

d'analyses. Par ailleurs, cette composante semble soumise à une faible acceptabilité, notamment en ce qui concerne le piégeage des blaireaux. Cette activité est très chronophage et peu reconnue par les partenaires du dispositif et le taux de réalisation de l'échantillonnage prévu est hétérogène entre les départements. Parmi les composantes de surveillance événementielle, la surveillance par examen de carcasse présente une meilleure sensibilité que la surveillance par le réseau Sagir, mais présente en contrepartie un coût unitaire plus élevé, qui s'explique notamment par des activités d'animation et de sensibilisation plus importantes. Par ailleurs, son acceptabilité semble moindre que pour la surveillance par le réseau Sagir, ce dernier s'appuyant sur un réseau d'acteurs existant et fonctionnel depuis de nombreuses années.

Ces travaux trouvent une application directe en matière d'aide à la prise de décision sanitaire. Ils ont en effet permis la formulation de recommandations pertinentes pour l'évolution du dispositif et son amélioration, et ont permis de souligner les avantages méthodologiques de l'utilisation de plusieurs méthodes d'évaluation de façon complémentaire. Ainsi, le développement de la méthode des arbres de scénarios pour des maladies enzootiques semble bien adapté à la prise de décision, facilitant le choix d'une stratégie de surveillance en fonction de son rapport coût-efficacité, et permet d'introduire la modélisation d'aspects socio-comportementaux. Dans un contexte de ressources limitées où la surveillance des maladies, notamment par des modalités événementielles, se caractérise souvent par une efficacité limitée, il est primordial d'investiguer l'acceptabilité des mesures de surveillance pour s'assurer de la stabilité et de la durabilité du dispositif, notamment lorsqu'il repose sur des groupes d'acteurs divers, pour la plupart bénévoles et non professionnels, ayant des intérêts parfois divergents.

Le travail conduit dans le cadre de cette thèse a consisté en des évaluations réalisées de manière indépendante. Il serait intéressant, comme indiqué dans les perspectives de cette étude, de développer une réflexion méthodologique sur l'intégration et la synergie des différentes méthodes d'évaluation, afin de faciliter l'interprétation des résultats issus de l'évaluation de divers attributs à partir de diverses méthodes, notamment en ce qui concerne les attributs sociologiques. Ce travail suscite ainsi des développements méthodologiques qui permettraient d'enrichir les méthodes d'évaluation existantes, nécessitant une approche pluridisciplinaire et la mobilisation de compétences en économie et en sociologie.

Par ailleurs, ces travaux nécessiteraient des approfondissements pour proposer des recommandations d'amélioration plus adaptées : évaluation de la surveillance à des échelles géographique et temporelle plus fines, prise en compte de l'aspect dynamique et évolutif des mesures de surveillance (niveaux de risque) dans l'estimation des coûts notamment, analyse multicritères afin de prendre en compte les opinions et préférences de divers groupes d'acteurs, etc. Enfin, les enjeux de la surveillance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage étant en lien étroit avec la lutte contre la tuberculose en élevage bovin et le maintien du statut indemne de la France, des travaux sont en cours pour l'évaluation du coût, de la sensibilité et de l'acceptabilité des composantes de surveillance en élevage, afin de compléter ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- AFFA (2001) Guidelines for Import Risk Analysis: Working Draft. Biosecurity Australia. In: *Australian Government. Departement of Agricultural and Water Resources*.
[<http://www.daff.gov.au/content/publications.cfm?ObjectID=85B98CC3-86DE-48AE-8A76D4A40F33245A>].
- Ahmadi B.V. (2014) Does animal health surveillance give value for money? *Vet. Rec.* **4**, 14-16.
- Ahnlund H. (1980) Aspects of the population dynamics of the badger (*Meles meles*). Thèse d'Université, Université de Stockholm.
- Alba A., Casal J., Napp S., Martin P.A.J. (2010) Assessment of different surveillance systems for avian influenza in commercial poultry in Catalonia (North-Eastern Spain). *Prev. Vet. Med.* **97**, 107-118.
- Alban L., Boes J., Kreiner H., Petersen J.V., Willeberg P. (2008) Towards a risk-based surveillance for *Trichinella* spp. in Danish pig production. *Prev. Vet. Med.* **87**(3-4), 340-357.
- Amat J.P., Hendriks P., Tapprest J., Leblond A., Dufour B. (2015) Comparative evaluation of three surveillance systems for infectious equine diseases in France and implications for future synergies. *Epidemiol. Infect.* doi:10.1017/S0950268815000217.
- Anderson W., Trehwella W. (1985) Population dynamics of the badger (*Meles meles*) and the epidemiology of bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*). *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* **310**, 327-381.
- Anderson D.P., Ramsey D.S.L., de Lisle G.W., Bosson M., Cross M.L., Nugent G. (2015) Development of integrated surveillance systems for the management of tuberculosis in New Zealand wildlife. *N. Z. Vet. J.* **63**(supplement 1), 89-97.
- Andrzejewski R., Jezierski W. (1978) Management of a wild boar population and its effect on commercial land. *Acta Theriol.* **23**, 309-339.
- Anses (2010) Oasis : Outil d'analyse de système d'information en santé. In : *Plateforme-Esa, Outils et méthodes, Méthode Oasis*. 52 p. [http://www.plateforme-esa.fr/sites/default/files/images/documents/oasis/rapport_oasis_maj2013.pdf].
- Anses (2011) Rapport sur la tuberculose bovine et faune sauvage. Avis 2010 SA 0154, 119 p.
- Anses (2012) Evaluation technique du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine selon la méthode Oasis. 32 p.
- Antoine D., Jarlier V. (2010) Encadré : la tuberculose humaine à *Mycobacterium bovis* en France. Numéro Hors-Série. Zoonoses : pour une approche intégrée de la santé à l'interface Homme-Animal. *Bull. Epidemiol. Hebd. (Hors-Série)*. n°28.
- Antoine-Moussiaux N., Binot A., Chaudron M., Goutard F., Roger F., Peyre M. (2011) Socio-economic evaluation of animal health surveillance: principles and prospects. CIRAD-AFD Report, 41 p. In: *REVASIA, Evaluation de la surveillance en santé animale, Publications*. [<http://revasia.cirad.fr/publications/rapports>].
- Artois M. (2003) Wildlife infectious disease control in Europe. *J. Mt. Ecol.* **7** (Suppl), 89-96.
- Artois M., Delahay R., Guberti V., Cheeseman C. (2001) Control of infectious diseases of wildlife in Europe. *Vet. J.* **162**, 141-152.
- Aurtenetxe O., Barral M., Vicente J., de la Fuente J., Gortazar C., Juste R.A. (2008) Development and validation of an enzyme-linked immunosorbent assay for antibodies against *Mycobacterium bovis* in European wild boar. *BMC Vet. Res.* **4**, 43. doi: 10.1186/1746-6148-4-43.
- Babo-Martins S., Rushton J. (2014) Cost-effectiveness analysis – adding value to animal health, welfare and production assessment. *Rev. Sci. Tech.* **33**(3), 681-689.

- Baldock C. (2000) New directions in animal health surveillance. In: *Proceedings of the Animal Health Australia—Securing Our Future*. Canberra, November 2-3, 2000.
- Balseiro A., Gonzales-Quiros P., Rodriguez O., Copano M.F., Merediz I., de Juan L., Chambers M.A., Delahay R.J., Marreros N., Royo L.J., Bezos J., Prieto J.M., Gortazar C. (2013) Spatial relationships between Eurasian badgers (*Meles meles*) and cattle infected with *Mycobacterium bovis* in Northern Spain. *Vet. J.* **197**(3), 739-745. doi: 10.1016/j.tvjl.2013.03.017.
- Barnes A.P., Moxey A.P., Ahmadi B.V., Borthwick F.A. (2015) The effect of animal health compensation on 'positive' behaviours towards exotic disease reporting and implementing biosecurity: a review, a synthesis and a research agenda. *Prev. Vet. Med.* **122**, 42-52.
- Baubet E. (1998) Biologie du sanglier en montagne. Thèse d'Université, Université Claude Bernard – Lyon, 300 p.
- Baubet E., Brandt S., Julien J.M., Vassant J. (1994) Valeur de l'examen de la denture pour la détermination de l'âge chez le sanglier (*Sus scrofa*). *Gibier Faune Sauvage*. **11**, 119-132.
- Beaud S., Weber F. (2003) *Guide de l'enquête sur le terrain : produire et analyser des données ethnographiques*. Ed. Repères. La Découverte, 356 p.
- Becker H.S. (2002) *Les ficelles du métier : comment conduire sa recherche en sciences sociales*. Ed. Repères. La Découverte, 360 p.
- Berli O., Blatter S., Boadella M., Schöning J., Schmitt S., Ryser-Degiorgis M.P. (2015) Towards harmonized procedures in wildlife epidemiological investigations: a serosurvey of infection with *Mycobacterium bovis* and closely related agents in wild boar (*Sus scrofa*) in Switzerland. *Vet. J.* **203**(1), 131-133.
- Belant J.L., Deese A.R. (2010) Importance of wildlife disease surveillance. *Hum. Wildl. Interact.* **4**(2), 165-169.
- Beltran-Beck B., Ballesteros C., Vicente J., de la Fuente J., Gortazar C. (2012) Progress in oral vaccination against tuberculosis in its main wildlife reservoir in Iberia, the Eurasian wild boar. *Vet. Med. Int.* doi:10.1155/2012/978501.
- Bénet J.J., Boschioli M.L., Dufour B., Garin-Bastuji B. (2006) Lutte contre la tuberculose bovine en France de 1954 à 2004 : Analyse de la pertinence de la réglementation. *Epidemiol. et santé anim.* **50**, 127-143.
- Benjamin L.A., Fosgate G.T., Ward M.P., Roussel A.J., Feagin R.A., Schwartz A.L. (2010) Attitudes towards biosecurity practices relevant to Johne's disease control on beef cattle farms. *Prev. Vet. Med.* **94**, 222-230.
- Bessell P.R., Orton R., O'Hare A., Mellor D.J., Logue D., Kao R.R. (2013) Developing a framework for risk-based surveillance of tuberculosis in cattle: a case study of its application in Scotland. *Epidemiol. Infect.* **141**, 314-323.
- Bezos J., Alvarez J., Romero B., de Juan L., Dominguez L. (2014a) Bovine tuberculosis: historical perspective. *Res. Vet. Sci.* doi: 10.1016/j.rvsc.2014.09.003.
- Bezos J., Casal C., Romero B., Schroeder B., Hardegger R., Raeber A.J., Lopez L., Rueda P., Dominguez L. (2014b) Current ante-mortem techniques for diagnosis of bovine tuberculosis. *Res. Vet. Sci.* doi:10.1016/j.rvsc.2014.04.002.
- Bicknell K.B., Wilen J.E., Howitt R.E. (1999) Public policy and private incentives for livestock disease control. *Aust. J. Agr. Econ.* **43**, 501-521.
- Bieber C., Ruf T. (2005) Population dynamics in wild boar *Sus scrofa*: ecology, elasticity of growth rate and implications for the management of pulsed resources consumers. *J. Appl. Ecol.* **42**, 1203-1213.
- Biet F., Boschioli M.L., Thorel M.F., Guilloteau L. (2005) Zoonotic aspects of *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium avium-intracellulare* complex (MAC). *Vet. Res.* **36**, 411-436.

- Blickenstorfer S., Schwermer H., Engels M., Reist M., Doherr M.G., Hadorn D.C. (2011) Using scenario tree modeling for targeted herd sampling to substantiate freedom from disease. *BMC Vet. Res.* **7**, 49. doi: 10.1186/1746-6148-7-49.
- Boadella M., Gortazar C., Acevedo P., Carta T., Martin-Hernando M.P., de la Fuente J., Vicente J. (2011a) Six recommendations for improving monitoring of diseases shared with wildlife: examples regarding mycobacterial infections in Spain. *Eur. J. Wildl. Res.* **57**(4), 697-706.
- Boadella M., Lyashchenko K., Greenwald R., Esfandiari J., Jaroso R., Carta T., Garrido J.M., Vicente J., de la Fuente J., Gortazar C. (2011b) Serologic tests for detecting antibodies against *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium avium* subspecies *paratuberculosis* in Eurasian wild boar (*Sus scrofa scrofa*). *J. Vet. Diagn. Invest.* **23**, 77-83.
- Boadella M., Acevedo P., Vicente J., Mentaberre G., Balseiro A., Arnal M., Martinez D., Garcia-Bocanegra I., Casal C., Alvarez J., Oleaga A., Lavin S., Munoz M., Saez-Llorente J.L., de la Fuente J., Gortazar C. (2011c) Spatio-temporal trends of Iberian wild boar contact with *Mycobacterium tuberculosis* complex detected by ELISA. *EcoHealth.* **8**(4), 478-484.
- Boadella M., Barasona J.A., Diaz-Sanchez S., Lyashchenko K.P., Greenwald R., Esfandiari J., Gortazar C. (2012) Performance of immunochromatographic and ELISA tests for detecting fallow deer infected with *Mycobacterium bovis*. *Prev. Vet. Med.* **104**, 160-164.
- Bocklund A., Toft N., Alban L., Uttenthal A. (2009). Comparing the epidemiological and economic effects of control strategies against classical swine fever in Denmark. *Prev. Vet. Med.* **90** (3-4), 180-193.
- Bocklund A., Dahl J., Alban L. (2013) Assessment of confidence in freedom from Aujeszky's disease and classical swine fever in Danish pigs based on serological sampling – Effect of reducing the number of samples. *Prev. Vet. Med.* **110**(2), 214-222.
- Bodin C. (2005) Partage de l'espace et relations de voisinage dans une population continentale de Blaireaux européens (*Meles meles*). Thèse d'Université, Université Montpellier 2, 135 p.
- Bodin C. (2012) Elaboration et validation d'outils de suivi des populations de Blaireaux européens (*Meles meles*). Rapport d'activité « Outils de veille de l'état des populations de mustélidés », 85 p.
- Boireau C. (2015) La mise en place du protocole expérimental d'évaluation du test de dosage de l'interféron gamma par les acteurs locaux du sanitaire : acceptation des nouvelles mesures, avis sur leur nécessité, identification des freins et des facteurs de blocage dans le cadre d'un changement de gestion, analyse des enjeux et des défis pour le gestionnaire. Mémoire de Master de management et administration des entreprises : management de l'action collective en santé publique, 75 p.
- Bollo E., Ferroglio E., Dini V., Mignone W., Biolatti B., Rossi L. (2000) Detection of *Mycobacterium tuberculosis* complex in lymph nodes of wild boar (*Sus scrofa*) by a target-amplified test system. *J. Vet. Med.* **47**, 337-342.
- Bonenfant C., Gaillard J.M., Klein F., Loison A. (2002) Sex- and age- dependant effects of population density on life history traits of red deer *Cervus elaphus* in a temperate forest. *Ecography.* **25**, 446-458.
- Boniotti M.B., Gaffuri A., Gelmetti D., Tagliabue S., Chiari M., Mangeli A., Spisani M., Nassuato C., Gibelli L., Sacchi C., Zanoni M., Pacciarini L. (2014) Detection and molecular characterization of *Mycobacterium microti* isolates in wild boar from Northern Italy. *J. Clin. Microbiol.* **52**(8), 2834. doi: 10.1128/JCM.00440-14.
- Braun C. (2007) Estimation de la densité du Blaireau d'Europe (*Meles meles*) dans le piémont bas-rhinois. *Ciconia.* **31**, 7-18.

- Bronner A., Calavas C. (2015) Analyse de quatre indicateurs indirects de survenue d'avortements chez les bovins : évaluation de leurs performances et perspectives d'utilisation. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim. A paraître*.
- Bronner A., Hénaux V., Vergne T., Vinard J.L., Morignat E., Hendriks P., Calavas D., Gay E. (2013) Assessing the mandatory bovine abortion notification system in France using unilist capture-recapture approach. *PLoS ONE*. **8**(5): e63246. doi:10.1371/journal.pone.0063246.
- Bronner A., Hénaux V., Fortané N., Hendriks P., Calavas D. (2014) Why do farmers and veterinarians not report all bovine abortions, as requested by the clinical brucellosis surveillance system in France ? *BMC Vet. Res.* **10**, 93. doi: 10.1186/1746-6148-10-93.
- Bronner A., Gay E., Fortané N., Palussière M., Hendriks P., Hénaux V., Calavas D. (2015a) Quantitative and qualitative assessment of the bovine abortion surveillance system in France. *Prev. Vet. Med.* **120**(1), 62-69.
- Bronner A., Morignat E., Gay E., Vergne T., Fournié G., Pfeiffer D.U., Calavas D. (2015b) Iso-population partition: an innovative epidemiological approach to mapping and analyzing spatially aggregated data. *Prev. Vet. Med.* **122**(3), 253-256.
- Bronner A., Morignat E., Touratier A., Gache K., Sala C., Calavas D. (2015c) Was the French clinical surveillance system of bovine brucellosis influenced by the occurrence and surveillance of other abortive diseases ? *Prev. Vet. Med.* **118**, 498-503.
- Bronner A., Morignat E., Calavas D. (2015d) Respective influence of veterinarians and local institutional stakeholders on the event-driven surveillance system for bovine brucellosis in France. *BMC Vet. Res.* **11**, 179. doi: 10.1186/s12917-015-0499-1.
- Brook R.K., McLachlan S.M. (2006) Factors influencing farmer's concerns regarding bovine tuberculosis in wildlife and livestock around Riding Mountain National Park. *J. Environ. Manag.* **80**, 156-166.
- Calavas D., Fediaevsky A., Collin E., Touratier A., Amar P., Moquay V., Marcé C., Bronner A., Hendriks P. (2012) Plateforme nationale de surveillance épidémiologique en santé animale : missions prioritaires et organisation. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **48**, 2-5.
- Calavas D., Bronner A., Marcé C., Fediaevsky A., Hendriks P. (2015) Vers une approche intégrée de la surveillance épidémiologique des dangers sanitaires exotiques. *Epidemiol. et santé anim.* **67**, 109-118.
- Calba C., Antoine-Moussiaux N., Peyre M., Hendriks P., Saegerman C., Goutard F.L. (2014) Use of participatory approaches for the evaluation of animal health surveillance systems in northern countries. In: *International Conference on Animal Health Surveillance (ICAHS)*. Cuba, 9th May 2014.
- Calba C., Goutard F., Hoinville L., Hendriks P., Lindberg A., Saegerman C., Peyre M. (2015a) Surveillance systems evaluation: a systematic review of the existing approaches. *BMC Public Health.* **15**, 448. doi: 10.1186/s12889-015-1791-5.
- Calba C., Antoine-Moussiaux N., Charrier F., Hendriks P., Saegerman C., Peyre M., Goutard F.L. (2015b) Applying participatory approaches in the evaluation of surveillance systems: a pilot study on African swine fever surveillance in Corsica. *Prev. Vet. Med.* **122**(4), 389-398.
- Calvo-Artavia F.F., Nielsen L.R., Alban L. (2012) Epidemiologic and economic evaluation of risk-based meat inspection for bovine cysticercosis in Danish cattle. *Prev. Vet. Med.* **108**(4), 253-261.
- Cameron A.R., Baldock F.C. (1998) A new probability formula for surveys to substantiate freedom from disease. *Prev. Vet. Med.* **34**, 1-17.
- Cannon R.M. (2001) Sense and sensitivity – designing surveys based on an imperfect test. *Prev. Vet. Med.* **49**, 141-163.
- Cannon R.M. (2009) Inspecting and monitoring on a restricted budget – where best to look? *Prev. Vet. Med.* **92**, 163-174. doi:10.1016/j.prevetmed.2009.06.009.

- Cannon R.M., Roe R.T. (1982) *Livestock disease surveys: a field manual for veterinarians*. Ed. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Carter S.P., Delahay R.J., Smith G.C., Macdonald D.W., Riordan P., Etherington T.R., Pimley E.R., Walker N.J., Cheeseman C.L. (2007) Culling-induced social perturbation in Eurasian badgers *Meles meles* and the management of TB in cattle: an analysis of a critical problem in applied ecology. *Proc. R. Soc. B.* **274**, 2769-2777.
- Catley A., Alders R.G., Wood J.L. (2012) Participatory epidemiology: approaches, methods, experiences. *Vet. J.* **191**, 151-160.
- Cavalerie L. (2012) Evaluation socio-économique de mesures réglementaires en santé animale : abattage total et abattage partiel des foyers de tuberculose bovine en Côte-d'Or. Thèse de doctorat vétérinaire, ENVA, 150 p.
- Cavalerie L., Courcoul A., Boschioli M.L., Réveillaud E., Gay P. (2015) Tuberculose bovine en France en 2014 : une situation stable. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **71**, 4-11.
- CDC (1988) Guidelines for evaluating surveillance systems. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* **37**(Suppl 5), 1-18.
- Chambers M.A. (2009) Review of the diagnosis and study of tuberculosis in non-bovine wildlife species using immunological methods. *Transbound. Emerg. Dis.* **56**(6-7), 215-227.
- Chambers M.A. (2013) Review of the diagnosis of tuberculosis in non-bovid wildlife species using immunological methods – an update of published work since 2009. *Transbound. Emerg. Dis.* **60**(1), 14-27. doi: 10.1111/tbed.12094.
- Cheeseman C.L., Mallinson P.J. (1981) Behaviour of badgers (*Meles meles*) infected with bovine tuberculosis. *J. Zool.* **194**, 284-289. doi:10.1111/j.1469-7998.1981.tb05780.x.
- Cheeseman C.L., Wilesmith J. W., Stuart F. A. (1989) Tuberculosis - the disease and its epidemiology in the badger, a review. *Epidemiol. Infect.* **103**, 113-125.
- Chiari M., Ferrari N., Giardello D., Avisani D., Pacciarini M.L., Alborali A., Zanoni M., Boniotti M.B. (2015) Spatiotemporal and ecological patterns of *Mycobacterium microti* infection in Wild boar (*Sus scrofa*). *Transbound. Emerg. Dis.* doi:10.1111/tbed.12313.
- Christensen J., Stryhn H., Vallières A., El Allaki F. (2011) A scenario tree model for the Canadian notifiable avian influenza surveillance system and its application to estimation of probability of freedom and sample size determination. *Prev. Vet. Med.* **99**, 161-175.
- Christensen J., El Allaki F., Vallières A. (2014) Adapting a scenario tree model for freedom from disease as surveillance progresses: the canadian notifiable avian influenza model. *Prev. Vet. Med.* **114**, 132-144.
- Ciliberti A., Gavier-Widen D., Yon L., Hutchings M.R., Artois M. (2015) Prioritisation of wildlife pathogens to be targeted in European surveillance programs: expert-based risk analysis focus on ruminants. *Prev. Vet. Med.* **118**(4), 271-284.
- Clemen R.T., Winkler R.L. (1999) Combining probability distributions from experts in risk analysis. *Risk Anal.* **19**, 187-203.
- Clifton-Hadley R.S., Wilesmith J.W., Stuart F.A. (1993) *Mycobacterium bovis* in European badger (*Meles meles*): epidemiological findings in tuberculous badgers from a naturally infected population. *Epidemiol. Infect.* **111**, 9-19.
- Cohen D.J., Reynolds M.R. (2008) Interpreting the results of cost effectiveness studies. *J. Am. Coll. Cardiol.* **52** (25), 2119-2126.
- Comin A., Stegeman A., Marangon S., Klinkenberg D. (2012) Evaluating surveillance strategies for the early detection of low pathogenicity avian influenza infection. *PLoS ONE.* **7**(4), e35956.

- Commission Européenne (2012) Bovine and swine diseases 2011 annual report. [http://ec.europa.eu/food/animal/liveanimals/bovine/docs/final_report_2011_en.pdf]. Brussels, 35 p.
- Corner L.A.L. (2006) The role of wild animal populations in the epidemiology of tuberculosis in domestic animals: How to assess the risk. *Vet. Microbiol.* **112**, 303-312.
- Corner L.A., Murphy D., Gormley E. (2011) *Mycobacterium bovis* infection in the Eurasian badger (*Meles meles*): the disease, pathogenesis, epidemiology and control. *J. Comp. Pathol.* **144**(1), 1-24.
- Côte L., Turgeon J. (2002) Comment lire de façon critique les articles de recherche qualitative en médecine. *Pédag. Méd.* **3**, 81-90.
- Courcoul A., Moyen J.L., Brugère L., Faye S., Hénault S., Gares H., Boschiroli M.L. (2014) Estimation of sensitivity and specificity of bacteriology, histopathology and PCR for the confirmatory diagnosis of bovine tuberculosis using latent class analysis. *PLoS ONE.* **9**(3), e90334. doi:10.1371/journal.pone.0090334.
- Cousins D.V. (2001) *Mycobacterium* infection and control in domestic livestock. *Rev. Sci. Tech.* **20**(1), 71-85.
- Cousins D.V., Florisson N. (2005) A review of tests available for use in the diagnosis of tuberculosis in non-bovine species. *Rev. Sci. Tech.* **24**(3), 4039-4059.
- Cowie C.E., Gortazar C., White P.C.L., Hutchings M.R., Vicente J. (2015) Stakeholder opinions on the practicality of management interventions to control bovine tuberculosis. *Vet. J.* **204**, 179-185.
- Dalley D., Davé D., Lesellier S., Palmer S., Crawshaw T., Hewinson R.G., Chambers M. (2008) Development and evaluation of a gamma-interferon assay for tuberculosis in badger (*Meles meles*). *Tuberculosis.* **88**, 235-243.
- Davies J.M., Roper T.J., Shepherdson D.J. (1987) Seasonal distribution of road kills in the European badger (*Meles meles* L.). *J. Zool. Lond.* **211**, 525-529.
- de Garine-Wichatitsky M., Miguel E., Mukamuri B., Garine-Wichatitsky E., Wencelius J., Pfukenyi D.M., Caron A. (2013) Coexisting with wildlife in transfrontier conservation areas in Zimbabwe: cattle owners' awareness of disease risks and perceptions of the role played by wildlife. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* **36**, 321-332.
- de Lisle G.W., Joyce M.A., Yates G.F., Wards B.J., Hoyle F.P. (1995) *Mycobacterium avium* infection in a farmed deer herd. *N. Z. Vet. J.* **43**, 1-3.
- de Lisle G.W., Mackintosh C.G., Bengis R.G. (2001) *Mycobacterium bovis* in free-living and captive wildlife, including farmed deer. *Rev. Sci. Tech.* **20**(1), 86-111.
- de Lisle G.W., Bengis R.G., Schmitt S.M., O'Brien D.J. (2002) Tuberculosis in free-ranging wildlife: detection, diagnosis and management. *Rev. Sci. Tech.* **21**(2), 317-334.
- de la Rua-Domenech R., Goodchild A.T., Vordermeier H.M., Hewinson R.G., Christiansen K.H., Clifton-Hadley R.S. (2006) Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: a review of tuberculin tests, γ -interferon assay and other ancillary diagnostic techniques. *Res. Vet. Sci.* **81**, 190-210.
- de Vos V., Bengis R.G., Kriek N.P.J., Michel A., Keet D.F., Raath J.P., Huchzermeyer H.F. (2001) The epidemiology of tuberculosis in free-ranging African buffalo (*Syncerus caffer*) in the Kruger national park, South Africa. *Onderstepoort J. Vet. Res.* **68**(2), 119-130.
- de Vos C.J., Saatkamp H.W., Huirne R.B.M. (2005) Cost-effectiveness of measures to prevent classical swine fever introduction into the Netherlands. *Prev. Vet. Med.* **70**(3-4), 235-256.
- Defra (2011) A review of the implementation of the veterinary surveillance strategy (VSS). In: *Department for Environment, Food, and Rural Affairs.* [<http://archive.defra.gov.uk/foodfarm/farmanimal/diseases/vetsurveillance/documents/vss-review-feb2011.pdf>]

- Dehove A., Commault J., Petitclerc M., Teissier M., Mace J. (2012) Economic analysis and costing of animal health: a literature review of methods and importance. *Rev. Sci. Tech.* **31**, 605-617.
- Dekker J.J.A., Bekker H. (2010) Badger (*Meles meles*) road mortality in the Netherlands: the characteristics of victims and the effects of mitigation measures. *Lutra*. **53**(2), 81-92.
- Delabougliuse A., Antoine-Moussiaux N., Phan T.D., Dao D.C., Nguyen T.T., Truong B.D., Nguyen X.N.T., Vu T.D., Nguyen K.V., Le H.T., Salem G., Peyre M. (2015) The perceived value of passive animal health surveillance: the case of highly pathogenic avian influenza in Vietnam. *Zoonoses Public Health*. doi: 10.1111/zph.12212.
- Delahay R.J., Cheeseman C.L., Clifton-Hadley R.S. (2001) Wildlife disease reservoirs: the epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in the European badger (*Meles meles*) and other British mammals. *Tuberculosis (Edinb)*. **81**(1-2), 43-49.
- Delahay R.J., De Leeuw A.N.S., Barlow A.M., Clifton-Hadley R.S., Cheeseman C.L. (2002) The status of *Mycobacterium bovis* infection in UK wild mammals: a review. *Vet. J.* **164**, 90-105.
- Delahay R.J., Smith G.C., Barlow A.M., Walker N., Harris A., Clifton-Hadley R.S., Cheeseman C.L. (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**, 287-301.
- Dijkhuizen A.A., Morris R.S. (1997) *Animal health economics*. University of Sydney (Australia) and Wageningen Press (Wageningen, the Netherlands), 306 p.
- Do Linh San E. (2006) *Le blaireau d'Eurasie*. Les sentiers du naturaliste. Editions Delachaux et Niestlé, 224 p.
- Dominguez M., Rautureau S., François C., Lupo C., Marcé C., Calavas D. (2012) Evaluation du réseau de pathologie des mollusques marins (Repamo) à l'aide de l'outil OASIS. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **55**, 18-20.
- Dominguez M., Marcé C., Rautureau S., Sadonès H., Fediaevsky A., Calavas D., Hendrikx P. (2014) Vers un renforcement transversal des capacités nationales de surveillance des dangers sanitaires exotiques de première catégorie : proposition d'axes génériques de progression à partir de trois évaluations de dispositifs de surveillance. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **65**, 12-16.
- Dondo A., Zoppi S., Rossi F., Chiavacci L., Barbaro A., Garrone A., Benedetto A., Gorla M. (2007) Mycobacteriosis in wild boar: results of 2000-2006 activity in north-western Italy. *Epidemiol. et santé anim.* **51**, 35-42.
- Drewe J.A., Dean G.S., Michel A.L., Lyashchenko K.P., Greenwald R., Pearce G.P. (2009) Accuracy of three diagnostic tests for determining *Mycobacterium bovis* infection status in live-sampled wild meerkats (*Suricata suricatta*). *J. Vet. Diagn. Invest.* **21**(1), 31-39.
- Drewe J.A., Hoinville L.J., Cook A.J.C., Floyd T., Stärk K.D.C. (2012) Evaluation of animal and public health surveillance systems: a systematic review. *Epidemiol. Infect.* **140**, 575-590.
- Drewe J.A., Hoinville L.J., Cook A.J.C., Floyd T., Gunn G., Stärk K.D.C. (2013) SERVAL: a new framework for the evaluation of animal health surveillance. *Transbound. Emerg. Dis.* **62**, 1-13. doi:10.1111/tbed.12063.
- Drewe J.A., Häsler B., Rushton J., Stärk K.D.C. (2014) Assessing the expenditure distribution of animal health surveillance: the case of Great Britain. *Vet. Rec.* doi: 10.1136/vr.101846.
- Drewe J.A., Hoinville L.J., Cook A.J.C., Floyd T., Gunn G., Stärk K.D.C. (2015) SERVAL: a new framework for the evaluation of animal health surveillance. *Transbound. Emerg. Dis.* **62**, 33-45.
- Drummond M.F., O'Brien B.J., Stoddart G.L., Torrance G.W. (1997) *Méthodes d'évaluation économique des programmes de santé*. Economica, 2ème édition, 331 p.

- Dufour B. (1999) Technical and economic evaluation method for use in improving infectious animal disease surveillance networks. *Vet. Res.* **30**, 27-37.
- Dufour B., Audigé L. (1997) A proposed classification of veterinary epidemiosurveillance networks. *Rev. Sci. Tech.* **16**, 746-758.
- Dufour B., La Vieille S. (2000) Epidemiological surveillance of infectious diseases in France. *Vet. Res.* **31**, 169-185.
- Dufour B., Hendriks P. (2011) *Surveillance épidémiologique en santé animale*. Quae editions, 341 p.
- Dufour B., Ouagal M., Idriss A., Maho A., Saboun M., Bidjeh K., Hagar A.I., Delafosse A. (1998) Evaluation du réseau d'épidémiosurveillance tchadien : le REPIMAT. *Epidémiol. et santé anim.* **33**, 133-140.
- Dufour B., Pouillot R., Toma B. (2001) Proposed criteria to determine whether a territory is free of a given animal disease. *Vet. Res.* **32**, 545-563.
- Dufour B., Hendriks P., Toma B. (2006) Élaboration et mise en place de systèmes de surveillance épidémiologique des maladies à haut risque dans les pays développés. *Rev. Sci. Tech.* **25**, 187-198.
- Durand E. (2015a) Estimation du coût de la surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. Mémoire CEAV (Certificat d'Etudes Approfondies Vétérinaires en Santé Publique Vétérinaire), ENSV, 62 p.
- Durand E. (2015b) Analyse du réseau des acteurs du dispositif Sylvatub dans quatre départements du Sud Ouest. Mémoire PAGERS (Master Politiques Publiques et Gouvernements Comparés, parcours « Politique de l'Alimentation et Gestion des Risques Sanitaires »), ENSV, 60 p.
- Dziociolowski R. (1979) Structure and spatial organization of deer populations. *Acta Theriol.* **24**(1), 3-24.
- East I.J., Hutchison J.M. (2011) Assessment of Australia's passive surveillance program for avian influenza with scenario tree modelling. *Epidemiol. et santé anim.* **59-60**, 100-102.
- EFSA (2009) Scientific review on tuberculosis in wildlife in EU. Technical report submitted to EFSA, 119 p. [<http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/12e.htm>].
- EFSA (2013) Modelling the impact of a change in MI sensitivity on the surveillance of bTB at the country level. Supporting Publications 2013: EN-450, 40 p. [www.efsa.europa.eu/publications].
- EFSA, ECDC (2013) The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2011. *EFSA Journal.* **11**, 3129, 250 p. doi:10.2903/j.efsa.2013.3129 (EFSA-Q-2012-00428).
- EFSA, ECDC (2015) The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2013. *EFSA Journal.* **13**(11), 3991, 165 p.
- El Allaki F., Bigras-Poulin M., Ravel A. (2013) Conceptual evaluation of population health surveillance programs: method and example. *Prev. Vet. Med.* **108**, 241-252.
- Elbers A.R., Gorgievski-Duijvesteijn M.J., van der Velden P.G., Loeffen W.L.A., Zarafshani K. (2010a) A socio-psychological investigation into limitations and incentives concerning reporting a clinically suspect situation aimed at improving early detection of classical swine fever outbreaks. *Vet. Microbiol.* **142**, 108-118.
- Elbers A.R., Gorgievski-Duijvesteijn M.J., Zarafshani K., Koch G. (2010b) To report or not to report: a psychosocial investigation aimed at improving aearly detection of avian influenza outbreaks. *Rev. Sci. Tech.* **29**(3), 435-449.
- Ellis-Iversen J., Cook A.J.C., Watson E., Nielen M., Larkin L., Wooldridge M., Hogeveen H. (2010) Perceptions, circumstances and motivators that influence implementation of zoonotic control programs on cattle farms. *Prev. Vet. Med.* **93**, 276-285.

- ELO (2012) L'explosion démographique du sanglier en Europe : Enjeux et défis. Rapport, 72 p.
- Fattebert J. (2005) Structure de la population, démographie et utilisation de l'espace par le sanglier *Sus scrofa* dans l'ouest du canton de Genève, Suisse. Mémoire de Master, Université de Neuchâtel, Suisse, 81 p.
- Fitzgerald S.D., Kaneene J.B. (2013) Wildlife reservoirs of bovine tuberculosis worldwide: hosts, pathology, surveillance, and control. *Vet. Pathol.* **50**(3), 488-499.
- Fitzgerald S.D., Kaneene J.B., Butler K.L., Clarke K.R., Fierke J.S., Schmitt S.M., Bruning-Fann C.S., Mitchell R.R., Berry D.E., Payeur J.B. (2000) Comparison of postmortem techniques for the detection of *Mycobacterium bovis* in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). *J. Vet. Diagn. Invest.* **12**(4), 322-327.
- Foddai A., Rosenbaum-Nielsen L., Willeberg P., Alban L. (2015) Comparison of output-based approaches used to substantiate bovine tuberculosis free status in Danish cattle herds. *Prev. Vet. Med.* **121**, 21-29.
- Francis J. (1947) *Bovine tuberculosis, including a contrast with human tuberculosis*. London: Staple Press Limited, 220 p.
- Francis J. (1958) *Tuberculosis in animals and man: a study in comparative pathology*. Cassel & Co., Ltd., London, United Kingdom, 357 p.
- Fromont E., Rossi S. (2000) Echantillonnage en faune sauvage : quelques questions sur la taille d'échantillon. *Epidemiol. et santé anim.* **37**, 11-19.
- Frössling J., Agren E.C.C., Eliasson-Selling L., Lewerin S.S. (2009) Probability of freedom from disease after the first detection and eradication of PRRS in Sweden: scenario-tree modeling of the surveillance system. *Prev. Vet. Med.* **91**, 137-145.
- Frössling J., Wahlström H., Agren E.C.C., Cameron A., Lindberg A., Lewerin S.S. (2013) Surveillance system sensitivities and probability of freedom from *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* infection in Swedish cattle. *Prev. Vet. Med.* **108**, 47-62.
- Fruzinski B. (1995) Situation of wild boar population in western Poland. *Ibex JME.* **3**, 186-187.
- Gaillard J.M., Delorme D., Boutin J.M., Vanlaere G., Boisaubert B., Pradel R. (1993) Roe deer survival patterns: a comparative analysis of contrasting populations. *J. Anim. Ecol.* **62**, 778-791.
- Gaillard J.M., Festa-Bianchet M., Yoccoz N.G. (1998) Population dynamics of large herbivores: variable recruitment with constant adult survival. *TREE.* **13**(2), 58-63.
- Gaillard J.M., Festa-Bianchet M., Yoccoz N.G., Loison A., Toïgo C. (2000) Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **31**, 367-393.
- Gallagher J., Nelson J. (1979) Cause of ill health and natural death in badgers in Gloucestershire. *Vet. Rec.* **105**(24), 546-551.
- Gallagher J., Muirhead R.H., Burn K.J. (1976) Tuberculosis in wild badgers (*Meles meles*) in Gloucestershire, pathology. *Vet. Rec.* **98**, 9-14.
- García-Jiménez W.L., Benitez-Medina J.M., Martínez R., Carranza J., Cerrato R., García-Sánchez A., Risco D., Moreno J.C., Sequeda M., Gómez L., Fernández-Llario P., Hermonó-de-Mendoza J. (2013) Non-tuberculous *Mycobacteria* in wild boar (*Sus scrofa*) from Southern Spain: epidemiological, clinical and diagnostic concerns. *Transbound. Emerg. Dis.* **62**, 72-80.
- Gavier-Widen D., Cooke M., Gallagher J., Chambers M., Gortazar C. (2009) A review of infection of wildlife hosts with *Mycobacterium bovis* and the diagnostic difficulties of the "no visible lesion" presentation. *N. Zeal. Vet. J.* **57**(3), 122-131.
- German R.R. (2000) Sensitivity and predictive value positive measurements for public health surveillance systems. *Epidemiology (Cambridge, Mass).* **11**, 720-727.

- German R.R., Lee L.M., Horan J.M., Milstein R.L., Pertowski C.A., Waller M.N. (2001) Updated guidelines for evaluating public health surveillance systems: recommendations from the Guidelines Working Group. *MMWR Recomm Rep.* **50**, 1-35.
- Ghiglione R., Matalon B. (1998) *Les enquêtes sociologiques : théorie et pratique*. Ed. U. Armand Colin, 6^{ème} éd, 304 p.
- Gilbert W.H., Häsler B.N., Rushton J. (2014) Influences of farmer and veterinarian behaviour on emerging disease surveillance in England and Wales. *Epidemiol. Infect.* **142**, 172-186.
- Glaser B., Strauss A. (1967) *The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research*. New York: Aldine de Gruyter.
- Godfray H.C., Donnelly C.A., Kao R.R., MacDonald D.W., Mc Donald R.A., Petrokofsky G., Wood J.L.N., Woodroffe R., Young D.B., McClean A.R. (2013) A restatement of the natural science evidence base relevant to the control of bovine tuberculosis in Great-Britain. *P. Roy. Soc. Lond. B. Bio.* **280**(1768), 20131634. doi: 10.1098/rspb.2013.1634.
- Gorecki S., Calavas D., Fediaesvky A., Chevalier F., Hendrikx P. (2012) Evaluation du dispositif national de surveillance épidémiologique de la tuberculose bovine en France à l'aide de la méthode Oasis. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **51**, 9-12.
- Gortazar C., Vicente J., Boadella M., Ballesteros C., Galindo R.C., Garrido J., Aranaz A., de la Fuente J. (2011) Progress in the control of bovine tuberculosis in Spanish wildlife. *Vet. Microbiol.* **151**(1-2), 170-178.
- Gortazar C., Delahay R.A., Boadella M., Wilson G.J., Gavier-Widen D., Acevedo P. (2012) The status of tuberculosis in European wild mammals. *Mammal Rev.* **42**(3), 193-206.
- Goutard F., Paul M., Tavoranpanich S., Stärk K.D.C., Roger F. (2011) Assessment of the Avian Influenza H5N1 surveillance system for backyard and free-range poultry production systems in Thailand. *Epidemiol. et santé anim.* **59-60**, 422-424.
- Goutard F.L., Paul M., Tavoranpanich S., Houisse I., Chanachai K., Thanapongtharm W., Cameron A., Stärk K.D.C., Roger F. (2012) Optimizing early detection of avian influenza H5N1 in backyard and free-range poultry production systems in Thailand. *Prev. Vet. Med.* **105**, 223-234.
- Gramig B.M., Horan R.D. (2011) Jointly determined livestock disease dynamics and decentralized economic behavior. *Aust. J. Agr. Resour. Ec.* **55**, 393-410.
- Griffiths H. I., Thomas D. H. (1993) The status of the Badger (*Meles meles*) in Europe. *Mammal Rev.* **23**, 17-58.
- Grosbois V., Häsler B., Peyre M., Hiep D.T., Vergne T. (2015) A rationale to unify measurements of effectiveness for animal health surveillance. *Prev. Vet. Med.* **120**, 70-85.
- Groseclose S.L., German R.R., Nsubuga P. (2010) Evaluation public health surveillance. In: Lee L.M., Teutsch S.M., Thacker S.B., Louis St M.E. (Eds). *Principles and practice for public health surveillance*. 3rd ed, Oxford University press, New York, 166-197.
- Guest G., Bunce A., Johnson L. (2006) How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. *Field Methods.* **18**, 59-82.
- Guo X., Claassen G.D.H., Oude Lansink A.G.J.M., Saatkamp H.W. (2014) A conceptual framework for economic optimization of single hazard surveillance in livestock production chains. *Prev. Vet. Med.* **114**(3-4), 188-200.
- Guo X., Claassen G.D.H., Oude Lansink A.G.J.M., Saatkamp H.W. (2015) A conceptual framework for economic optimization of an animal health surveillance portfolio. *Epidemiol. Infect.* doi:10.1017/S0950268815002022.

- Haddad N., Ostyn O., Karoui C., Masselot M., Thorel M.F., Hugues S.L., Inwald J., Hewinson R.G., Durand B. (2001) Spoligotype diversity of *Mycobacterium bovis* strains isolated in France from 1979 to 2000. *J. Clin. Microbiol.* **39**, 3623-3632.
- Haddad N., Masselot M., Durand B. (2004) Molecular differentiation of *Mycobacterium bovis* isolates. Review of main techniques and applications. *Res. Vet. Sci.* **76**, 1-18.
- Hadorn D.C., Stärk K.D.C. (2008) Evaluation and optimization of surveillance systems for rare and emerging infectious diseases. *Vet. Res.* **39**(6), 57. doi:10.1051/vetres:2008033.
- Hadorn D.C., Haracic S.S., Stärk K.D.C. (2008) Comparative assessment of passive surveillance in disease-free and endemic situation: example of *Brucella melitensis* surveillance in Switzerland and in Bosnia and Herzegovina. *BMC Vet. Res.* **4**, 52. doi:10.1186/1746-6148-4-52.
- Hadorn D.C., Racloz V., Schwermer H., Stärk K.D.C. (2009) Establishing a cost-effective national surveillance system for Bluetongue using scenario tree modelling. *Vet. Res.* **40**, 57. doi:10.1051/vetres/2009040.
- Hardstaff J.L., Marion G., Hutchings M.R., White P.C.L. (2013) Evaluation the tuberculosis hazard posed to cattle from wildlife across Europe. *Res. Vet. Sci.* doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.12.002.
- Harris S., Cresswell W. J. (1988) Dynamics of a suburban badger (*Meles meles*) population. In: Harris, S (ed.), *Mammal population studies. Symposium 58 of the Zoological Society, London*. Clarendon Press, Oxford, 295-310.
- Hars J., Boschioli M.L., Duvauchelle A., Garin-Bastuji B. (2006) La tuberculose à *Mycobacterium bovis* chez le cerf et le sanglier en France : émergence et risque pour l'élevage bovin. *Bull. Acad. Vet. France.* **159**, 393-401.
- Hars J., Boschioli M.L., Duvauchelle A., Zanella G., Garin-Bastuji B. (2007) Emergence de la tuberculose bovine chez le cerf et le sanglier en France : risque pour l'élevage bovin. *Bull. GTV.* **40**, 27-31.
- Hars J., Richomme C., Boschioli M.L. (2010) La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim. (Hors-série).* **38**, 25-27.
- Hars J., Richomme C., Rivière J., Payne A., Faure E., Boschioli M.L. (2013a) La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. Risques pour l'élevage bovin. *Bull. Acad. Vet. France.* **166**(3), 216-221.
- Hars J., Garin-Bastuji B., Richomme C., Payne A., Rossi S. (2013b) De l'éradication à la réapparition des maladies infectieuses animales. Les dangers de la faune sauvage : contexte et outils de gestion. *Epidemiol. et santé anim.* **64**, 57-69.
- Häsler B. (2011) Economic assessment of veterinary surveillance programmes that are part of the national control plan of Switzerland. Thèse d'Université, University of London, 235 p.
- Häsler B., Regula G., Stärk K.D., Sager H., Gottstein B., Reist M. (2006) Financial analysis of various strategies for the control of *Neospora caninum* in dairy cattle in Switzerland. *Prev. Vet. Med.* **77** (3-4), 230-253.
- Häsler B., Howe K.S., Stärk K. (2011a) Conceptualising the technical relationship of animal disease surveillance to intervention and mitigation as a basis for economic analysis. *BMC Health Serv. Res.* **11**, 225. doi: 10.1186/1472-6963-11-225.
- Häsler B., Howe K., Stärk K.D.C (2011b) A practical framework for the economic evaluation of veterinary surveillance on national level. *Epidemiol. et santé anim.* **59-60**, 316-318.
- Hautefeuille C. (2015) Evaluation économique de la surveillance de *Salmonella* Dublin chez les bovins laitiers en Suède. Master II Surveillance épidémiologique des maladies humaines et animales, 101 p.

- Haydon D.T., Cleaveland S., Taylor L.H., Laurenson M.K. (2002) Identifying reservoirs of infection: a conceptual and practical challenge. *Emerg. Infect. Dis.* **8**(12), 1468-1473.
- Health Canada (2004) Health Surveillance Coordinating Committee. Framework and tools for evaluating health surveillance systems. Catalogue H39-4/46-2004E-PDF. ISBN 0-662-37236-0. [<http://publications.gc.ca/site/eng/260337/publication.html>].
- Heffernan C., Nielsen L., Thomson K., Gunn G. (2008) An exploration of the drivers to biosecurity collective action among a sample of UK cattle and sheep farmers. *Prev. Vet. Med.* **87**, 358-372.
- Hénaux V., Bronner A., Perrin J.B., Touratier A., Calavas D. (2015) Evaluation du coût global du dispositif de surveillance de la brucellose bovine en France en 2013. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **69**, 28-35.
- Hendriks P., Dufour B. (2004) Méthode d'élaboration des indicateurs de performance des réseaux de surveillance épidémiologique des maladies animales. *Epidémiol. et santé anim.* **46**, 71-85.
- Hendriks P., Chazel M., Buret Y., Dufour B. (2005) Development of performance indicators for the bovine clinical salmonellosis surveillance network in France. *J. Vet. Med. B. Infect. Dis. Vet. Public Health.* **52**, 465-475.
- Hendriks P., Gay E., Chazel M., Moutou F., Danan C., Richomme C., Boue F., Souillard R., Gauchard F., Dufour B. (2011) OASIS: an assessment tool of epidemiological surveillance systems in animal health and food safety. *Epidemiol. Infect.* **139**, 1486-1496.
- Hendriks P., Souillard R., Benkacimi M., Boisseleau D., Sadonès H. (2013) Evaluation du dispositif national de surveillance épidémiologique des pestes aviaires en France à l'aide de la méthode OASIS. *Bull. Epid. Santé Anim. Alim.* **60**, 22-26.
- Hermoso de Mendoza J., Parra A., Tato A., Alonso J.M., Rey J.M., Pena J., Garcia-Sanchez A., Larrasa J., Teixido J., Manzano G., Cerrato R., Pereira G., Fernandez-Llario P., Hermoso de Mendoza M. (2006) Bovine tuberculosis in wild boar (*Sus scrofa*), red deer (*Cervus elaphus*) and cattle (*Bos Taurus*) in a Mediterranean ecosystem (1992-2004). *Prev. Vet. Med.* **74**(2-3), 239-247.
- Hernandez-Jover M., Cogger N., Martin P.A.J., Schembri N., Holyoake P.K., Toribio J.A.L.M.L. (2011) Evaluation of post-farm-gate passive surveillance in swine for the detection of foot-and-mouth disease in Australia. *Prev. Vet. Med.* **100**, 171-186.
- Hesterberg U.W., Cook A.J.C., Stack J.A., Martin P.A.J. (2009) Evaluation of the sensitivity of the British brucellosis surveillance system using stochastic scenario tree modeling. *In: International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics proceedings (ISVEE)*, Durban, South Africa August 9-10, 2009.
- Hobbs N.T., Bowden D.C., Baker D.L. (2000) Effects of fertility control on populations of ungulates: general, stage-structured models. *J. Wild. Manag.* **64**(2), 473-491.
- Hoinville L. (2013) Animal health surveillance terminology. Final report from Pre-ICAHS Workshop, 27 p.
- Hoinville L., Ellis-Iversen J., Vink D., Watson E., Snow L., Gibbens J. (2009) Discussing the development and application of methods for effective surveillance in livestock populations. Report of a workshop held prior to the ISVEE conference, Durban, South Africa, August 2009, 95 p.
- Hopp P., Vatn S., Jarp J. (2007) Norwegian farmers' vigilance in reporting sheep showing scrapie-associated signs. *BMC Vet. Res.* **3**, 34. doi:10.1186/1746-6148-3-34.
- Howe K.S., Häslér B., Stärk K.D.C. (2013) Economic principles for resource allocation decisions at national level to mitigate the effects of disease in farm animal populations. *Epidemiol. Infect.* **141**, 91-101. doi: 10.1017/S095026881200060X.
- Hueston W. (1993) Assessment of national systems for the surveillance and monitoring of animal health. *Rev. Sci. Tech.* **12**, 1187-1196.

- Hueston W.D., Yoe C.E. (2000) Estimating the overall power of complex surveillance systems. *In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics*, Breckenridge (Colorado), August 6-11, 2000, 758–760.
- Humblet M-F., Warlavens K., Salandre O., Boschioli M-L., Gilbert M., Berkvens D. (2009) Première évaluation et validation des pratiques d'intradermo-tuberculination des vétérinaires praticiens ruraux fondées sur un questionnaire d'enquête épidémiologique anonyme. *Epidemiol. et santé anim.* **55**, 7-15.
- Jedrzejewska B., Jedrzejewski W., Bunevich A.N., Milkowski L., Krasinski A. (1997) Factors shaping population densities and increased rates of ungulates in Bialowieza Primeval Forest (Poland and Belarus) in the 19th and 20th centuries. *Acta Theriol.* **22**, 337-348.
- Jefferies D. J. (1975) Different activity patterns of male and female badgers (*Meles meles*) as shown by road mortality. *J. Zool.* **177**, 504-506.
- Jeziarski W. (1977) Longevity and mortality rate in a population of wild boar. *Acta Theriol.* **22-24**, 337-348.
- Johnson N., Lilja N., Ashby J.A., Garcia J.A. (2004) The practice of participatory research and gender analysis in natural resource management. *Nat. Res. Forum.* **28**, 189-200.
- Joseph L., Gyorkos T.W., Coupal L. (1995) Bayesian estimation of disease prevalence and the parameters of diagnostic tests in the absence of a gold standard. *Am. J. Epidemiol.* **141**, 263-272.
- Jost C.C., Mariner J.C., Roeder P.L., Sawitri E., Macgregor-Skinner G.J. (2007) Participatory epidemiology in disease surveillance and research. *Rev. Sci. Tech.* **26**(3), 537-549.
- Kaufmann J.C. (2011) *L'entretien compréhensif : L'enquête et ses méthodes*. Ed. ArmandColin, 3^{ème} éd, 128 p.
- Kellar J.A. (2012) Animal health surveillance: navigation amidst the flotsam of human frailty and fiscal inertia. *Prev. Vet. Med.* **105**, 169-175.
- King B. (2009) Political ecologies of health. *Prog. Hum. Geog.* 1-18.
- Knight-Jones T.J., Hauser R., Matthes D., Stärk K.D. (2010) Evaluation of effectiveness and efficiency of wild bird surveillance for avian influenza. *Vet. Res.* **41**(4), 50.
- Knight-Jones T.J.D., Njeumi F., Elsawalhy A., Wabacha J., Rushton J. (2014) Risk assessment and cost-effectiveness of animal health certification methods for livestock export in Somalia. *Prev. Vet. Med.* **113**(4), 469-483. doi: 10.1016/j.prevetmed.2014.01.003.
- Kowalczyk R., Bunevich A.N., Jedrzejewska B. (2000) Badger density and distribution of setts in Bialowieza Primeval Forest (Poland and Belarus) compared to other Eurasian populations. *Acta Theriol.* **45**, 395-408.
- Lamarque F., Hatier C., Artois M., Berny P., Diedler C. (2000) Le réseau SAGIR, réseau national de suivi sanitaire de la faune sauvage française. *Epidémiol. et santé anim.* **37**, 21-30.
- Langmuir A.D. (1963) The surveillance of communicable disease of national importance. *N. Eng. J. Med.* **268**, 182-192.
- Lebecel Y. et le Groupe d'Etude des Mammifères de Lorraine (2010) Le blaireau d'Eurasie *Meles meles* en Lorraine : taille des groupes, succès reproductif et estimation des densités. *Ciconia.* **34**(1), 25-38.
- Lepper A.W.D., Pearson C.W., Corner L.A. (1977) Anergy to tuberculin in beef cattle. *Aust. Vet. J.* **53**, 214-216.
- Lesellier S., Palmer S., Gowtage-Sequiera S., Ashford R., Dalley D., Davé D., Weyer U., Salguero F.J., Nunez A., Crawshaw T., Corner L.A.L., Hewinson R.G., Chambers M.A. (2011) Protection of Eurasian badgers (*Meles meles*) from tuberculosis after intramuscular vaccination with different doses of BCG. *Vaccine.* 3782-3790.

- Lhubert M., Réveillaud E., Cavalerie L., Hendriks P., Rivière J. (2015) Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France à l'aide de la méthode Oasis « Flash » et recommandations. *Epidemiol. et santé anim.* **68**, 105-119.
- Lugton I.W., Wilson P.R., Morris R.S., Nugent G. (1998) Epidemiology and pathogenesis of *Mycobacterium bovis* infection of red deer in New Zealand. *N. Z. Vet. J.* **46**, 147-156.
- Lyngstad T.M., Tavnorpanich S., Viljugrein H., Bang Jensen B., Hellberg H., Brun E. (2011) Evaluation of the surveillance programme for viral haemorrhagic septicaemia (VHS) in Norwegian salmonid farms. *Epidemiol. et santé anim.* **59-60**, 108-110.
- Maas M., Michel A.L., Rutten V.P.M.G. (2013) Facts and dilemmas in diagnosis of tuberculosis in wildlife. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* **36**(3), 269-285. doi: 10.1016/j.cimid.2012.10.010.
- Macdonald D.W., Newman C. (2002) Population dynamics in badgers (*Meles meles*) in Oxfordshire, UK: numbers, density and cohort life histories, and a possible role of climate change in population growth. *J. Zool.* **256**, 121-138.
- Machackova M., Matlova L., Lamka J., Smolik J., Melicharek J., Hanzlikova M., Docekal J., Cvetnic Z., Nagy G., Lipiec M., Ocepek M., Pavlik I. (2003) Wild boar (*Sus scrofa*) as a possible vector of mycobacterial infections: review of literature and critical analysis of data from central Europe between 1983 to 2001. *Vet. Med. Czech.* **48**(3), 51-65.
- Majeed F.A., Voss S. (1995) Performance indicators for general practice. *BMJ.* **311**, 209-210.
- Mariner J.C., Jeggo M.H., van't Klooster G.G.M., Geiger R., Roeder P.L. (2003) Rinderpest surveillance performance monitoring using quantifiable indicators. *Rev. Sci. Tech.* **22**(3), 837-847.
- Mariner J., Hendrickx S., Pfeiffer D., Costard S., Knopf L., Okuthe S., Chibeu D., Parmley J., Musenero M., Pisang C. (2011) Integration of participatory approaches into surveillance systems. *Rev. Sci. Tech.* **30**, 653-659.
- Marsot M., Rautureau S., Dufour B., Durand B. (2014) Impact of stakeholders influence, geographic level and risk perception on strategic decision in simulated foot and mouth disease epizootics in France. *PLoS ONE.* **9**(1), e86323. doi:10.1371/journal.pone.0086323.
- Martin P.A.J., Cameron A. (2003) Documenting freedom from avian influenza. In: *Report International EpiLab*, Copenhagen.
- Martin P.A.J., Cameron A.R., Greiner M. (2007a) Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources. 1: a new methodology based on scenario trees. *Prev. Vet. Med.* **79**, 71-97.
- Martin P.A.J., Cameron A.R., Barfod K., Sergeant E.S.G., Greiner M. (2007b) Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources. 2: case study – classical swine fever in Denmark. *Prev. Vet. Med.* **79**, 98-115.
- Martin-Hernando M.P., Höfle U., Vicente J., Ruiz-Fons F., Vidal D., Barral M., Garrido J.M., de la Fuente J., Gortazar C. (2007) Lesions associated with *Mycobacterium tuberculosis* complex infection in the European wild boar. *Tuberculosis.* **87**, 360-367.
- Martin-Hernando M.P., Torres M.J., Aznar J., Negro J.J., Gandia A., Gortazar C. (2010) Distribution of lesions in red and fallow deer naturally infected with *Mycobacterium bovis*. *J. Comp. Path.* **142**, 43-50.
- Matschke G.H. (1967) Aging European wild hogs by dentition. *J. Wildl. Manag.* **31**, 109-113.
- McIlroy S., Neill S., McCracken R. (1986) Pulmonary lesions and *Mycobacterium bovis* excretion from the respiratory tract of tuberculin reacting cattle. *Vet. Rec.* **118**(26), 718-721.
- McInerney J., Small K.J., Caley P. (1995) Prevalence of *Mycobacterium bovis* infection in feral pigs in the northern territory. *Aust. Vet. J.* **72**, 448-451.
- Meijer W.G., Prescott J.F. (2004) *Rhodococcus equi*. *Vet. Res.* **35**, 383-396.

- Merianos A. (2007) Surveillance and response to disease emergence. *Curr. Top. Microbiol.* **315**, 477-509.
- Merta D., Bobek B., Albrycht M. (2014) The age structure and sex ratio in wild boar (*Sus scrofa*) populations as determined by observations of free-roaming populations and by harvests of collective hunts in southern Poland. *Eur. J. Wildl. Res.* doi: 10.1007/s10344-014-0867-3.
- Michel A.L. (2002) Implications of tuberculosis in African wildlife and livestock. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **969**, 251-255.
- More S.J., Cameron A.R., Greiner M., Clifton-Hadley R., Correia Rodeia S., Bakker D., Salman M.D., Sharp J.M., de Massis F., Aranaz A., Boniotti M.B., Gaffuri A., Have P., Verloo D., Woodford M., Wierup M. (2009) Defining output-based standards to achieve and maintain tuberculosis freedom in farmed deer, with reference to member states of European Union. *Prev. Vet. Med.* **90**, 254-267.
- Morris R.S. (1991) Information systems for animal health: objectives and components. *Rev. Sci. Tech.* **10**, 13-23.
- Morris R.S., Pfeiffer D.U. (1995) Directions and issues in bovine tuberculosis epidemiology and control in New Zealand. *N. Z. Vet. J.* **43**(7), 256-265.
- Morris R.S., Pfeiffer D.U., Jackson R. (1994) The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections. *Vet. Microbiol.* **40**, 153-177.
- Mourits M.C.M., van Asseldonk M.A.M., Huirne R.B.M. (2010) Multi criteria decision making to evaluate control strategies of contagious animal diseases. *Prev. Vet. Med.* **96**, 201-210.
- Müller B., Dürr S., Alonso S., Hattendorf J., Laisse C.J.M., Parsons S.D.C., van Helden P.D., Zinsstag J. (2013) Zoonotic *Mycobacterium bovis*-induced tuberculosis in humans. *Emerg. Infect. Dis.* **19**(6), 899-908.
- Murphy D., Gormley E., Costello E., O'Meara D., Corner L.A.L. (2010) The prevalence and distribution of *Mycobacterium bovis* infection in European badgers (*Meles meles*) as determined by enhanced post mortem examination and bacteriological culture. *Res. Vet. Sci.* **88**, 1-5.
- Murray N. (2002) *Import Risk Analysis: Animals and Animal Products*. New Zealand Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington.
- Naranjo V., Gortazar C., Vicente J., de la Fuente J. (2008) Evidence of the role of European wild boar as a reservoir of *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Vet. Microbiol.* **127**, 1-9.
- Naylor R., Courtney P. (2014) Exploring the social context of risk perception and behavior: farmers' response to bovine tuberculosis. *Geoforum.* **57**, 48-56.
- Neill S., Hanna J., O'Brien J., McCracken R. (1988) Excretion of *Mycobacterium bovis* by experimentally infected cattle. *Vet. Rec.* **123**(13), 340-343.
- Neill S.D., Bryson D.B., Pollock J.M. (2001) Pathogenesis of tuberculosis in cattle. *Tuberculosis.* **81**, 9-86.
- Norström M., Jonsson M.E., Akerstedt J., Whist A.C., Kristoffersen A.B., Sviland S., Hopp P., Wahlström H. (2014) Estimation of the probability of freedom from bovine virus diarrhoea virus in Norway using scenario tree modelling. *Prev. Vet. Med.* **116**, 37-46.
- Norton J.H. (1976) Tuberculosis-like granulomas in cattle caused by Actinomycetes. *Aust. Vet. J.* **52**, 455-457.
- Nugent G. (2011) Maintenance, spillover and spillback transmission of bovine tuberculosis in multi-host wildlife complexes: a New Zealand case study. *Vet. Microbiol.* **151**, 34-42.
- Nugent G., Whitford J., Young N. (2002) Use of released pigs as sentinels for *Mycobacterium bovis*. *J. Wildl. Dis.* **38**(4), 665-677.

- Nugent G., Whitford J., Yockney I.J. (2012) Reduced spillover transmission of *Mycobacterium bovis* to feral pigs (*Sus scrofa*) following population control of brushtail possums (*Trichosurus vulpecula*). *Epidemiol Infect.* **140**(6), 1036-1047.
- Nusser S.M., Clark W.R., Otis D.L., Huang L. (2008) Sampling considerations for disease surveillance in wildlife populations. *J. Wildl. Manag.* **72**, 52-60.
- O'Brien D.J., Schmitt S.M., Berry D.E., Fitzgerald S.D., Vanneste J.R., Lyon T.J., Magisg D., Fierke J.S., Cooley T.M., Zwick L.S., Thomsen B.V. (2004) Estimating the true prevalence of *Mycobacterium bovis* in hunter-harvested white-tailed deer in Michigan. *J. Wildl. Dis.* **40**(1), 42-52.
- O'Brien D.J., Schmitt S.M., Fitzgerald S.D., Berry D.E., Hickling G.J. (2006) Managing the wildlife reservoir of *Mycobacterium bovis*: The Michigan, USA, experience. *Vet. Microbiol.* **112**(2-4), 313-323.
- Oidtmann B., Peeler E., Lyngstad T., Brun E., Jensen B.B., Stärk K.D.C. (2013) Risk-based methods for fish and terrestrial animal disease surveillance. *Prev. Vet. Med.* **112**, 13-26.
- OIE (2004) *Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products*, vols. 1 and 2. World Organization for Animal Health (Office International des Epizooties), Paris, France.
- OIE (2011) *Terrestrial Animal Health Code*. Paris, OIE.
- Okarma H., Jedrzejewska B., Jedrzejewski W., Krasinski Z.A., Milkowski L. (1995) The roles of predation, snow cover, acorn crop, and man-related factors on ungulate mortality in Bialowieza Primeval Forest, Poland. *Acta Theriol.* **40**(2), 197-217.
- OMC (1995) Agreement on the application of Sanitary and Phytosanitary Measures. In: *The Results of the Uruguay Round of Multilateral trade negotiations: the legal text WTO*. Geneva, 558 p.
- Otte M.J., Chilonda P. (2001) Animal health economics, an introduction. Livestock Information, Sector Analysis and Policy Branch, Animal Production and Health Division (AGA), FAO, Rome, Italy, 12 p. [<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ag275e/ag275e.pdf>].
- Palmer S., Fozdar F., Sully M. (2009) The effect of trust on west Australian farmers' responses to infectious livestock diseases. *European society for rural sociology.* **49**(4). doi: 10.1111/j.1467-9523.2009.00495.x.
- Palmer M.V., Whipple D.L., Payeur J.B., Bolin C.A. (2011) Use of the intradermal tuberculin test in a herd of captive elk (*Cervus elaphus nelsoni*) naturally infected with *Mycobacterium bovis*. *J. Vet. Diagn. Invest.* **23**, 363-366.
- Palmer M.V., Thacker T.C., Waters W.R., Gortazar C., Corner L.A.L. (2012) *Mycobacterium bovis*: a model pathogen at the interface of livestock, wildlife, and humans. *Vet Med. Int.* doi:10.1155/2012/236205.
- Palussière M., Bronner A., Hendrikx P., Calavas D. (2014) Guide d'évaluation de la qualité des données d'un dispositif de surveillance épidémiologique en santé animale. In: *Plateforme Esa, Outils et méthodes, qualité des données*. [http://www.platormeesa.fr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=51&Itemid=302].
- Parra A., Garcia A., Inglis N. Tato A., Alonso J.M., Hermoso de Mendoza M., Hermoso de Mendoza J., Larrasa J. (2006) An epidemiological evaluation of *Mycobacterium bovis* infection in wild game animals of the Spanish Mediterranean ecosystem. *Res. Vet. Sci.* **80**, 140-146.
- Paul M., Baritoux V., Wongnarkpet S., Poolkhet C., Thanapongtharm W., Roger F., Bonnet P., Ducrot C. (2013) Practices associated with highly pathogenic avian influenza spread in traditional poultry marketing chains: social and economic perspectives. *Acta Trop.* **126**, 43-53.
- Pavlik I., Yayo Ayele W., Parmova I., Melicharek I., Hanzlikova M., Körmendy B., Nagy G., Cvetnic Z., Ocepek Z., Ocepek M., Fejzic N., Lipiec M. (2002) Incidence of bovine tuberculosis in wild and

- domestic animals other than cattle in six Central European countries during 1990-1999. *Vet. Med.Czech.* **47**(2-3), 122-131.
- Payne A. (2014) Rôle de la faune sauvage dans le système multi-hôtes de *Mycobacterium bovis* et risque de transmission entre faune sauvage et bovins. Etude expérimentale en Côte d'Or. Thèse d'Université, Université Claude-Bernard Lyon 1, 366 p.
- Pellerin M., Bonenfant C., Garel M., Chevrier T., Queney G., Klein F., Michallet J. (2014) Dynamique de la population de cerfs du domaine vital de Chambord : analyse temporelle des ICE. Rapport d'expertise ONCFS, 64 p.
- Perez A., Al Khamis M., Carlsson U., Brito B., Carrasco-Medanic R., Whedbee Z., Willeberg P. (2011) Global animal disease surveillance. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology.* **2**, 135-145.
- Pettorelli N., Gaillard J.M., Van Laere G., Duncan P., Kjellander P., Liberg O., Delorme D., Maillard D. (2002) Variations in adult body mass in roe deer: the effects of population density at birth and of habitat quality. *P. Roy. Soc. Lond. B. Bio.* **269**, 747-753.
- Peyre M., Hendriks P., Pahn Thi Thanh H., Huu D.D., Goutard F., Desvaux S., Roger F. (2011) Evaluation of surveillance systems in animal health: the need to adapt the tools to the contexts of developing countries, results from a regional workshop in South East Asia. *Epidemiol. et santé anim.* **59-60**, 415-417.
- Phillips C.J.C., Foster C.R.W., Morris P.A., Teverson R. (2003) The transmission of *Mycobacterium bovis* infection to cattle. *Res. Vet. Sci.* **74**, 1-15.
- Pinkerton S.D., Johnson-Masotti A.P., Derse A. Layde P.M. (2002) Ethical issues in cost-effectiveness analysis. *Eval. Prog. Plann.* **25**(1), 71-83.
- Pollock J.M., Neill S.D. (2002) *Mycobacterium bovis* infection and tuberculosis in cattle. *Vet. J.* **163**(2), 115-127.
- Pollock J.M., McNair J., Welsh M.D., Girvin R.M., Kennedy H.E., Mackie D.P., Neill S.D. (2001) Immune responses in bovine tuberculosis. *Tuberculosis (Edinb).* **81**(1-2), 103-107.
- Pope L.C., Domingo-Roura X., Erven K., Burke T. (2006) Isolation by distance and gene flow in the Eurasian badger (*Meles meles*) at both a local and broad scale. *Mol. Ecol.* **15**(2), 371-386.
- Pretty J.N. (1995) Participatory learning for sustainable agriculture. *World Dev.* **23**, 1247-1263.
- Pritchard D.G. (1988) A century of bovine tuberculosis 1888-1988: conquest and controversy. *J. Comp. Pathol.* **9**, 357-399.
- Quéré P., Bronner A., Meziani F., Hendriks P. (2015) Importance de l'évaluation quantitative de la qualité des données d'un dispositif de surveillance : exemple du programme RESABELLE. *Epidémiol. et santé anim.* **67**, 39-50.
- Radunz B. (2006) Surveillance and risk management during the latter stages of eradication: Experiences from Australia. *Vet. Microbiol.* **112**, 283-290.
- Rault A., Krebs S. (2010) Quels outils économiques pour la gestion des risques sanitaires épidémiques ? Etat des lieux et perspectives. In: *Journées de recherches en sciences sociales INRA-SFER-CIRAD*. Rennes, 9-10 décembre 2010.
- Reist M., Jemmi T., Stärk K.D.C. (2012) Policy-driven development of cost-effective, risk-based surveillance strategies. *Prev. Vet. Med.* **105**, 176-184.
- Réveillaud E. (2011) Point épidémiologique sur la tuberculose bovine dans la faune sauvage en Dordogne en 2011 : Evaluation du risque lié au blaireau (*Meles meles*). Thèse de Doctorat vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire, agroalimentaire et de l'alimentation Nantes Atlantique-ONIRIS, 188 p.

- Rich K.M. (2007) New methods for integrated models of animal disease control. *Selected paper prepared for the 2007 American Agricultural Economics Association Meetings, Portland, Oregon, 29 July-1 August 2007*. [<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/9701/1/sp07ri03.pdf>].
- Rich K.M., Winter-Nelson A., Miller G.Y. (2005a) Enhancing economic models for the analysis of animal disease. *Rev. Sci. Tech.* **24**, 847-856.
- Rich K.M., Miller G.Y. Winter-Nelson A. (2005b) A review of economic tools for the assessment of animal disease outbreaks. *Rev. Sci. Tech.* **24**(3), 833-845.
- Rich K.M., Denwood M.J., Scott A.W., Mellor D.J., Reid S.W.J., Gunn G.J. (2013) Systems approaches to animal disease surveillance and resource allocation: methodological frameworks for behavioral analysis. *PLoS ONE*. **8**(11): e82019. doi:10.1371/journal.pone.0082019.
- Richomme C., Boadella M., Courcoul A., Durand B., Drapeau A., Corde Y., Hars J., Payne A., Fediaevsky A., Boschiroli M.L. (2013) 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*. **8**(10), e77842. doi:10.1371/journal.pone.0077842.
- Rigaux P., Chanu C. (2011) Densité du blaireau d'Eurasie (*Meles meles*) et répartition des terriers dans un paysage rural de moyenne montagne, entre Combrailles et Monts Dôme (Puy-de-Dôme, France). Groupe Mammalogique d'Auvergne, rapport, 33 p.
- Risksur (2013) The EVA tool: an integrated approach for evaluation of animal health surveillance systems. Report for the deliverable No. 1.4. RISKSUR Project: Providing a new generation of methodologies and tools for cost-effective risk-based animal health surveillance systems for the benefit of livestock producers, decision makers and consumers, 38 p. [www.fp7-risksur.eu].
- Ritacco V., Lopez B., De Kantor I.N., Barrera L., Errico F., Nader A. (1991) Reciprocal cellular and humoral immune responses in bovine tuberculosis. *Res. Vet. Sci.* **50**, 365-367.
- Rivière J., Hars J., Richomme C., Fediaevsky A., Calavas D., Faure E., Hendriks P. (2012) La surveillance de la faune sauvage : de la théorie à la pratique avec l'exemple du réseau Sylvatub. *Epidemiol. et santé anim.* **61**, 5-16.
- Rivière J., Carabin K., Le Strat Y., Hendriks P., Dufour B. (2014a) Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013: a survey-based review. *Vet. Microbiol.* **173**, 323-331.
- Rivière J., Payne A., Hars J., Dufour B. (2014b) Faune sauvage et tuberculose bovine: évolution dans quelques pays européens et hors Union Européenne. *Le nouveau praticien vétérinaire*. **6**(25), 173-180.
- Rivière J., Lhubert M., Réveillaud E., Cavalerie L., Hendriks P. (2015) Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France métropolitaine (Sylvatub) – Méthode Oasis Flash. Compte-rendu d'évaluation, 37 p.
- Robinson P.A., Corner L.A.L., Courcier E.A., McNair J., Artois M., Menzies F.D., Abernethy D.A. (2012) BCG vaccination against tuberculosis in European badgers (*Meles meles*): a review. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* **35**, 277-287.
- Rogers L.M., Cheeseman C.L., Mallinson P.J., Clifton-Hadley R.S. (1997) The demography of a high density badger population in the west of England. *J. Zool.* **242**, 705-728.
- Rogers L.M., Delahay R., Cheeseman C.L., Langton S., Smith G.C., Clifton-Hadley R.S. (1998) Movement of badgers (*Meles meles*) in a high-density population: individual, population and disease effects. *Proc. Biol. Sci.* **265**(1403), 1269-1276.
- Rohonczy E.B., Balachandran A.V., Dukes T.W., Payeur J.B., Rhyan J.C., Saari D.A., Whiting T.L., Wilson S.H., Jarnagin J.L. (1996) A comparison of gross pathology, histopathology, and mycobacterial culture for the diagnosis of tuberculosis in elk (*Cervus elaphus*). *Can. J. Vet. Res.* **60**(2), 108-114.

- Rolland J.C. (2003) Le statut du cerf élaphe (*Cervus elaphus*) dans le département des Alpes-Maritimes. Thèse de Doctorat vétérinaire. ENVT, 187 p.
- Rothel J.S., Jones S.L., Corner L.A., Cox J.C., Wood P.R. (1990) A sandwich enzyme immunoassay for bovine interferon – and its use for the detection of bovine tuberculosis in cattle. *Aust. Vet. J.* **67**, 134-137.
- Ruette S., Hars J., Payne A., Guinot-Ghestem M. (2014) Etat des connaissances et propositions concernant le suivi et les mesures de gestion des populations de blaireaux en France. Rapport ONCFS, 25 p.
- Rushton J., Hinrichs J., Otte M.J. (2009) Effective use of economic tools for assessing livestock diseases and their control: the case of cost benefit and cost-effectiveness analyses. Poster presented at the 2009 Annual Meeting of the Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine, 1–3 April, London. [www.svepm.org.uk/posters/index.php?path=%2F2009%2F].
- Ryan T.J., Livingstone P.G., Ramsey D.S.L., de Lisle G.W., Nugent G., Collins D.M., Buddle B.M. (2006) Advances in understanding disease epidemiology and implications for control and eradication of tuberculosis in livestock: the experience from New Zealand. *Vet. Microbiol.* **112**(2-4), 211-219.
- Sadlier L., Webbon C.C., Baker P.J., Harris S. (2004) Methods of monitoring foxes (*Vulpes vulpes*) and badgers (*Meles meles*): are fiel signs the answer? *Mammal Rev.* **34**, 75-98.
- Salman M.D. (2003) Surveillance and monitoring systems for animal health programs and disease surveys. In: *Salman M.D. (Ed.) Animal disease surveillance and survey systems*. Iowa State Press, Iowa, 3-13.
- Santos N., Correia-Neves M., Ghebremichael S., Källenius G., Svenson S.B, Almeida V. (2009) Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in wild boar *Sus scrofa* from Portugal. *J. Wildl. Dis.* **40**(1), 42-52.
- Santos N., Geraldes M., Afonso A., Almeida V., Correia-Neves M. (2010) Diagnosis of tuberculosis in wild boar (*Sus scrofa*): a comparison of methods applicable to hunter-harvested animals. *PLoS ONE.* **5**(9), e12663.
- Sawford K., Vollman A.R., Stephen C. (2012) A focused ethnographic study of Sri Lankan government field veterinarian's decision making about diagnostic laboratory submissions and perceptions of surveillance. *PLoS ONE.* **7**, e48035.
- Schiller I., Oesch B., Vordermeier H.M., Palmer M.V., Harris B.N., Orloski K.A., Buddle B.M., Thacker T.C., Lyashchenko K.P., Waters W.R. (2010) Bovine tuberculosis: a review of current and emerging diagnostic techniques in view of their relevance for disease control and eradication. *Transbound. Emerg. Dis.* **57**(4), 205-220.
- Schiller I., Waters W.R., Vordermeier M., Jemmi T., Welsh M., Keck N., Whelan A., Gormley E., Boschioli M.L., Moyon J.L., Vela C., Cagiola M., Buddle B.M., Palmer M., Thacker T., Oesch B. (2011) Bovine tuberculosis in Europe from the perspective of an officially tuberculosis free country: trade, surveillance and diagnostics. *Vet. Microbiol.* **151**, 153-159.
- Schmitt S.M., O'Brien D.J., Bruning-Fann C.S., Fitzgerald S.D. (2002) Bovine tuberculosis in Michigan wildlife and livestock. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **696**, 262-268.
- Schöning J.M., Cerny N., Prohaska S., Wittenbrink M.M., Smith N.H., Bloemberg G., Pewsner M., Schiller I., Origi F.C., Ryser-Degiorgis M.P. (2013) Surveillance of bovine tuberculosis and risk estimation of a future reservoir formation in wildlife in Switzerland and Liechtenstein. *PLoS ONE.* **8**(1), e54253. doi:10.1371/journal.pone.0054253.
- Schuppers M.E., Frey C.F., Gottstein B., Stärk K.D., Kihm U., Regula G. (2010) Comparing the demonstration of freedom from *Trichinella* infection of domestic pigs by traditional and risk-based surveillance. *Epidemiol. Infect.* **138**, 1242-1251.

- Seiler A., Helldin J.O., Eckersten T. (2003) Road mortality in Swedish badgers (*Meles meles*): effect on population. Article issu d'une thèse Universitaire "The toll of the automobile: wildlife and roads in Sweden". Swedish University of Agricultural Science, Uppsala 2003.
- Sergeant E., Happold J., Hutchison J., Langstaff I. (2010) Evaluation of Australian surveillance for freedom from bovine tuberculosis. *Ausvet report*, 42 p.
- Sergeant E., Happold J., Langstaff I., Hutchison J. (2011) Evaluation of Australian surveillance for freedom from bovine tuberculosis. *Epidemiol. et santé anim.* **59-60**, 325-327.
- Serraino A., Marchetti G., Sanguinetti V., Rossi M.C., Zanoni R.G., Catozzi L., Bandera A., Dini W., Mignone W., Franzetti F., Gori A. (1999) Monitoring of transmission of tuberculosis between wild boars and cattle: genotypical analysis of strains by molecular epidemiology techniques. *J. Clin. Microbiol.* **37**(9), 2766-2771.
- Serval (2013) A generic framework for the evaluation of animal health surveillance. Incorporating a worked example from a case study of pre-movement testing for bovine tuberculosis in England and Wales (2013). Report version 1.2, 45 p.
[http://www.rvc.ac.uk/Media/Default/VEEPH/Documents/SERVAL_pdf].
- Servanty S. (2007) Dynamique d'une population chassée de sangliers (*Sus scrofa scrofa*) en milieu forestier. Thèse d'Université, Université Claude-Bernard Lyon 1, 266 p.
- Shahab S. (2009) Finding value in the evaluation of public health syndromic surveillance systems from a policy perspective. Alberta, Canada: Alberta Health Services, 24 p.
- Shirley M.D.F., Rushton S.P., Smith G.C., South A.B., Lurz P.W.W. (2003) Investigating the spatial dynamics of bovine tuberculosis in badger populations: evaluating an individual-based simulation model. *Ecol. Model.* **167**, 139-157.
- Smith G.C., Wilkinson D. (2002) Modelling disease spread in a novel host: rabies in the European badger *Meles meles*. *J. Appl. Ecol.* **39**(6), 865-874.
- Smith G.C., Richards M.S., Clifton-Hadley R.S., Cheeseman, C.L. (1995) Modelling bovine tuberculosis in badgers in England: preliminary results. *Mammalia.* **59**, 639-650.
- Smith G.C., Cheeseman C.L., Clifton-Hadley R.S. (1997) Modelling the control of bovine tuberculosis in badgers in England: culling and the release of lactating females. *J. Appl. Ecol.* **34**, 1375-1386.
- Smith G.C., Cheeseman C.L., Clifton-Hadley R.S., Wilkinson D. (2001) A model of bovine tuberculosis in the badgers *Meles meles*: an evaluation of control strategies. *J. Appl. Ecol.* **38**, 509-519.
- Smith G.C., Bennett R., Wilkinson D., Cooke R. (2007) A cost-benefit analysis of culling badgers to control bovine tuberculosis. *Vet. J.* **173**, 302-310.
- Snider D.E. (1982) The tuberculin skin test. *Am. Rev. Respir. Dis.* **125**(3[2]), 108-118.
- Sorbe A., Moinet M., Chazel M., Gay E., Richomme C., Haenni M., Decors A., Madec J.Y., Boue F., Hendriks P. (2011) A simplified method for the development of performance indicators for epidemiological surveillance systems: application to two different French surveillance systems. ICAHS, Lyon, 17-20 May 2011.
- Spitz F. (1984) Démographie du sanglier en Grésigne (Sud-Ouest de la France). In: *Symposium international sur le Sanglier*. Toulouse (France), 24-26 avril 1984. Ed. INRA Publ. Les colloques de l'INRA. n°22, 7 p.
- Stahnke N., Liebscher V., Staubach C., Ziller M. (2013) An approach to model monitoring and surveillance data of wildlife diseases – Exemplified by Classical Swine Fever in wild boar. *Prev. Vet. Med.* **112**, 355-369.
- Stärk K.D.C. (2003) Quality assessment of animal disease surveillance and survey systems. In: Salman M.D. (Ed) *Animal disease surveillance and survey systems: methods and applications*. 1st ed. Iowa State press, Iowa, 169-176.

- Stärk K.D.C., Horst H.S., Kelly L. (2000) Combining expert opinions: a comparison of different approaches. In: *Proceedings of the Ninth International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics*, Breck-enridge, USA.
- Stärk K.D.C., Salman M., Tempelman Y., Kihm U. (2002) A review of approaches to quality assurance of veterinary systems for health-status certification. *Prev. Vet. Med.* **56**, 129-140.
- Stärk K.D.C., Regula G., Hernandez J., Knopf L., Fuchs K., Morris R.S., Davies P. (2006) Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: review of current approaches. *BMC Health Serv. Res.* **6**, 20. doi:10.1186/1472-6963-6-20.
- Stärk K.D.C., Alonso S., Dadios N., Dupuy C., Ellerbroek L., Georgiev M., Hardstaff J., Huneau-Salaün A., Laugier C., Mateus A., Nigsch A., Afonso A., Lindberg A. (2014) Strengths and weaknesses of meat inspection as a contribution to animal health and welfare surveillance. *Food Control.* **39**, 154-162.
- Taylor L.H., Latham S.M., Woolhouse M.J. (2001) Risk factors for human disease emergence. *Philos. T. Roy. Soc. B.* **356**, 983-989.
- Thoen C.O., Huchzermeyer H., Himes E.M. (1995) Laboratory diagnosis of bovine tuberculosis. In: *Mycobacterium bovis infection in animals and humans*. C.O. Thoen and J.H. Steele (eds). Iowa States University Press, Ames, Iowa, 63-72.
- Thulke H.H., Eisinger D., Freuling C., Fröhlich A., Globig A., Grimm V., Müller T., Selhorst T., Staubach C., Zips S. (2009) Situation-based surveillance: adapting investigations to actual epidemic situations. *J. Wildl. Dis.* **45**(4), 1089-1103.
- Thurmond M.C. (2003) Conceptual foundations for infectious disease surveillance. *J. Vet. Diagn. Invest.* **15**, 501-514.
- Toïgo C., Servanty S., Gaillard J.M., Brandt S., Baubet E. (2010) Mortalité naturelle et mortalité liée à la chasse : le cas du sanglier. *Faune sauvage.* **288**, 19-22.
- Toma B., Dufour B. (2015) Domaines et sources d'incertitude en épidémiologie animale. *Epidemiol. et santé anim.* **68**, 5-18.
- Toma B., Dufour B., Sanaa M., Bénet J.J., Moutou F., Louza A., Ellis P., Shaw A. (1999) *Applied veterinary epidemiology and the control of disease in populations*. Ed. AEEMA, 536 p.
- Torgerson P.R. (2010) Cost-effectiveness of bovine tuberculosis control. *Vet. Rec.* doi:10.1136/vr.c5372.
- Torgerson P.R., Torgerson D.J. (2010) Public health and bovine tuberculosis: what's all the fuss about? *Trends Microbiol.* **18**, 67-72.
- Trcka I., Lamka J., Suchy R., Kopečna M., Beran V., Moravkova M., Horvathova A., Bartos M., Parmova I., Pavlik I. (2006) Mycobacterial infections in European wild boar (*Sus scrofa*) in the Czech Republic during the years 2002 to 2005. *Vet. Med.* **51**(5) 320-332.
- Treich N. (2005) L'analyse coût-bénéfice de la prévention des risques. Version préliminaire, décembre 2005. [<http://www2.toulouse.inra.fr/lerna/treich/ACB03.pdf>].
- Van der Fels-Klerx H.J., Horst H.S., Dijkhuizen A.A. (2000) Risk factors for bovine respiratory disease in dairy youngstock in The Netherlands: the perception of experts. *Livest. Prod. Sci.* **66**, 35-46.
- Vanderstichel R., Christensen J., Stryhn H., Hurnik D. (2013) Standards for reporting surveillance information in freedom from infection models by example of *Trichinella* in Canadian market hogs. *Prev. Vet. Med.* **111**(1-2), 176-180.
- Vergne T. (2012) Les méthodes de capture-recapture pour évaluer les systèmes de surveillance des maladies animales. Thèse d'Université Paris XI, 227 p.

- Vicente J., Hofle U., Garrido J.M., Fernandez-de-Mera I., Juste R., Barral M., Gortazar C. (2006) Wild boar and red deer display high prevalences of tuberculosis-like lesions in Spain. *Vet. Res.* **37**, 107-119.
- Vordermeier M., Whelan A., Hewinson G. (2008) The scientific case for the gamma-interferon Bovigam assay. *Gov. Vet. J.* **19**, 38-43.
- Vose D. (2000) Defining distributions from expert opinion. In: *Risk Analysis: A Quantitative Guide*, John Wiley & Sons, Chichester, England, 752 p.
- Wahlström H., Englund L., Carpenter T., Emanuelson U., Engvall A., Vagsholm I. (1998) A Reed-Frost model of the spread of tuberculosis within seven Swedish extensive farmed fallow deer herds. *Prev. Vet. Med.* **35**, 181-193.
- Wahlström H., Frössling J., Sternberg Lewerin S., Ljung A., Cedersmyg M., Cameron A. (2010) Demonstrating freedom from *Mycobacterium bovis* infection in Swedish farmed deer using non-survey data sources. *Prev. Vet. Med.* **94**, 108-118.
- Wahlström H., Isomursu M., Hallgren G., Christensson D., Cedersmyg M., Wallensten A., Hjertqvist M., Davidson R.K., Uhlhorn H., Hopp P. (2011) Combining information from surveys of several species to estimate the probability of freedom from *Echinococcus multilocularis* in Sweden, Finland and Mainland Norway. *Acta Vet. Scand.* **53**, 9.
- Weiskopf N., Weng C. (2013) Methods and dimensions of electronic health record data quality assessment: enabling reuse for clinic research. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* **20**, 144-151.
- Welby S., van den Berg T., Marché S., Houdart P., Hooyberghs J., Mintiens K. (2010) Redesigning the serological surveillance program for notifiable avian influenza in Belgian professional poultry holdings. *Avian Dis.* **54**, 597-605.
- Welby S., Govaerts M., Vanholme L., Hooyberghs J., Mennens K., Maes L., van der Stede Y. (2012) Bovine tuberculosis surveillance alternatives in Belgium. *Prev. Vet. Med.* **106**, 152-161.
- Welby S., Méroc E., Faes C., De Clercq K., Hooyberghs J., Mintiens K., van der Stede Y. (2013) Bluetongue surveillance system in Belgium: a stochastic evaluation of its risk-based approach effectiveness. *Prev. Vet. Med.* **112**(1-2), 48-57.
- White P.C., Harris S. (1995) Bovine tuberculosis in Badger (*Meles meles*) populations in southwest England: an assessment of past, present and possible future control strategies using simulation modeling. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* **349**(1330), 415-432.
- WHO (1997) Protocol for the evaluation of epidemiological surveillance system. WHO/EMC/DIS/97.2 [http://whqlibdoc.who.int/hq/1997/WHO_EMC_DIS_97.2.pdf].
- Wiertz J. (1993) Fluctuations in the Dutch badger (*Meles meles*) population between 1960 and 1990. *Mammal Rev.* **23**, 59-64.
- Wilkinson D., Smith G.C., Delahay R.J., Rogers L.M., Cheeseman C.L., Clifton-Hadley R.S. (2000) The effects of bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) on the mortality in a badger (*Meles meles*) population in England. *J. Zool.* **250**, 389-395.
- Wilson G.J., Carter S.P., Delahay R.J. (2011) Advances and prospects for management of TB transmission between badgers and cattle. *Vet. Microbiol.* **151**(1-2), 43-50.
- Wobeser G.A. (1994) *Investigation and management of disease in wild animals*. Plenum Press, New York (Eds), 265 p.
- Wood P.R., Rothel J.S. (1994) In vitro immunodiagnostic assays for bovine tuberculosis. *Vet. Microbiol.* **40**, 125-135.
- Wood P.R., Jones S.L. (2001) Bovigam: an in vitro cellular diagnostic test for bovine tuberculosis. *Tuberculosis.* **81**, 147-155.

- Wood P.R., Corner L.A., Rothel J.S., Baldock C., Jones S.L., Cousins D.B., McCornick B.S., Francis B.R., Creeper J., Tweedle N.F. (1991) Field comparison of the interferon-gamma assay and intradermal tuberculin test for the diagnosis of bovine tuberculosis. *Aust. Vet. J.* **68**, 286-290.
- Zanella G., Duvauchelle A., Hars J., Moutou F., Boschioli M.L., Durand B. (2008a) Patterns of lesions of bovine tuberculosis in wild red deer and wild boar. *Vet. Rec.* **163**, 43-47.
- Zanella G., Durand B., Hars J., Moutou F., Garin-Bastuji B., Duvauchelle A., Ferme M., Karoui C., Boschioli M. L. (2008b) *Mycobacterium bovis* in wildlife in France. *J. Wildl. Dis.* **44** (1), 99-108.
- Zepeda C., Salman M., Ruppanner R. (2001) International trade, animal health and veterinary epidemiology: challenges and opportunities. *Prev. Vet. Med.* **48**, 261-271.

Textes réglementaires

- Arrêté du 15 septembre 2003 fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective et à la police sanitaire de la tuberculose des bovinés et des caprins (dernièrement amendé le 18 août 2014).
- Arrêté du 29 janvier 2007 fixant les dispositions relatives au piégeage des animaux classés nuisibles, en application de l'article L. 427-8 du code de l'environnement.
- Arrêté du 18 décembre 2009 relatif aux règles sanitaires applicables aux produits d'origine animale et aux denrées alimentaires les concernant.
- Arrêté du 29 juillet 2013 relatif à la définition des dangers sanitaires de première et deuxième catégorie pour les espèces animales.
- Décision de la Commission 2001/26/CE du 27 décembre 2000 établissant le statut de troupeau officiellement indemne de tuberculose dans certains Etats membres ou régions d'Etats membres.
- Décision de la Commission 2003/467/CE du 23 juin 2003 établissant le statut d'officiellement indemnes de tuberculose, de brucellose et de leucose bovine enzootique des troupeaux bovins de certains Etats membres et régions d'Etats membres.
- Directive 64/432/CEE du 26 juin 1964, relative à des problèmes de police sanitaire en matière d'échanges intracommunautaires d'animaux des espèces bovine et porcine. Communauté Economique Européenne, Bruxelles, 1964.
- Directive 64/433/CEE du 26 juin 1964, relative à des problèmes sanitaires en matière d'échanges intracommunautaires de viandes fraîches. Communauté Economique Européenne, Bruxelles, 1964.
- Directive 92/46/CEE 16 juin 1992, arrêtant les règles sanitaires pour la production et la mise sur le marché de lait cru, de lait traité thermiquement et de produits à base de lait. Communauté Economique Européenne, Bruxelles, 1992.
- Note de service DGAL/SDSPA/N2011-8214 du 20 septembre 2011 : Surveillance épidémiologique de la tuberculose dans la faune sauvage en France : réseau Sylvatub.
- Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 du 29 juillet 2013 : Surveillance épidémiologique de la tuberculose dans la faune sauvage en France : réseau Sylvatub.
- Note de service DGAL/SDSPA/N2015-556 du 26 juin 2015 : Surveillance épidémiologique de la tuberculose dans la faune sauvage : dispositif Sylvatub.
- Règlement 1226/2002/CE du 8 juillet 2002 modifiant l'annexe B de la directive 64/432/CEE du Conseil Commission Européenne, Bruxelles, 2002.
- Règlement 854/2004/CE du 29 Avril 2004, fixant les règles spécifiques d'organisation des contrôles officiels concernant les produits d'origine animale destinés à la consommation humaine. Commission Européenne, Strasbourg, 2004.

Annexe 1. Éléments à prendre en compte pour l'évaluation de dispositifs de surveillance

Le **Tableau 32** présente les principaux critères d'évaluation recensés dans la littérature (synthèse non exhaustive ; Hoinville *et al.*, 2009 ; Hoinville, 2013 ; Servat, 2013), en fonction de l'aspect du dispositif concerné (processus de surveillance, données, performances du dispositif...). D'après Hoinville *et al.* (2009), les critères les plus utilisés sont ceux concernant la performance du dispositif (utilité, efficacité et efficience).

Tableau 32 : Principaux critères d'évaluation par aspect d'un dispositif de surveillance

Aspects du dispositif	Critères	
Maladie et population surveillée	Utilité simple ou multiple	Nombre de pathogènes surveillés
	Couverture	Proportion de la population d'intérêt incluse dans l'activité de surveillance
	Représentativité	Inférence des résultats de distribution spatio-temporelle de la maladie à la population générale (type de production, sexe, âge, période d'échantillonnage, etc.)
Collecte des données	Source de données	Sources de données appropriées ; collecte automatique si possible ; existence d'une définition du cas
	Données historiques	Qualité et accessibilité de données archivées
	Stratégie d'échantillonnage	Echantillonnage aléatoire ou basé sur le risque
	Exhaustivité	Proportion de données qui devraient être collectées et qui le sont effectivement
Gestion des données	Stockage et gestion des données	Documentation et gestion des données Procédure de vérification et de sauvegarde des données
	Analyse des données	Méthodes et fréquence d'analyse des données Interprétation des données
	Communication et diffusion	Communication interne (retour aux acteurs) Communication externe
Qualité des résultats	Analyses de laboratoire	Méthodes d'analyse appropriées, sensibilité et spécificité des tests, délai de production des résultats
	Assurance qualité	Procédures assurées ou accréditées (laboratoire ou processus de surveillance)
	Sensibilité	Détection de cas : proportion d'individus ou de troupeaux infectés détectés par le système Détection seuil : probabilité que la maladie soit détectée si elle est présente à un certain niveau dans la population
	Taux de « fausses alarmes » (1 – spécificité)	Proportion d'événements « négatifs » classés en cas « positifs »
	Biais	Etendue de la déviation de la prévalence estimée par rapport à la prévalence réelle
	Précision	Intervalle de confiance
	Valeurs prédictives	Valeur prédictive positive et valeur prédictive négative
	Rapidité	Délai entre la collecte des données et la production d'informations ; réactivité du système
	Robustesse	Capacité du système à produire des résultats acceptables à partir d'hypothèses d'incertitude
	Structure organisationnelle	Organisation et management
Offre de formation		Collecte des données par exemple
Disponibilité des ressources		Ressources humaines, financières, matérielles
Communication et diffusion		Communication interne (retour aux acteurs) Communication externe

Fonctionnement du dispositif	Stabilité et durabilité	Fonctionnement sans défaut (fiabilité), disponibilité continue dans le temps (durabilité)
	Acceptabilité	Propension de participation des acteurs Degré d'implication des acteurs dans la surveillance
	Simplicité	Structure peu complexe du système de surveillance, facilité de mise en œuvre, simplicité du flux de données
	Flexibilité	Capacité à s'adapter aux changements, dans un court délai et impliquant un minimum de personnel ou de ressources
	Portabilité	Possibilité d'utiliser le système dans d'autres situations ou dans d'autres zones
	Interopérabilité	Possibilité d'intégrer des données issues d'autres sources
Performance du dispositif	Coûts	Ressources nécessaires Personnes et organismes financeurs
	Avantages	Conséquences directes ou indirectes, monétaires ou non, de la surveillance : meilleure utilisation des ressources, ressources sauvées, pertes évitées (pertes de production animales, mortalité et morbidité, diminution de la confiance des consommateurs, écosystèmes lésés, etc.)
	Utilité	Contribution à la prévention et au contrôle de phénomènes pathologiques
	Efficacité	Atteinte des objectifs fixés
	Efficience	Minimum de ressources utilisées pour atteindre les objectifs fixés
Critères d'efficience économique	Efficience économique optimale	Maximiser le bénéfice net pour la société Diminuer les pertes
	Acceptabilité économique	S'assurer que les bénéfices (pertes évitées) générés par les mesures de lutte couvrent au moins les coûts de surveillance et d'intervention
	Choix le moins coûteux	S'assurer que la cible technique pour la réduction de la maladie (par exemple, temps de détection) est atteint avec le coût minimum, sans quantifier les bénéfices

Annexe 2. Outils de dépistage et de diagnostic de la tuberculose bovine

Tableau 33 : Performances des principaux outils de dépistage et diagnostic de la tuberculose bovine

Test	Espèce	Pays	Se	Sp	Détails	Sources
IDS	Bovin		83,9 % [63,2 ; 100]	96,8 % [75,5 ; 99]	Se variable selon les caractéristiques de l'infection ou les modalités de réalisation du test. Sp variable selon la fréquence et l'étiologie de réactions non spécifiques.	de la Rua-Domenech <i>et al.</i> (2006)
	Wapiti		88 %	69 %		Palmer <i>et al.</i> (2011)
IDC	Bovin		80 % [52 ; 100]	99,5 % [78,8 ; 100]		de la Rua-Domenech <i>et al.</i> (2006)
IFN- γ	Bovin		87,6 % [73 ; 100]	96,6 % [85 ; 99,6]	Variable selon le contexte épidémiologique, les seuils de positivité utilisés, les lots d'antigène et la qualité de l'intervenant	de la Rua-Domenech <i>et al.</i> (2006) ; Vordermeier <i>et al.</i> (2008)
	Blaireau		84,6 %	92,5 %		Dalley <i>et al.</i> (2008), Chambers (2009, 2013)
Sérologie (ELISA)	Sanglier		73 %	96 %		Aurtenetxe <i>et al.</i> (2008)
	Daim		51 %	96 %		Boadella <i>et al.</i> (2012)
Examen <i>post-mortem</i> (macroscopique)			82,7 %			Martin-Hernando <i>et al.</i> (2007) ; Santos <i>et al.</i> (2010)
	Sanglier	Espagne	72,2 % [46,1 ; 89,3]	100%	Culture considérée comme test de référence	Santos <i>et al.</i> (2010)
			72,7 % [49,6 ; 88,4]	100%	Culture non considérée comme test de référence	Santos <i>et al.</i> (2010)
		France	76,9 %			Zanella <i>et al.</i> (2008a) ; Santos <i>et al.</i> (2010)
	Cerf élaphe		93 %	89%		Rohonczy <i>et al.</i> (1996) ; Santos <i>et al.</i> (2010)
		Suède	70 %	100 %		Wahlström <i>et al.</i> (1998)
	Blaireau		Faible			Corner <i>et al.</i> (2011)
	Cerf de Virginie		75 % [59 ; 91]	100 %	VPP : 100 % VPN : 99,1 % [98,4 ; 99,8]	O'Brien <i>et al.</i> (2004) ; Santos <i>et al.</i> (2010)
Buffle africain	Afrique	63 %			de Vos <i>et al.</i> (2001)	
Wapiti	Canada	93 %			Rohonczy <i>et al.</i> (1996)	

Histopathologie	Sanglier	Espagne	77,8 % [51,9 ; 92,6]	96,7 %	Culture considérée comme test de référence	Santos et al. (2010)
			81,8 % [59 ; 94]		Culture non considérée comme test de référence	Santos et al. (2010)
	Cerf		88 %	89 %		Rohonczy et al. (1996) ; Santos et al. (2010)
	Cerf de Virginie	Michigan (USA)	98 %	87 %	Considéré positif si lésion inflammatoire granulomateuse avec nécrose centrale et pas de suspicion d'autre étiologie VPP : 94,32 % VPN : 93,85 %	Fitzgerald et al. (2000) ; Santos et al. (2010)
Coloration Ziehl Nielsen	Cerf de Virginie	Michigan (USA)	89,54 %	97,26 %	VPP : 98,99 % VPN : 75,53 %	Fitzgerald et al. (2000) ; Santos et al. (2010)
	Sanglier	Espagne	55,6 % [31,3 ; 77,6]	94,4 %	Culture considérée comme test de référence	Santos et al. (2010)
			54,5 % [32,7 ; 74,9]		Culture non considérée comme test de référence	Santos et al. (2010)
Détection de BAAR (AFB) sur culture	Cerf de Virginie	Michigan (USA)	100 %	93,15 %	VPP : 97,78 % VPN : 100 %	Fitzgerald et al. (2000) ; Santos et al. (2010)
PCR	Bovin	France	87,7 % [82,5 ; 92,3]	97,0 % [94,3 ; 99]		Courcoul et al. (2014)
	Sanglier	Espagne	66,7 % [41,2 ; 85,6]	100 %	Culture considérée comme test de référence	Santos et al. (2010)
	Sanglier	Espagne	63,6 % [40,8 ; 82]	100 %	Culture non considérée comme test de référence	Santos et al. (2010)
	Cerf de Virginie	Michigan	81 - 97 %			O'Brien et al. (2004)
Culture	Bovin	France	78,1 % [72,9 ; 82,8]	99,1 % [97,1 ; 100]		
	Sanglier	Espagne	81,8 % [59 ; 94]	100 %		Santos et al. (2010)

Annexe 3. Synthèse des principales caractéristiques des espèces sauvages vis-à-vis de la tuberculose bovine à *M. bovis* dans quelques pays

Tableau 34 : Synthèse des principales caractéristiques des espèces sauvages vis-à-vis de la tuberculose bovine à *M. bovis* dans quelques pays européens (rôle épidémiologique, éléments synthétiques d'explication, principales mesures de gestion) (Rivière *et al.*, 2014b)

Pays	Espèce	Rôle épidémiologique principal	Principaux facteurs explicatifs - Commentaires	Principales mesures de gestion	Références
Espagne	Sanglier	Réservoir	<ul style="list-style-type: none"> - Zones à fortes densités de population - Zones d'agrégation locale par nourrissage et abreuvement artificiels - Nombreux cas de tuberculose généralisée favorisant l'excrétion du bacille - Prévalence lésionnelle moyenne chez le sanglier dans la zone centrale : 42,5 % (jusqu'à 100 % localement) - Prévalence lésionnelle moyenne chez le cerf dans la zone centrale : 14 % (50 % localement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcement des mesures de biosécurité - protection des points d'eau et de la nourriture du bétail - Réduction des densités de population (chasse) - Gestion des carcasses et des viscères - Vaccination orale du sanglier à l'étude 	<p>Vicente <i>et al.</i> (2006) Martin-Hernando <i>et al.</i> (2007) Naranjo <i>et al.</i> (2008) Gortazar <i>et al.</i> (2011, 2012) Beltran-Beck <i>et al.</i> (2012)</p>
	Cerf	Réservoir			<p>Vicente <i>et al.</i> (2006) Martin-Hernando <i>et al.</i> (2010) Gortazar <i>et al.</i> (2012)</p>
	Blaireau	Méconnu (hôte transmetteur ou réservoir ?)	Prévalence moyenne en Asturie : 7 %		Balseiro <i>et al.</i> (2013)
	Carnivores	Cul de sac épidémiologique	Consommation de carcasses de gibier infecté Faible potentiel excréteur		Anses (2011)
Royaume-Uni, Irlande	Blaireau	Réservoir	<ul style="list-style-type: none"> Zones à fortes densités de population Transmission retour aux bovins possible 	<ul style="list-style-type: none"> Renforcement des mesures de biosécurité Réduction des densités de population (campagnes d'abattage) Vaccination intramusculaire à l'essai 	<p>Corner (2006) Carter <i>et al.</i> (2007) Delahay <i>et al.</i> (2001) Lesellier <i>et al.</i> (2011) Wilson <i>et al.</i> (2011) Robinson <i>et al.</i> (2012)</p>
	Cerf et Daim	Hôte transmetteur	Transmission retour aux bovins possible dans les zones à densités de population importantes		Delahay <i>et al.</i> (2002)
	Carnivores et rongeurs	Cul de sac épidémiologique			Delahay <i>et al.</i> (2007)

Tableau 35 : Synthèse des principales caractéristiques des espèces sauvages vis-à-vis de la tuberculose bovine à *M. bovis* dans quelques pays hors Europe (rôle épidémiologique, éléments synthétiques d'explication, principales mesures de gestion) (Rivière *et al.*, 2014b)

Pays	Espèce	Rôle épidémiologique principal	Principaux facteurs explicatifs- Commentaires	Principales mesures de gestion	Références
Nouvelle-Zélande	Phalanger-Renard	Réservoir	Zones à fortes densités de population Prévalence moyenne de 5 % (jusqu'à 32 % localement) Modification du comportement favorisant la transmission retour aux bovins	Réduction des densités de population (piégeage, empoisonnement) → réduction de la prévalence chez les hôtes transmetteurs également Vaccination orale à l'étude	Morris et Pfeiffer (1995) de Lisle <i>et al.</i> (2001) Ryan <i>et al.</i> (2006) Nugent (2011) Nugent <i>et al.</i> (2012) Robinson <i>et al.</i> (2012)
	Furet	Hôte transmetteur	Réservoir dans les zones à fortes densités de population Transmission retour aux bovins possible	Réduction des densités dans les zones à forte population	Ryan <i>et al.</i> (2006) Nugent (2011)
	Cerf	Hôte transmetteur	Réservoir dans les zones à fortes densités de population		Ryan <i>et al.</i> (2006) Nugent (2011)
	Porcs marrons	Hôte transmetteur	Sentinelle épidémiologique (pour connaître la prévalence d'infection dans certaines zones)		Nugent <i>et al.</i> (2002)
Australie	Buffle d'eau	Réservoir	Zones à fortes densités de population Prévalence lésionnelle de 25 % (années 1970) Pas de transmission retour aux bovins car absence de contact	Abattage total de la population de buffles -> réduction de la prévalence chez les hôtes transmetteurs également	Corner (2006) Radunz (2006)
	Sanglier	Hôte transmetteur	Prévalence estimée à 19 % (années 1970) ; 0,25 % (1992)		McInerney <i>et al.</i> (1995)
Etats-Unis (Michigan)	Cerf de Virginie	Réservoir	Zones à fortes densités de population Zones d'agrégation locale par affouragement artificiel Transmission retour aux bovins possible Prévalence moyenne de 4 % (1995) ; 0,4 % (actuellement)	Réduction des densités de population Interdiction de l'affouragement hivernal dans les zones à risque	Smith <i>et al.</i> (1997) Schmitt <i>et al.</i> (2002) O'Brien <i>et al.</i> (2006)
	Carnivores	Cul de sac épidémiologique	Consommation de carcasses de gibier infecté		

Annexe 4. Article “Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013: a survey-based review”

Veterinary Microbiology 173 (2014) 323–331



Contents lists available at ScienceDirect

Veterinary Microbiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/vetmic



Bovine tuberculosis surveillance in cattle and free-ranging wildlife in EU Member States in 2013: A survey-based review



J. Rivière^{a,*}, K. Carabin^b, Y. Le Strat^c, P. Hendriks^d, B. Dufour^a

^a Alfort National Veterinary School, Research unit EpiMAI USC Anses (Epidemiology of Animal Infectious Disease), 7 avenue du Général de Gaulle, 94 701 Maisons-Alfort, France

^b University Paris 11, Masters in Public Health, France

^c French Institute for Public Health Surveillance, Department of Infectious Diseases, 12 rue du Val d'Osne, 94 415 Saint-Maurice, France

^d French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (Anses), Unit Survepi, 27-31 avenue du Général Leclerc, 94 701 Maisons-Alfort, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 June 2014

Received in revised form 29 July 2014

Accepted 14 August 2014

Keywords:

Bovine tuberculosis
Mycobacterium bovis
Surveillance
European Union
Wildlife
Cattle

ABSTRACT

Bovine tuberculosis (TB) is a common disease in cattle and wildlife, with animal health, zoonotic and economic impacts. Most of the TB data for the European Union (EU) concern the epidemiological situation, but comprehensive descriptions of the way in which surveillance is conducted in each country are rare, despite being essential for cross-Europe comparisons. A European survey was conducted in the 28 Member States and in three other neighboring countries (Norway, Macedonia and Switzerland), to review TB surveillance in cattle and wildlife. EU legislation currently requires TB surveillance solely in cattle. Considerable differences between the surveillance systems of the 26 responding countries were observed, according to the official TB-freedom status of the country and the local prevalence of TB. These differences related principally to the combination of surveillance components (routine screening test in herd and/or movement testing and/or slaughterhouse surveillance), the tests used and their interpretation, and the definition of an infected herd or animal.

For wildlife TB surveillance, only 8 on 21 respondent countries have declared to have implemented passive and/or active surveillance, with marked differences concerning the species and the geographical scale of the surveillance.

The choice of the combination of surveillance components depends on the national or regional epidemiological situation, the species involved in TB epidemiology and epidemiological risk factors, although various surveillance systems have been recorded for countries with similar epidemiological status. Assessments of the cost-effectiveness of each surveillance system would be useful, to confirm the advantages of implementing one or more components.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Bovine tuberculosis (TB) is a chronic disease caused by *Mycobacterium bovis* or, less frequently, by *M. caprae* or *M. tuberculosis*. It affects livestock species, especially cattle, but also companion and wild animals, and it may cause zoonotic disease in humans (Müller et al., 2013). In

* Corresponding author at: ENVA – Service de maladies contagieuses, 7 avenue du Général de Gaulle, 94 701 Maisons-Alfort, France.
Tel.: +33 1 43 96 72 24.

E-mail addresses: julie.riviere@vet-alfort.fr (J. Rivière), y.lestrat@invs.sante.fr (Y. Le Strat), Pascal.HENDRIKS@anses.fr (P. Hendriks), bdufour@vet-alfort.fr (B. Dufour).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.08.013>
0378-1135/© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

developed countries, TB results in major economic losses in the livestock sector, with costs to the cattle industry and government, for surveillance, movement restrictions and slaughter of large numbers of cattle.

The diagnosis of TB infection is based on *ante-mortem* screening tests in herds, tests carried out before or after movement, and *post-mortem* examination (Anon, 1964). The tuberculin skin test is the primary screening test used in herds, either single intradermal tuberculin test (SIT) or comparative intradermal tuberculin test (CIT). The CIT has a higher specificity but a lower sensitivity than the SIT (De la Rúa-Domenech et al., 2006). The *in vitro* interferon-gamma test (IFN- γ) is considered to be as sensitive as the SIT and more sensitive than the CIT, but less specific than SIT or CIT (De la Rúa-Domenech et al., 2006; Vordermeier et al., 2008). A *post-mortem* examination of each animal killed at the slaughterhouse is mandatory for cattle (visual inspection, palpation and incision of relevant organs and lymph nodes) (Anon, 1964). However, lesions could easily be overlooked, particularly if they are small and located on lymph nodes, and this examination is therefore considered to have a very low sensitivity (Schiller et al., 2011; EFSA, 2013). If lesions are found, material from abnormal lymph nodes and parenchymatous organs, and samples from other lymph nodes should be analyzed for stained smears and culture. The polymerase chain reaction (PCR) can also be used to detect the *M. tuberculosis* complex (Anon, 1964).

The EU currently comprises 15 officially tuberculosis free (OTF) countries, 10 not officially tuberculosis free (NOTF) countries and 3 "regionalized" countries (in which only some areas are OTF) (Anon, 2003; last amended in 2012, Anon, 2012). The epidemiological situation may differ between countries, regardless of their official status (cases are also reported in some OTF countries; Anon, 2013), and sometimes in areas within a country, potentially reflecting differences in bovine husbandry systems and environmental situations. Furthermore, infected wild animals have been detected in some European countries, and wildlife reservoirs have been identified (Corner, 2006; Gortazar et al., 2012). Wild species, maintenance hosts in particular, represent a major obstacle to the eradication of TB in cattle, because they constitute a potentially continuous source of re-infection. The identification of wild maintenance hosts and their effective management is a key determinant of the efficacy of control measures (Naranjo et al., 2008; Gortazar et al., 2012; Fitzgerald and Kaneene, 2012), despite the lack of a requirement for mandatory TB surveillance in wildlife in EU legislation.

The surveillance of TB is challenging, due to its underlying complex epidemiology, which involves multiple hosts in domestic and wild populations. Adaptations to EU legislation were required to deal with the heterogeneity of epidemiological situations, which explain the various surveillance systems implemented. However, despite abundant studies on the TB epidemiology and associated risk factors, comprehensive descriptions of the surveillance systems in force are rare. Descriptions focus mostly on particular points, such as the diagnostic tools used (De la Rúa-Domenech et al., 2006; Schiller et al., 2010, 2011), the results of the surveillance with a summary of the current situation (number of herds tested, number of

infected herds) without providing a description of the surveillance components (Reviriego-Gordejo and Vermeersch, 2006; Pavlik, 2006), or the evaluation of the current status of wild species in Europe (Gortazar et al., 2012). This lack of description of the surveillance systems makes comparisons within Europe and with other countries difficult.

The aim of this study was to review the current TB surveillance for cattle and free-ranging wildlife implemented in EU Member States, through an online survey, with a view to describe differences between countries according to their TB status and epidemiological situation.

2. Methods

2.1. Data collection

An online survey was carried out with LimeSurvey® software, between April and July 2013. One or more correspondents (managers and/or scientists) were contacted in each country. Two independent questionnaires were sent to each correspondent, one for the cattle surveillance, the other for free-ranging wildlife surveillance, because people from different institutions might be responsible for these two different activities. About 100 people in the 28 Member States were contacted through European Food Safety Authority (EFSA) focal points and foreign partners of the French Association for the Epidemiology of Infectious Animal Diseases (AEEMA). Three European countries that do not belong to the EU (Switzerland, Macedonia and Norway) were also contacted, because of their geographical proximity to EU countries and the availability of contact addresses.

2.2. Variables

Only general and key factors were included in the study, such as the combination of surveillance components, the laboratory tests used, and the definition of a herd or an animal infected with *M. bovis*. Current surveillance was approached through questions relating to the general situation in cattle and wildlife populations (20 questions), cattle surveillance and testing protocols (52 questions) and free-ranging wildlife surveillance (55 questions). Both questionnaires are available online (Supplementary Documents S1 and S2).

Data were mapped with QuantumGis®. In case of disagreement between participants from the same country or missing data, correspondents were again contacted.

3. Results

Twenty-six of the 31 contacted countries participated in the survey (16/17 OTF, 3/3 regionalized, 7/11 NOTF countries), 5 of which did not complete the wildlife questionnaire (Latvia, Luxembourg, Romania, Malta, and Cyprus). Multiple responses were obtained for 3 countries: Belgium, Ireland and Slovakia. One OTF country (Denmark) and 4 NOTF countries (Bulgaria, Greece, Hungary and Lithuania) did not participate in the survey.

3.1. TB surveillance in cattle

3.1.1. Combination of surveillance components

All the NOTF and regionalized participating countries, except Macedonia, Malta and Ireland, indicated that they applied all 3 recommended surveillance components (routine screening test in herds ("H"), pre-movement tests ("M"), and *post-mortem* examinations in the slaughterhouse ("S")) (Table 1). Six of the 16 OTF participating countries indicated that they carried out exclusively surveillance at the slaughterhouse, 6 applied one additional surveillance method (H+S or M+S) and 3 carried out all three types of screening (H+M+S). Only Poland (OTF country) declared the exclusive use of screening tests in herds, without surveillance in slaughterhouses. Details on the surveillance systems, by country, are available online (Supplementary Tables S1 and S2).

3.1.2. Routine screening tests in herds

In total, 16 of the 26 participating countries indicated that routine surveillance was carried out in herds (Table 2).

Testing frequencies differed with the prevalence of TB in the country or region concerned. A testing frequency higher than officially required (the minimum frequency of tuberculin tests on herds, i.e. once per year, is laid down in Appendix A.I.2.c for regions with a herd prevalence greater than 1% (Anon, 1964)) was declared by some NOTF countries, whereas some OTF countries used a lower testing interval of testing (every 3–5 years). Testing frequencies also varied within some countries, as a function of the type of herd or the local prevalence of TB. The minimal age from which screening tests are performed was 6 weeks, except for 5 countries (see Table 2).

Concerning the test(s) performed in first intention, most of the OTF countries performed SIT (4/6), and this test was also used in some NOTF countries (3/7). Only regionalized (2/3) or NOTF (2/7) countries used CIT in first intention. The choice of test may depend on herd status, geographical area, and probability of a cross-reaction for two OTF and two NOTF countries. The interpretation of inconclusive reactions varies between

countries and even between regions within a country, as a function of geographical area and herd status: 4/7 NOTF countries considered inconclusive reaction to be positive, a more rigorous interpretation than that suggested in the EU legislations (Anon, 1964). IFN- γ tests are sometimes carried out on fighting and game bulls and buffalo in France and Italy, due to technical constraints.

In most countries, a non-negative SIT result leads to conducting a CIT 42 days later and animals with a non-negative CIT result are then slaughtered for diagnosis. Regardless of the nature of the first test used, reactors animals are slaughtered for diagnosis in 10/16 countries (Croatia, Czech Republic, France, Ireland, Italy, Malta, Portugal, Slovenia, Spain and UK).

None of the countries surveyed uses the IFN- γ test alone for either screening or confirmation of infection, except in France or Italy in particular cases (see above). Six countries use the IFN- γ test in parallel with the tuberculin test, on the same day, to increase sensitivity. Four countries use the IFN- γ test after a non-negative tuberculin test result has been obtained (serial use), to increase specificity, in some geographical areas. Estonia, Romania and Slovenia occasionally use the IFN- γ test, but the context in which it is used was not specified. The IFN- γ test was never used in 6/16 countries.

For the definition of an infected herd, 6 countries (1/6 OTF, 1/3 regionalized, 4/7 NOTF) consider a herd to be infected if at least one positive CIT test result is obtained, whereas 10 of the 16 countries use a laboratory test to confirm infection in reacting animals. One or more tests are generally performed (various combinations of histology, culture and PCR).

3.1.3. Pre-movement testing

15 of the 26 participating countries carry out tests before the movement of animals within the country (7/16 OTF, 5/7 NOTF, 3/3 regionalized countries), and this testing is always associated with another surveillance component (H or S). Pre-movement testing to ensure safe trading between farms (sale or purchase) is systematically carried out in 5 countries (Belgium, Portugal, Croatia, Cyprus and

Table 1
Surveillance of TB in cattle in EU Member States, Switzerland, Norway and Macedonia during 2013, by official country status.

		OTF countries (16 participating countries)	Regionalized countries (3 participating countries)	NOTF countries (7 participating countries)
1 Surveillance component	H	Poland		
	M			
	S	Germany, Latvia, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Sweden		
2 Surveillance components	H+M			Macedonia
	H+S	Slovakia, Slovenia		Ireland, Malta
	M+S	Austria, Belgium, Finland, Switzerland		
3 Surveillance components	H+M+S	The Czech Republic, Estonia, France	Italy, Portugal, the United Kingdom	Croatia, Cyprus, Romania, Spain

H: routine screening tests in the herd.

M: pre-movement test.

S: post-mortem inspection at the slaughterhouse.

Table 2

Description of routine surveillance in herds from EU Member States, Switzerland, Norway and Macedonia during 2013, by official country status (number of countries conducting this surveillance component/number of responding countries).

		OTF (6/16 countries)	Regionalized (3/3 countries)	NOTF (7/7 countries)
Frequency	Twice yearly Annual Every 3 years Every 4 years Every 5 years Variable	Slovenia Slovakia Poland The Czech Republic: annual and quadrennial Estonia: every 3 years, except for bulls in insemination centers France: no test to annual testing, according to local prevalence and herd risk level	Italy Portugal, the United Kingdom: according to geographical area and prevalence (and the type of herd in Scotland)	Malta Croatia, Macedonia Ireland, Romania, Spain: annual testing and more frequent testing in areas or herds at risk Cyprus: annual and biennial
Age	>6 weeks >24 months Variable	The Czech Republic, Poland, Slovenia Slovakia Estonia: >24 months, but no minimal age for bulls in insemination centers France: depending on local prevalence	Italy, United Kingdom Portugal: depending on local prevalence	Croatia, Cyprus, Macedonia, Malta, Romania, Spain Ireland: no minimal age in infected herds
Test used in first intention	SIT CIT SIT/CIT SIT/IFN- γ	The Czech Republic, Estonia, Poland, Slovakia France, Slovenia France	 Portugal, the United Kingdom Italy	Cyprus, Macedonia, Spain Ireland, Malta Croatia, Romania
Use of IFN- γ tests	Never In parallel with a tuberculin test In series with a tuberculin test	The Czech Republic, Slovakia France (in some départements) France, Poland (in particular cases)	 Italy, Portugal, the United Kingdom The United Kingdom	Croatia, Cyprus, Macedonia, Malta Ireland, Spain Ireland
Definition of an infected herd	Positive result in the CIT alone Non-negative result in the CIT confirmed by laboratory tests	The Czech Republic Estonia, France, Poland, Slovakia, Slovenia	Italy Portugal, the United Kingdom	Cyprus, Ireland, Macedonia, Spain Croatia, Malta, Romania

Spain), but the decision to test is based on geographical area in 4 countries (Austria in areas with high risk of *M. caprae* or after the pasture season; France and Italy in areas with a high prevalence; UK between infected areas and infection-free areas) and/or on herd status in 7 countries (Austria in herds with presence of *M. caprae* or after the pasture season; Finland on calves moved to the insemination center; Czech Republic, Estonia and France in herds classified as at risk in case of purchase; Macedonia and Romania). Movement controls are also applied in particular cases not involving the sale or purchase of animals: transhumance (particularly if herds from different countries mix on alpine pastures) (Austria, Switzerland, Italy, Portugal, United Kingdom and Spain), animals loaned or housed on another farm (Portugal and Spain) and cattle considered to be "at risk" (Belgium, France, Switzerland, Italy, Portugal, UK, Macedonia, Romania, Spain). Five countries use the SIT alone for movement control tests (Czech Republic, Estonia, Croatia, Cyprus, Spain), 4 the CIT (Austria, Portugal, UK, Romania), 3 the SIT or the CIT (Finland, France, Macedonia) and 3 the IFN- γ in combination with the SIT (France, Italy) or the CIT (Switzerland).

3.1.4. Slaughterhouse surveillance

All the participating countries except Poland and Macedonia declared that surveillance was carried out at the slaughterhouse. In most countries, a close examination is systematically performed, with palpation and incisions into organs and lymph nodes (21/24 countries), as recommended by the EU legislation. In one OTF country, visual inspection alone is performed (Sweden) and, in 2 other OTF countries, close examination is carried out only if visible lesions have already been detected (Luxembourg, Slovakia). In cases of suggestive macroscopic tuberculosis lesions identified, 17/24 countries sample only the organ and/or lymph nodes involved, whereas 7/24 systematically sample a given number of pairs of lymph nodes (Austria, Croatia, Cyprus, Romania, Slovakia, Slovenia, Switzerland), the number of which differs between countries (from 4 to 10 pairs). Various laboratory procedures were also recorded, with combinations of histology, PCR and culture (10/24), histology and culture (8/24), PCR and culture (4/24), PCR only (1/24) or culture only (1/24). All the countries surveyed considered an animal to be infected if it had suggestive

lesions on post-mortem inspection and laboratory tests gave a positive result confirming infection.

3.2. TB surveillance in free-ranging wildlife

Twenty-one countries completed the wildlife questionnaire. Eight countries had already detected infection in wild animals (*M. bovis*) (Fig. 1): Croatia, Italy, Ireland, Portugal, Spain and the UK (i.e. all the NOTF participating countries, with the exception of Macedonia, which did not provide a response), France and Poland (OTF countries, but with the notification of cases in cattle every year). Eight of the 21 responding countries have declared a formal TB surveillance system for free-ranging wildlife (Fig. 1): Croatia, France, Ireland, Portugal, and Spain (which have already detected TB cases in wildlife) and Austria, Belgium and Norway, which have no recorded infections with *M. bovis* in wildlife. Details of the surveillance systems are provided in Table 3. All the responding countries considered the presence of suggestive lesions on the carcass insufficient to prove infection: 11 countries considered a wild animal to be infected if it had lesions suggestive of tuberculosis at autopsy and a positive result was obtained in one or more laboratory tests. Nine countries considered a positive result in laboratory test to be sufficient to confirm infection (one respondent did not know). More than one laboratory tests are performed in most countries: histology, PCR, culture, and serological tests (the latter for Belgium and Italy only). Only Austria, Finland and the UK perform only one test (culture).

4. Discussion

This paper describes the results of a survey among EU members and selected neighboring countries on the national surveillance programs for bovine tuberculosis. The aim of this survey was not to critically evaluate the surveillance systems in the EU Member States but only to present the systems currently in place. The rate of participation in our survey was good (84%). Most of the respondents were managers (17/30 respondents for the livestock questionnaire and 11/23 respondents for the wildlife questionnaire), working principally in official veterinary services. The other respondents were scientists working in laboratories or epidemiologists with expertise in TB or university professors. Knowledge of the regulatory texts differed between respondents, as a function of their experience working in this field, and this may have led to inaccuracies. Furthermore, some countries do not have a central level of management (as in Germany, for example, in which surveillance is managed at the "Länder" level). This may have resulted in a personal or partial viewpoint, rather than the official national position. Thus, the survey results are declarative responses (not confirmed by other data sources), which constitute one of the limitations of this survey. Furthermore, some items have not been sufficiently explored for a comparison of the surveillance activities implemented in EU Member States. These items especially include the techniques for tuberculin testing, the doses of tuberculin, the choice of cutoff criteria for the interpretation of IFN- γ results, and the level of training of the veterinary inspectors working in slaughterhouses.

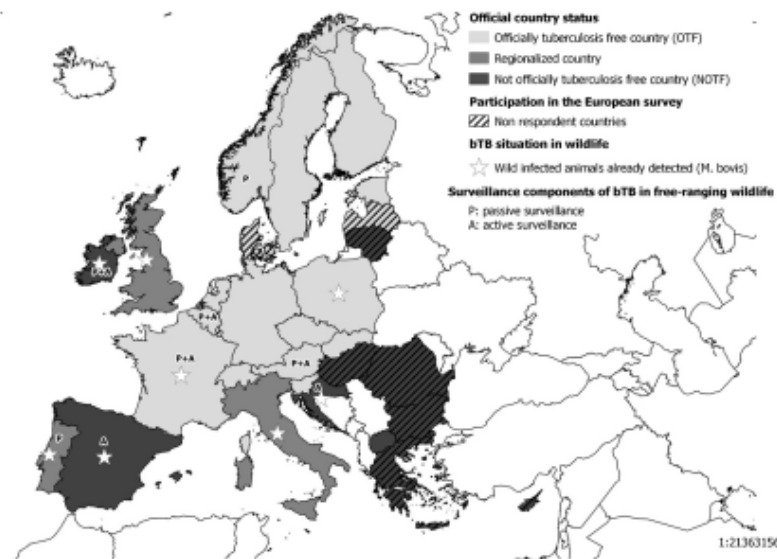


Fig. 1. EU Member states that have already detected infection in wild animals and type of surveillance performed on free-ranging wildlife, if any, in 2013, by official country status. (Countries in white where not contacted for the survey. If nothing is displayed on a colored country, it means that the country responded to the survey but did not report the detection of infection in wild animals or does not carry out surveillance on wildlife.) Active surveillance: planned surveys on some animals. Passive surveillance: spontaneous reporting of cases or suspicions.

Table 3
Description of TB surveillance in free-ranging wildlife in EU Member States, Switzerland, Norway and Macedonia during 2013, by official country status.

	Active surveillance		Passive surveillance	
	Species	Geographical area	Species	Geographical area
Austria (OTF)	Red deer	Risk areas: - High density of the wild species concerned - Infected wild animals already detected	Red deer	National
Belgium (OTF)	Red deer Wild boar Badger	Regional (Wallonia)	Red deer Roe deer Wild boar Badger	Regional (Wallonia)
France (OTF)	Red deer Wild boar Badger	Risk areas: - High prevalence of TB in cattle - Infected wild animals already detected	Red deer Roe deer Wild boar Badger	National
Norway (OTF)			Red deer Red deer Wild boar	National Risk areas: high density of the wild species concerned
Portugal (Regionalized)				
Croatia (NOTF)	Wild boar	Risk areas: High prevalence of TB in cattle		
Spain (NOTF)	Red deer Wild boar	National		
Ireland (NOTF)	Badger	Risk areas: High prevalence of TB in cattle	Red deer Roe deer Badger	National

Active surveillance: planned surveys on some animals.

Passive surveillance: spontaneous reporting of cases or suspicions.

4.1. TB surveillance in cattle

Most of the NOTF countries apply all 3 components (H + M + S) recommended in EU legislation, the exceptions being Macedonia (H + M), Ireland and Malta (H + S). In addition, 3 OTF countries (Czech Republic, France and Estonia) also perform H + M + S (Table 1). Indeed, in countries with a high TB prevalence (in NOTF and some OTF countries, such as France), a combination of surveillance components ensures the rapid detection of infection and high sensitivity. In terms of economics, the surveillance is adapted to the situation, with, for example, many OTF countries carrying out surveillance only in slaughterhouses. The use of the 3 surveillance components in Estonia is particularly notable, as the last outbreak in this country dates from 1986, according to OIE data.

4.1.1. Routine in-herd screening tests

Countries adopt various testing practices, according to the tests performed (SIT or CIT), their frequency, their interpretation and the procedure applied in cases of non-negative results. As expected, the testing frequency was found to be higher in NOTF countries, to ensure the early detection of infected herds. Only NOTF countries performed the CIT as a first-line test, probably due to many atypical reactions with other mycobacteria, complicating TB eradication. Furthermore, only some NOTF countries use a severe interpretation of tests results to increase sensitivity and the cost-effectiveness (EFSA, 2013). The choice of a smaller cutoff point (usually >2 mm) decreases the specificity, which is probably why none OTF countries use this interpretation. IFN- γ is used in 10/16 countries, in parallel with a tuberculin test in 6 countries, as laid down in EU regulations, or following a tuberculin test in 4 countries (not in accordance with current EU regulations).

Member States use different definitions of an infected herd (first positive result for a herd, with or without laboratory confirmation). Comparisons within Europe (e.g. to estimate the number of infected herds) are therefore difficult and there is a risk of misinterpretation.

4.1.2. Pre-movement testing

In the current context of increasing national and international trade, the control of animal movements is essential, to limit the spread of infection, particularly in areas with a high prevalence of TB, or to prevent its reintroduction into TB-free areas. Pre-movement testing focuses on individual animals rather than herds, and high-sensitivity tests are required to identify infected animals: in such situations, the use of SIT is recommended. According to EU regulations, dispensations from testing should be considered for herds located in areas with a low prevalence of TB. Our results are consistent with this, except for Malta and Ireland. In Ireland, a research project has showed that cattle movement plays only a limited role in TB spread (Clegg et al., 2008). Pre-movement testing is also recommended in particular circumstances other than the purchase and sale of animals: transhumance, use of common land for grazing and loan of animals. These situations are considered to entail a risk and should be taken into account in surveillance, as in 10/26 participating countries.

4.1.3. Slaughterhouse surveillance

Only Macedonia and Poland do not apply surveillance at the slaughterhouse, but Macedonia does not belong to the EU and is not, therefore, subject to its regulations. This is more surprising for Poland, this OTF country having declared only in-herd surveillance at 5-year intervals, whereas there are about 10 outbreaks every year (considering also that UE

recognizes no longer interval than 4 years). We suspect that there may be some error or misinterpretation. Inspection at the slaughterhouse is the most cost-effective surveillance component and is sometimes the only component implemented, particularly in OTF countries and in countries with a low TB prevalence; in which screening test frequency has decreased following dispensations from the requirements laid down in legislation. *Post-mortem* examination can also detect lesions on animals not reacting in tuberculin tests (e.g. lack of sensitivity in old, immunologically inactive cases), but such lesions might easily be overlooked during inspection and its efficacy depends largely on the type of examination (visual only, visual and palpation, palpation and incision of relevant organs) and the expertise of the meat inspectors. A recent EFSA report revealed that a simple visual examination is not sufficient to detect TB infection in low prevalence areas and that this approach might delay the detection of re-introduction in OTF countries (EFSA, 2013).

4.2. TB surveillance in free-ranging wildlife

There is currently no EU legislation relating to TB surveillance and control programs for wildlife. Eight of the 21 participating countries have established a formal surveillance system for wildlife, of which 5 have already detected infection in a wild animal (*M. bovis*). Poland, Italy and the UK have declared they do not carry out formal surveillance, but that infected wild animals have already been detected. Conversely, Austria, Belgium and Norway, in which no wild animal infected with *M. bovis* has ever been detected, carry out formal surveillance. For example, in Austria, *M. caprae* in cattle and wildlife is of major concern, which could justify the implemented surveillance (Schoepf et al., 2012). Four of the 8 countries with wildlife surveillance carry out both passive (spontaneous reporting of cases or suspicions) and active (planned surveys on some animals) surveillance, 2 active surveillance only and 2 passive surveillance only. The number of species monitored ranges from 1 (e.g. passive surveillance of red deer in Austria or active surveillance of wild boar in Croatia) to 4 (in France and Belgium). The choice of target species depends on the type of surveillance: tuberculosis lesions in wild boar are often small and limited to lymph nodes, particularly the mandibular nodes, which are not easily visible, whereas red deer often have more easily detectable lesions, particularly of the digestive tract (Martin-Hernando et al., 2007; Zanella et al., 2008; Martin-Hernando et al., 2010). Diagnosis of TB in red deer is therefore often based on the identification of macroscopic lesions during evisceration by hunters, followed by a complete necropsy of the carcass at laboratory and culture (passive surveillance). By contrast, in wild boar, targeted sampling is carried out, with systematic analysis in high-risk areas (active surveillance) (Maas et al., 2013). In all countries, the definition of an infected wild animal is based on laboratory analysis, as the diagnosis based solely on visible tuberculosis lesions underestimates the real prevalence.

Additional information is available from published studies. Free-ranging wild infected species have already been detected in other countries than those having

declared in our survey: Czech Republic (wild boar, red deer) (Pavlik et al., 2002); Slovakia (wild boar) (Machackova et al., 2003); Germany (wild boar, red deer, roe deer) (EFSA, 2009); Switzerland (red deer, roe deer, badger) (EFSA, 2009), whereas a recent study has shown that the development of a wildlife reservoir is currently unlikely in this country (no *M. bovis* or *M. caprae* cases detected, Schöning et al., 2013); Austria (red deer, along the border with Germany and Switzerland) (Schoepf et al., 2012). Furthermore, some countries have implemented a time-limited TB research project in wildlife: a 4-country cooperation project was initiated in 2011, for 2 years, in Alpine regions (Austria, Germany, Italy and Switzerland), to analyze the TB occurrence in wild animals (red deer in all four countries, and wild boar in Italy and Switzerland). Given that the role of wild species (minor impact on TB epidemiology, spillover host or maintenance host) differs considerably between countries and even between areas within countries, the diversity of situations recorded in this survey is not surprising. In some countries, the persistence of wild infected populations in contact with cattle has been shown to hinder the eradication of TB in cattle (Gortazar et al., 2012; EFSA, 2013). A good understanding of the ecology and behavior of relevant species and their role in TB epidemiology is therefore essential for the implementation of effective disease control measures (Naranjo et al., 2008).

5. Conclusion

This European survey on TB surveillance confirms that there is considerable heterogeneity in the implementation of European directives, principally in terms of the combinations of components used for the surveillance of both cattle and wildlife, the first-line tests used and the definition of a confirmed case, the choice of target population and the definition of infection status for an animal or a herd. This survey highlighted an overall pattern dependent on country status: the strategy adopted depending on the national or regional epidemiological situation, the species involved in TB epidemiology and the epidemiological risk factors, although various surveillance systems have been recorded for countries with similar epidemiological status. The requirements of EU should be considered as the minimum level: as recommended by the legislation, derogations are implemented in countries or regions with a low TB-prevalence, to increase the cost-effectiveness ratio of the surveillance. Additional measures adapted to the local situation are implemented in areas with a moderate or high TB-prevalence. Furthermore, assessments of the cost-effectiveness of each surveillance system would be useful, to confirm the advantages of implementing one or more components in countries with the same official status, for the various stakeholders at different levels (e.g. regional or national) (already done in some countries, e.g. Hadorn and Stärk, 2008). Few countries have demonstrated TB infections in wildlife, but then only a few countries have established a formal surveillance for monitoring TB in wildlife. Investigations should be performed on wild populations, to improve our understanding of the roles of various species, as it is

increasingly made, as illustrated some recent studies (Aranaz et al., 2004; Balseiro et al., 2009; Santos et al., 2009; Schoepf et al., 2012; Schöning et al., 2013; Richomme et al., 2013). If necessary, planned programs for controlling TB in wildlife could be introduced, particularly in Member States with a high prevalence in cattle and where wild animals could constitute a continuous source of re-infection for domestic populations.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency, or from the commercial or not-for-profit sectors.

Conflict of interest statement

None.

Acknowledgements

The authors thank all EFSA National Focal Points and, especially, Coralie Bultel (Anses), who helped us to identify relevant contacts in each Member State, and the French Association for the Epidemiology of Infectious Animal Diseases (AEEMA). We also thank all those participating in this survey for providing valuable information and, in some cases, unpublished data.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.08.013>.

References

- Anon., 1964. Council Directive of 26 June 1964 on Animal Health Problems Affecting Intra-community Trade in Bovine Animals and Swine. 64/432/EEC. European Economic Council, Brussels.
- Anon., 2003. Commission Decision of 23 June 2003 on the Establishment of the Official Tuberculosis, Brucellosis, and Enzootic-Bovine-Leukosis-free Status of Certain Member States and Regions of Member States as Regards Bovine Herds 2003/467/EC. European Commission, Brussels.
- Anon., 2012. Commission Implementing Decision of 12 April 2012 Amending the Annexes to Decision 2003/467/EC as Regards the Declaration of Latvia as Officially Brucellosis-free Member State and of Certain Regions of Italy, Poland and Portugal as Officially Tuberculosis-free, Brucellosis-free and Enzootic-Bovine-Leukosis-free Regions. 2012/204/EU. European Commission.
- Anon., 2013. Bovine and Swine Diseases 2012 Annual Report. European Commission, Brussels. http://ec.europa.eu/food/animal/liveanimals/bovine/docs/final_report_2012_en.pdf.
- Aranaz, A., de Juan, L., Montero, M., Sanchez, C., Galka, M., Delso, C., Alvarez, J., Romero, B., Bezos, J., Vela, A., Briones, V., Mateos, A., Dominguez, L., 2004. Bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) in wildlife in Spain. *J. Clin. Microbiol.* 42 (6), 2602–2608.
- Balseiro, A., Oleaga, A., Orusa, R., Robetto, S., Zoppi, S., Dondo, A., Gorla, M., Gortazar, C., Garcia-Marin, J.F., Domenis, L., 2009. Tuberculosis in roe deer from Spain and Italy. *Vet. Rec.* 164, 468–470.
- Clegg, T.A., More, S.J., Higgins, L.M., Good, M., Blake, M., Williams, D.H., 2008. Potential infection-control benefit for Ireland from pre-movement testing of cattle for tuberculosis. *Prev. Vet. Med.* 84, 94–111.
- Corner, L.A.L., 2006. The role of wild animal populations in the epidemiology of tuberculosis in domestic animals: how to assess the risk. *Vet. Microbiol.* 112, 303–312.
- De la Rua-Domenech, R., Goodchild, A.T., Vordermeier, H.M., Hewinson, R.G., Christiansen, K.H., Clifton-Hadley, R.S., 2006. Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: a review of tuberculin tests γ -interferon assay and other ancillary diagnostic techniques. *Res. Vet. Sci.* 83, 190–210.
- EFSA, 2009. Scientific Review on Tuberculosis in Wildlife in EU. Technical Report Submitted to EFSA 119 pp. <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/12e.htm>
- EFSA, 2013. Modelling the Impact of a Change in MI Sensitivity on the Surveillance of bTB at the Country Level. Supporting Publications 2013: EN-450 40 pp. www.efsa.europa.eu/publications
- Fitzgerald, S.D., Kaneene, J.B., 2012. Wildlife reservoirs of bovine tuberculosis worldwide: hosts, pathology, surveillance and control. *Vet. Pathol.* 50, 488–499.
- Gortazar, C., Delahay, R.J., McDonald, R.A., Boadella, M., Wilson, G.J., Gavier-Widen, D., Acevedo, P., 2012. The status of tuberculosis in European wild mammals. *Mamm. Rev.* 42 (3), 193–206.
- Hadorn, D.C., Stärk, K.D.C., 2008. Evaluation and optimization of surveillance systems for rare and emerging infectious diseases. *Vet. Res.* 39, 57. <http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2008033>.
- Maas, M., Michel, A.L., Rutten, V.P.M.G., 2013. Facts and dilemmas in diagnosis of tuberculosis in wildlife. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 36, 269–285.
- Machackova, M., Matlova, L., Lamka, J., Smolik, J., Melicharek, I., Hanzlikova, M., Docekal, J., Cvetnic, Z., Nagy, G., Lipiec, M., Ocepcek, M., Pavlik, I., 2003. Wild boar (*Sus scrofa*) as a possible vector of mycobacterial infections: review of literature and critical analysis of data from Central Europe between 1983 to 2001. *Vet. Med.* 48 (3), 51–65.
- Martin-Hernando, M.P., Höfle, U., Vicente, J., Ruiz-Fons, F., Vidal, D., Barral, M., Garrido, J.M., de la Fuente, J., Gortazar, C., 2007. Lesions associated with *Mycobacterium tuberculosis* complex infection in the European wild boar. *Tuberculosis*, 87, 360–367.
- Martin-Hernando, M.P., Torres, M.J., Aznar, J., Negro, J.J., Gandia, A., Gortazar, C., 2010. Distribution of lesions in red and fallow deer naturally infected with *Mycobacterium bovis*. *J. Comp. Pathol.* 142, 43–50.
- Müller, B., Salome, D., Alonso, S., Hattendorf, J., Laisse, C.J.M., Parsons, S.D.C., van Helden, P.D., Zinsstag, J., 2013. Zoonotic *Mycobacterium bovis*-induced tuberculosis in humans. *Emerg. Infect. Dis.* 19 (6), 899–908.
- Naranjo, V., Gortazar, C., Vicente, J., de la Fuente, J., 2008. Evidence of the role of European wild boar as a reservoir of *Mycobacterium tuberculosis* complex. *Vet. Microbiol.* 127, 1–9.
- Pavlik, I., 2006. The experience of new European Union Member States concerning the control of bovine tuberculosis. *Vet. Microbiol.* 112, 221–230.
- Pavlik, I., Machackova, M., Ayele, W.Y., Lamka, J., Parmova, I., Melicharek, I., Hanzlikova, M., Körmendy, B., Nagy, G., Cvetnic, Z., Ocepcek, M., Lipiec, M., 2002. Incidence of bovine tuberculosis in wild and domestic animals other than cattle in six Central European countries during 1990–1999. *Vet. Med.* 47 (5), 122–131.
- Reviriego-Gorjejo, F.J., Vermeers, J.P., 2006. Towards eradication of bovine tuberculosis in the European Union. *Vet. Microbiol.* 112, 101–109.
- Richomme, C., Boadella, M., Courcou, A., Durand, B., Drapeau, A., Corde, Y., Hars, J., Payne, A., Fediaevsky, A., Boschirol, M.L., 2013. 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* 8 (10), e77842. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0077842>.
- Santos, N., Correia-Neves, M., Ghebremichael, S., Källénus, G., Svenson, S.B., Almeida, V., 2009. Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in wild boar (*Sus scrofa*) from Portugal. *J. Wildl. Dis.* 45 (4), 1048–1061.
- Schiller, I., Oesch, B., Vordermeier, H.M., Palmer, M.V., Harris, B.N., Orloski, K.A., Buddle, B.M., Thacker, T.C., Lyashchenko, K.P., Waters, W.R., 2010. Bovine tuberculosis: a review of current and emerging diagnostic techniques in view of their relevance for disease control and eradication. *Transbound. Emerg. Dis.* 57, 205–220.
- Schiller, I., Waters, W.R., Vordermeier, H.M., Jemmi, T., Welsh, M., Keck, N., Whelan, A., Gormley, E., Boschirol, M.L., Moya, J.L., Vela, C., Cagiola, M., Buddle, B.M., Palmer, M., Thacker, T., Oesch, B., 2011. Bovine tuberculosis in Europe from the perspective of an officially tuberculosis free country: trade, surveillance and diagnostics. *Vet. Microbiol.* 151, 153–159.
- Schoepf, K., Prodinger, W.M., Glawischnig, W., Hofer, E., Revilla-Fernandez, S., Hofrichter, J., Fritz, J., Köfer, J., Schmol, F., 2012. A two-year survey on the prevalence of tuberculosis caused by *Mycobacterium caprae* in red deer (*Cervus elaphus*) in the Tyrol, Austria. *ISRN Vet. Sci.* <http://dx.doi.org/10.5402/2012/245138>, Article ID 245138, 7 pp.
- Schöning, J.M., Cerny, N., Prohaska, S., Wittenbrink, M.M., Smith, N.H., Bloembergen, G., Pewsner, M., Schiller, I., Origg, F.C., Ryser-Degiorgis, M.P., 2013. Surveillance of bovine tuberculosis and risk estimation of a future reservoir formation in wildlife in Switzerland and Liechtenstein. *PLOS ONE* 8 (1), e54253. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0054253>.
- Vordermeier, H.M., Whelan, A.O., Hewinson, R.G., 2008. The scientific case for the gamma-interferon Bovigam assay. *Gov. Vet. J.* 19, 38–43.
- Zanella, G., Durand, B., Hars, J., Moutou, F., Garin-Bastuji, B., Duvauchelle, A., Ferme, M., Karoui, C., Boschirol, M.L., 2008. *Mycobacterium bovis* in wildlife in France. *J. Wildl. Dis.* 44, 99–108.

Annexe 5. Questionnaire utilisé pour l'enquête européenne sur les méthodes de surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin

The Research Unit EpiMAI (Epidemiology of Animal Infectious Disease) of the Alfort National Veterinary School (France) and the French agency for food, environmental and occupational Health and Safety (Anses) are conducting a survey about the different methods of bovine tuberculosis surveillance in Europe and particularly in each country of the European Union.

The objective of this survey is to make an **inventory of the different methods of bovine tuberculosis (bTB) surveillance implemented in the different European countries, according to the constraints and the local situations.**

Thank you in advance for taking a few minutes (~15-20 min) to complete this survey on the methods of bTB surveillance in cattle in your country. The results of this survey will be available for all participants as soon as possible.

* *Mandatory responses*

Multiple choices

Single choice

General information

1 Please indicate your country *

Please choose only one of the following:

Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Macedonia, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom

2 Thank you to indicate your contact details *

Name / Surname:

E-mail:

Organization:

Function:

Phone (with telephone code: example for France 33-1-43967224):

3 What is the official country status for bovine tuberculosis (bTB)? *

Officially free country

Not officially free country

Officially free region or province

Bovine tuberculosis surveillance in cattle

4 Summary of the epidemiological situation in cattle herds:

Approximate number of cattle herds in 2012:

Approximate number of cattle herds tested in 2012 (Active surveillance):

Approximate number of cattle herds found infected in 2012 (Active surveillance):

5 Are infected herds homogeneously distributed in your country? *

Yes

No

Do not know

6 Eventual comments

--

Methods of bovine tuberculosis surveillance in cattle**7 Methodology of bTB surveillance in cattle ***

- Routine screening tests in herd
- Pre-movement testing (systematic or only for some particular animals or herds)
- Post-mortem inspection (slaughterhouse surveillance)
- Other (details will be requested later)
- Do not know

Routine screening tests in herd

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 7)

Frequency and age for screening test's application**8 What is the frequency of the routine screening tests? ***

- Annual (all over the country)
- Biennial (all over the country)
- Triennial (all over the country)
- Quadrennial (all over the country)
- Variable depending on the geographical areas
- Variable depending on the epidemiological context of the herd
- Do not know
- Other:

9 If the screening frequency varies according to the geographical areas: Please specify the variation factors and the corresponding screening frequencies. (Example: variation with the bTB prevalence in different geographical areas) (Only answer this question if "Variable depending on the geographical areas" is checked at the question 8)

--

10 If the screening frequency varies according to the epidemiological context of the herd: Please specify the variation factors and the corresponding screening frequencies. (Example: variation according to the official classification of the herd ...) (Only answer this question if "Variable depending on the epidemiological context of the herd" is checked at the question 8)

--

11 From which age are generally performed these routine screening tests? *

- > 6 weeks
- > 12 months
- > 24 months
- Variable depending on the geographical areas
- Variable depending on the epidemiological context of the herd
- Do not know
- Other:

12 If the screening age varies according to the geographical areas: Please specify the variation factors and the corresponding screening ages. (Only answer this question if "Variable depending on the geographical areas" is checked at the question 11)

13 If the screening age varies according to the epidemiological context of the herd: Please specify the variation factors and the corresponding screening ages. (Only answer this question if "Variable depending on the epidemiological context of the herd" is checked at the question 11)

Test(s) performed in first intention

14 What test(s) is (are) performed in first intention? *

- SIT (single intradermal tuberculin test)
- CIT (comparative intradermal tuberculin test)
- IFN (Interferon gamma)
- Variable depending on the geographical areas
- Variable depending on the epidemiological context of the herd
- Do not know
- Other:

15 If the first intention test varies according to the geographical areas: Please specify the variation factors and the corresponding tests performed. (Only answer this question if "Variable depending on the geographical areas" is checked at the question 14).

16 If the first intention test varies according to the epidemiological context of the herd: Please specify the variation factors and the corresponding tests performed. (Only answer this question if "Variable depending on the epidemiological context of the herd" is checked at the question 14).

17 What are your criteria for the interpretation of tuberculin tests? *

- Standard interpretation (Commission Regulation EC No. 1226/2002-08/07/2002)
- "Severe" interpretation (as authorized in the EC No. 1226/2002-08/07/2002) (For example consider all inconclusive reactions as positive reactions)
- Do not know
- Other:

18 If "severe" interpretation used: Please specify the interpretation criteria considered in your country. (Only answer this question if "severe interpretation" is checked at the question 17).

Reactors animals (non-negative result to the first test)**19 What is the procedure after a non-negative result to the first test? ***

- Second test: CIT 42 days later
- Second test: IFG
- Slaughter of reactor cattle for diagnosis
- Variable depending on the geographical areas
- Variable depending on the epidemiological context of the herd
- Animal considered as infected (if positive reaction to the first tuberculin test)
- Do not know
- Other:

20 If the procedure varies according to the geographical areas: Please specify the variation factors and the corresponding procedure. (Only answer this question if “variable according to the geographical areas” is checked at the question 19).

21 If the procedure varies according to the epidemiological context of the herd: Please specify the variation factors and the corresponding procedure. (Only answer this question if “variable according to the epidemiological context of the herd” is checked at the question 19).

Using of gamma interferon test (IFN)**22 In which context is the gamma interferon test used? ***

- Alone as a screening test
- Alone as requalification test
- In parallel of a tuberculin test (*the same day as the tuberculin test, to improve the sensibility*)
- In series of a tuberculin test (*after the a non-negative result, in order to improve the specificity*)
- Variable depending on the geographical areas
- Variable depending on the epidemiological context of the herd
- Never
- Do not know
- Other:

23 If the use of IFN varies according to the geographical areas: Please specify the variation factors and the corresponding context of use (Example: routine test in some areas). (Only answer this question if “variable according to the geographical areas” is checked at the question 22).

24 If the use of IFN varies according to the epidemiological context of the herd: Please specify the variation factors and the corresponding context of use (Example: herds linked epidemiologically, high frequency of non-specific reactions ...). (Only answer this question if “variable according to the epidemiological context of the herd” is checked at the question 22).

Slaughter of suspect animal for diagnosis

25 Which test(s) is (are) performed when the slaughter of a suspect animal does not show any bTB suggestive lesion? * (Only answer this question if "Slaughter of reactor cattle for diagnosis" is checked at the question 19).

- Invalidation of the suspicion (no lab test)
- Histology
- PCR
- Culture
- Do not know
- Other:

26 Which test(s) is (are) performed when the slaughter of a suspect animal shows bTB suggestive lesions? * (Only answer this question if "Slaughter of reactor cattle for diagnosis" is checked at the question 19).

- Histology
- PCR
- Culture
- Do not know
- Other:

27 Eventual general comments about slaughter of reactors animals. (Only answer this question if "Slaughter of reactor cattle for diagnosis" is checked at the question 19).

Infected animal definition

28 What is the definition in your country of a bTB infected herd, in the context of routine screening tests? *

- Non-negative reaction to intradermal comparative test (CIT) (only)
- Non-negative reaction to intradermal comparative test (CIT) necessarily confirmed
- Do not know
- Other:

29 If a confirmation is required, please indicate what is the type of confirmation * (Only answer if "non-negative reaction to intradermal comparative test (CIT) necessarily confirmed" is checked at the question 28).

- Confirmation at the slaughterhouse (only)
- Confirmation by laboratory test(s) (only)
- Confirmation at the slaughterhouse AND by laboratory test(s)
- Do not know
- Other:

30 How many laboratory test(s) are performed? *

- A single test
- Several tests
- Do not know

31 Please indicate which laboratory test is performed to confirm a non-negative result to the tuberculin test? * (Only answer this question if "A single test" is checked at the question 30)

- Histology

- PCR
 Culture
 Do not know
 Other:

32 Please indicate which laboratory tests are performed to confirm a non-negative result to the tuberculin test?* (Only answer this question if "Several tests" is checked at the question 32)

- Histology
 PCR
 Culture
 Do not know
 Other:

33 Eventual general comments about the definition of a bTB infected herd in the context of routine screening test

Post-mortem examination (slaughterhouse surveillance)

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 7)

34 Please indicate the type of examination which is performed at the slaughterhouse *

- Visual examination
 Close examination: palpation and incision of organs and lymph nodes systematically
 Close examination: palpation and incision of organs and lymph nodes only if visible lesions
 Examination varies according to the geographical areas and the epidemiological context
 Do not know
 Other:

35 If the post-mortem examination varies according to the geographical areas and the epidemiological context: Please specify the variation factors and the corresponding type of examination. (Only answer this question if "examination varies according to the geographical areas and the epidemiological context" is checked at the question 34).

In case of suggestive macroscopic tuberculosis lesions

36 What is the procedure in case of suggestive macroscopic tuberculosis lesions identified on the carcass? *

- Sample only the organ and / or lymph nodes involved
 Systematic sample of a number of pairs of lymph nodes
 Do not know
 Other:

37 Number of pairs of lymph nodes systematically tested

Specify the numeric value:

38 Which is (are) the laboratory test(s) performed when suggestive bTB lesions are identified during the post-mortem examination?

- No laboratory test performed (considered as infected)
- Histology
- PCR
- Culture
- Do not know
- Other:

Infected animal definition

39 What is the definition, in your country, of a bTB infected animal in the context of the post-mortem examination? *

- Presence of tuberculosis suggestive lesions at post-mortem inspection (only)
- Presence of tuberculosis suggestive lesions at post-mortem inspection **AND** obligatory confirmation by laboratory
- Presence of tuberculosis suggestive lesions at post-mortem inspection **AND** confirmation by laboratory tests only in some particularly cases
- Do not know
- Other:

40 How many laboratory test(s) are performed? *

- A single test
- Several tests
- Do not know

41 Please indicate which laboratory test is performed to confirm a suspicion after the post-mortem examination* (Only answer this question if "A single test" is checked at the question 40)

- Histology
- PCR
- Culture
- Do not know
- Other:

42 Please indicate which laboratory tests are performed to confirm a suspicion after the post-mortem examination* (Only answer this question if "Several tests" is checked at the question 40)

- Histology
- PCR
- Culture
- Do not know
- Other:

43 If the laboratory confirmation after the post-mortem examination varies in some particular cases, please specify the variation factors (Only answer this question if "Presence of tuberculosis suggestive lesions at post-mortem inspection and confirmation by laboratory tests only in some particularly cases" is checked at the question 39)

Pre-movement testing

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 7)

44 You have indicated that you don't make any pre-movement test: please indicate why, among the possible choices *

- Derogation, as authorized by the European Directive
- Movement controls not provided in your national regulations
- Do not know
- Other:

45 Please indicate in which situations you realize pre-movement tests in case to secure the trade (sale or purchase) between two farms *

- All bovines (systematic control)
- For certain geographical areas only
- For some herds only
- If transport duration > 6 days
- Do not know
- Other:

46 If conditions of movement tests vary according to the geographical areas: please specify the variations factors *(Only answer this question if "For certain geographical areas only" is checked at the question 45)*

47 If conditions of movement tests vary according to the original herd: please specify the variations factors (Example: herds classified at risk, genetic breeding production ...) *(Only answer this question if "For some herds only" is checked at the question 45)*

48 Do you perform movement test(s) for other types of movement? *

- Animal transhumance
- Animals loaned or animals put in pension
- Bovine from some herds considered as "at risk"
- Do not know
- No
- Other:

Laboratory test(s)

49 Which screening test(s) is (are) performed in case of pre-movement testing? *

- Single intradermal tuberculin test (SIT)
- Comparative intradermal tuberculin test (CIT)
- Gamma interferon (IFN)
- Serology
- Do not know
- Other:

Another method of bovine tuberculosis surveillance in cattle

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 7)

50 Please describe briefly the other method(s) for bovine tuberculosis surveillance in cattle implemented in your country:

General comments

51 General comments on the surveillance of bovine tuberculosis in cattle in your country

52 Would you like to send us documents about bTB surveillance in cattle in your country? If so, please upload you files here.

Kindly attach the aforementioned documents along with the survey

Thank you very much for your time and cooperation. We commit to keep you informed about the results (this work will be completed by the end of July and the results will be available in the second half of 2013). Survey participants are likely to be contacted by phone after this online questionnaire, if further information is needed.

In order to supplement these information, you can send us to the address below any document that you consider useful on tuberculosis surveillance in your country (article, report, ..., whatever the language used).

We are also available for any questions or discussion regarding this project, at the following address:

Annexe 6. Questionnaire utilisé pour l'enquête européenne sur les méthodes de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage libre

The Research Unit EpiMAI (Epidemiology of Animal Infectious Disease) of the Alfort National Veterinary School (France) and the French agency for food, environmental and occupational Health and Safety (Anses) are conducting a survey about the different methods of bovine tuberculosis surveillance in Europe and particularly in each country of the European Union.

The objective of this survey is to make an **inventory of the different methods of bovine tuberculosis (bTB) surveillance implemented in the different European countries, according to the constraints and the local situations.**

Thank you in advance for taking a few minutes (~15-20 min) to complete this survey on the methods of bTB surveillance in non-captive wildlife in your country. The results of this survey will be available for all participants as soon as possible.

* *Mandatory responses*

Multiple choices

Single choice

General information

1 Please indicates your country *

Please choose only one of the following:

Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Macedonia, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom

2 Thank you to indicate your contact details *

Name / Surname:

E-mail:

Organization:

Function:

Phone (with telephone code: example for France 33-1-43967224):

3 What is the official country status for bovine tuberculosis (bTB)? *

- Officially free country
 Not officially free country
 Officially free region or province

Summary of the epidemiological situation in non-captive wildlife

4 Have wild animals infected with bovine tuberculosis (*M. bovis*) been detected in your country?

- Yes
 No
 Do not know

5 In what year was found the first wild animal infected with bTB (*M. bovis*) in your country?

6 Which species have already been detected infected with bTB (*M. bovis*) in your country? *

- Red deer (*Cervus elaphus*)
- Roe deer (*Capreolus capreolus*)
- Wild boar (*Sus scrofa*)
- Badger (*Meles meles*)
- Do not know
- Other:

7 Is infected wildlife homogeneously distributed in your country? *

- Yes
- No
- Do not know

Definition of a wild animal infected with bovine tuberculosis (bTB) (*M. bovis*)**8 What is the definition of a wild infected animal with bovine tuberculosis in your country? (Example: positive culture, combination of a positive PCR and a positive culture ...)***

- Suggestive lesions of tuberculosis at autopsy (only)
- Positive result(s) to one (or more) laboratory test(s) (only)
- Suggestive lesions of tuberculosis at autopsy AND positive result(s) to one (or more) laboratory test(s)
- Variable depending on geographical areas
- Variable depending on species
- Do not know
- Other:

9 How many laboratory test(s) are performed in order to confirm the infection with *M. bovis* in wildlife?*

- One test
- Several tests
- Do not know

10 Please indicate which laboratory test is performed to confirm infection in wild animals* (Only answer this question if "One test" is checked at the question 9)

- Histology
- PCR
- Culture
- Serology
- Do not know
- Other:

11 Please indicate which laboratory tests are performed to confirm infection in wild animals, from the available options* (Only answer this question if "Several tests" is checked at the question 9)

- Histology
- PCR

- Culture
 Serology
 Do not know
 Other:

12 If definition of a wild animal infected with bovine tuberculosis varies according to geographical areas: Please specify the variation factors and the corresponding definitions. (Only answer this question if “Variable depending on geographical areas” is checked at the question 8)

13 If definition of a wild animal infected with bovine tuberculosis varies according to the wild considered species: Please specify the variation factors and the corresponding definitions. (Only answer this question if “Variable depending on species” is checked at the question 8)

14 Eventual comments on the realization of several tests to confirm infection with *M. bovis* in a wild animal (Example: use of tests in series, in parallel, provided only if suggestive lesions at autopsy...)

Formal surveillance program for non-captive wildlife

15 Is there a formal surveillance program for bTB (*M. bovis*) in non-captive wildlife in your country?*

- Yes
 No
 Do not know

16 Methodology of bTB surveillance in wildlife*

- Active surveillance (planned survey on some animals)
 Passive surveillance (spontaneous reporting of cases)
 Other (details will be requested later)
 Do not know

Active surveillance (Planned survey on some animals)

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 16)

17 Which wild specie(s) is (are) concerned by the active surveillance in your country? *

- Red deer (*Cervus elaphus*)
 Roe deer (*Capreolus capreolus*)
 Wild boar (*Sus scrofa*)
 Badger (*Meles meles*)
 Do not know
 Other:

18 Which is (are) the laboratory test(s) performed on wild animals under the active surveillance? *

- Histology
 PCR
 Culture
 Serology
 Do not know
 Other:

Red deer (*Cervus elaphus*) (Only answer if this specie is checked at the question 17)**19 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Red deer (*Cervus elaphus*)**

- Approximate number of samples taken in 2012:
 - Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

20 What is the geographical scale of application of the active surveillance on Red deer (*Cervus elaphus*)?*

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

21 Please specify the definition of risk areas where active measures surveillance are applied on Red deer (*Cervus elaphus*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

22 Method(s) of collecting red deer (*Cervus elaphus*) during active surveillance *

- Usual hunting practice
 Special samplings plans (excluding usual hunting practice)
 Do not know
 Other:

Roe deer (*Capreolus capreolus*) (Only answer if this specie is checked at the question 17)**23 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Roe deer (*Capreolus capreolus*)**

- Approximate number of samples taken in 2012:
 - Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

24 What is the geographical scale of application of the active surveillance on Roe deer (*Capreolus capreolus*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know

Other:

25 Please specify the definition of risk areas where active measures surveillance are applied on Roe deer (*Capreolus capreolus*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

26 Method(s) of collecting Roe deer (*Capreolus capreolus*) during active surveillance *

- Usual hunting practice
 Special samplings plans (excluding usual hunting practice)
 Do not know
 Other:

Wild boar (*Sus scrofa*) (Only answer if this specie is checked at the question 17)

27 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Wild boar (*Sus scrofa*)

- Approximate number of samples taken in 2012:
 - Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

28 What is the geographical scale of application of the active surveillance on Wild boar (*Sus scrofa*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

29 Please specify the definition of risk areas where active measures surveillance are applied on Wild boar (*Sus scrofa*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

30 Method(s) of collecting wild boars (*Sus scrofa*) during active surveillance *

- Usual hunting practice
 Special samplings plans (excluding usual hunting practice)
 Do not know
 Other:

Badger (*Meles meles*) (Only answer if this specie is checked at the question 17)

31 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Badger (*Meles meles*)

- Approximate number of samples taken in 2012:

- Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

32 What is the geographical scale of application of the active surveillance on Badger (*Meles meles*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

33 Please specify the definition of risk areas where active measures surveillance are applied on Badger (*Meles meles*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

34 Method(s) of collecting badgers (*Meles meles*) during active surveillance *

- Trapping
 Underground ventry
 Do not know
 Other:

Passive surveillance (Spontaneous reporting of cases)

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 16)

35 Which wild specie(s) is (are) concerned by the passive surveillance in your country? *

- Red deer (*Cervus elaphus*)
 Roe deer (*Capreolus capreolus*)
 Wild boar (*Sus scrofa*)
 Badger (*Meles meles*)
 Do not know
 Other:

36 Which is (are) the laboratory test(s) performed on wild animals under the passive surveillance?*

- Histology
 Culture
 PCR
 Serology
 Do not know
 Other:

Red deer (*Cervus elaphus*) (Only answer if this specie is checked at the question 35)

37 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Red deer (*Cervus elaphus*)

- Approximate number of reported suspicions in 2012:

- Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

38 What is the geographical scale of application of the passive surveillance on Red deer (*Cervus elaphus*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

39 Please specify the definition of risk areas where passive measures surveillance are applied on Red deer (*Cervus elaphus*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

40 Method(s) of collecting red deer (*Cervus elaphus*) during passive surveillance *

- Game animals killed with lesions
 Animals found dead (forest, roadside, ...)
 Animals found moribund and/or with abnormal behavior
 Do not know
 Other:

Roe deer (*Capreolus capreolus*) (Only answer if this specie is checked at the question 35)

41 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Roe deer (*Capreolus capreolus*)

- Approximate number of reported suspicions in 2012:

- Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

42 What is the geographical scale of application of the passive surveillance on Roe deer (*Capreolus capreolus*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

43 Please specify the definition of risk areas where passive measures surveillance are applied on Roe deer (*Capreolus capreolus*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

44 Method(s) of collecting roe deer (*Capreolus capreolus*) during passive surveillance *

- Game animals killed with lesions
 Animals found dead (forest, roadside, ...)
 Animals found moribund and/or with abnormal behavior

- Do not know
 Other:

Wild boar (*Sus scrofa*) (Only answer if this specie is checked at the question 35)

45 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Wild boar (*Sus scrofa*)

- Approximate number of reported suspicions in 2012:
 - Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

46 What is the geographical scale of application of the passive surveillance on Wild boar (*Sus scrofa*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

47 Please specify the definition of risk areas where passive measures surveillance are applied on Wild boar (*Sus scrofa*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned
 Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
 Areas where infected wild animals have already been detected
 Do not know
 Other:

48 Method(s) of collecting wild boars (*Sus scrofa*) during passive surveillance *

- Game animals killed with lesions
 Animals found dead (forest, roadside, ...)
 Animals found moribund and/or with abnormal behavior
 Do not know
 Other:

Badger (*Meles meles*) (Only answer if this specie is checked at the question 35)

49 Situation in 2012: bovine tuberculosis in Badger (*Meles meles*)

- Approximate number of reported suspicions in 2012:
 - Approximate number of infected wild animals detected in 2012:

50 What is the geographical scale of application of the passive surveillance on Badger (*Meles meles*)? *

- National
 Targeted on risk areas
 Do not know
 Other:

51 Please specify the definition of risk areas where passive measures surveillance are applied on Badger (*Meles meles*) *

- Areas with a high density of the wild species concerned

- Areas with a high prevalence of bovine tuberculosis in cattle
- Areas where infected wild animals have already been detected
- Do not know
- Other:

52 Method(s) of collecting badgers (*Meles meles*) during passive surveillance *

- Game animals killed with lesions
- Animals found dead (forest, roadside, ...)
- Animals found moribund and/or with abnormal behavior
- Do not know
- Other:

Another method of bovine tuberculosis surveillance in non-captive wildlife

(Only answer this question if this surveillance component is checked at the question 16)

53 Please describe briefly the other method(s) of bovine tuberculosis surveillance in wildlife implemented in your country

General comments

54 General comments on the surveillance of bovine tuberculosis (*M. bovis*) in wildlife in your country

55 Would you like to send us documents about bTB surveillance in cattle in your country? If so, please upload you files here. Kindly attach the aforementioned documents along with the survey

Thank you very much for your time and cooperation. We commit to keep you informed about the results (this work will be completed by the end of July and the results will be available in the second half of 2013). Survey participants are likely to be contacted by phone after this online questionnaire, if further information is needed.

In order to supplement these information, you can send us to the address below any document that you consider useful on tuberculosis surveillance in your country (article, report, ..., whatever the language used).

We are also available for any questions or discussion regarding this project, at the following address: julie.riviere@vet-alfort.fr

Annexe 7. Description des composantes de surveillance de la tuberculose bovine en élevage bovin dans les Etats Membres de l'U.E.

Tableau 36 : Description du dépistage périodique en élevage réalisé dans les Etats Membres de l'U.E., la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, par statut officiel (Nombre de pays participants ayant déclaré effectuer cette surveillance / nombre de pays participants)

	Pays officiellement indemnes (6/16 pays)	Pays régionalisés (3/3 pays)	Pays non officiellement indemnes (7/7 pays)
Fréquence	Semestrielle		Malte
	Annuelle		Croatie, Macédoine
	Triennale	Slovénie	
	Quadriennal	Slovaquie	
	Quinquennal	Pologne	
Variable	Estonie : triennale, sauf pour les taureaux dans les centres d'insémination artificielle France : pas de dépistage jusqu'à dépistage annuel, selon la prévalence locale et les facteurs de risque d'infection des troupeaux République Tchèque : annuelle et quadriennale (pas de précision)	Portugal, Royaume-Uni : selon les zones géographiques et la prévalence locale (et type de troupeau en Ecosse)	Espagne, Irlande, Roumanie : annuelle, plus fréquent dans les zones ou les élevages à risque Chypre : annuelle et biennale (sans précision)
Age	> 6 semaines	Pologne, République Tchèque, Slovénie	Italie, Royaume-Uni
	> 24 mois	Slovaquie	Chypre, Croatie, Espagne, Macédoine, Malte, Roumanie
	Variable	Estonie : > 24 mois, mais pas d'âge minimal pour les taureaux dans les centres d'insémination France : selon prévalence locale	Portugal : selon prévalence locale
Test utilisé en première intention	IDS	Estonie, Pologne, Slovaquie, République Tchèque	Espagne, Chypre, Macédoine
	IDC		Portugal, Royaume-Uni
	IDS / IDC	France, Slovénie	Irlande, Malte
	IDS / IFN- γ	France	Croatie, Roumanie
Utilisation du test IFN-γ	Jamais	République Tchèque, Slovaquie	Chypre, Croatie, Macédoine, Malte
	En parallèle d'une IDT	France (dans certains départements)	Italie, Portugal, Royaume-Uni
	En série d'une IDT	France, Pologne (dans certains cas)	Royaume-Uni
Définition d'un élevage infecté	IDC+ (seule)	République Tchèque	Italie
	Résultat non négatif en IDC nécessairement confirmé par des analyses de laboratoire	Estonie, France, Pologne, Slovaquie, Slovénie	Portugal, Royaume-Uni
			Croatie, Malte, Roumanie

Tableau 37 : Description de la surveillance aux mouvements réalisée dans les Etats Membres de l’U.E., la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l’année 2013, par statut officiel (Nombre de pays participants ayant déclaré effectuer cette surveillance / nombre de pays participants)

● **Contrôles aux mouvements** : 15 des 26 pays participants ont déclaré réaliser des tests avant les mouvements des animaux au sein d’un pays (7/16 pays officiellement indemnes, 5/7 pays non officiellement indemnes, 3/3 pays régionalisés). Cette composante de surveillance est toujours associée avec une autre composante (dépistage en élevage ou à l’abattoir). Le contrôle aux mouvements, afin de protéger le commerce entre deux élevages (achat ou vente), est systématiquement effectué dans cinq pays, mais dépend de la zone géographique dans quatre pays et/ou de l’élevage concerné dans sept pays. Ces contrôles sont également appliqués dans certains cas n’impliquant pas la vente d’un animal : la transhumance, le prêt ou la mise en pension d’animaux, le statut « à risque » d’un animal. Cinq pays utilisent l’IDS, 10 l’IDC ou l’IFN-gamma, seul ou associés avec l’IDS.

		Pays officiellement indemnes (7/16 pays)	Pays régionalisés (3/3 pays)	Pays non officiellement indemnes (5/7 pays)
Mouvements entre élevages (achat ou vente, pour sécuriser le commerce)	Systématique (tous bovins)	Belgique	Portugal	Chypre, Croatie, Espagne
	Dans certaines zones géographiques seulement	Autriche : zones avec risque élevé de <i>M. caprae</i> ou après la saison de pâturage France : zones à prévalence élevée de TB	Italie : zones à forte prévalence de TB Royaume-Uni : entre zones infectées et zones indemnes	
	Dans certains élevages seulement	Autriche : présence de <i>M. caprae</i> ou après la saison de pâturage Finlande : veaux à destination des centres d’insémination Estonie, France, République Tchèque : troupeaux classés à risque		Macédoine, Roumanie
Autres situations (c.-à-d. hors commerce)	Transhumance	Autriche, Suisse	Italie, Portugal, Royaume-Uni	Espagne
	Animaux prêtés ou mis en pension		Portugal	Espagne
	Bovins d’élevages considérés à risque	Belgique, France, Suisse (taureaux pour centre d’insémination)	Italie, Portugal, Royaume-Uni	Espagne, Macédoine, Roumanie
Test réalisé	IDS	Estonie, République Tchèque		Chypre, Croatie, Espagne
	IDC	Autriche	Portugal, Royaume-Uni	Roumanie
	IDS / IDC	Finlande, France		Macédoine
	IDS / IFN- γ	France	Italie	
	IDC / IFN- γ	Suisse		

Tableau 38 : Description de la surveillance *post-mortem* à l'abattoir réalisée dans les Etats Membre de l'U.E., la Suisse, la Norvège et la Macédoine, au cours de l'année 2013, par statut officiel (Nombre de pays participants ayant déclaré effectuer cette surveillance / nombre de pays participants)

		Pays officiellement indemnes (15/16 pays)	Pays régionalisés (3/3 pays)	Pays non officiellement indemnes (6/7 pays)
Type d'inspection	Inspection visuelle seule	Suède		
	Inspection rapprochée* seulement si lésion(s) visible(s)	Luxembourg, Slovaquie		
	Inspection rapprochée* systématique	Allemagne, Autriche, Belgique, Estonie, Finlande, France, Norvège, Lettonie, Pays-Bas, République Tchèque, Slovénie, Suisse	Italie, Portugal, Royaume-Uni	Chypre, Croatie, Espagne, Irlande, Malte, Roumanie
Procédure en cas de découverte de lésions évocatrices de tuberculose	Prélèvement de l'organe et/ou des nœuds lymphatiques lésés seulement	Allemagne, Belgique, Estonie, Finlande, France, Lettonie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, République Tchèque, Suède	Italie, Portugal, Royaume-Uni	Espagne, Irlande, Malte
	Prélèvement systématique d'un certain nombre de paires de nœuds lymphatiques (<i>nombre de paires prélevées</i>)	Autriche (<i>6 paires</i>) Slovaquie (<i>5 paires</i>) Slovénie (<i>6 paires</i>) Suisse (<i>10 paires</i>)		Croatie (<i>7 paires</i>) Chypre (<i>4 paires</i>) Roumanie (<i>9 paires</i>)

*Inspection rapprochée : palpation et incision de certains organes

Annexe 8. Questionnaire utilisé pour l'estimation de paramètres dans la faune sauvage à l'aide de la méthode Delphi

• Renseignements généraux

Merci de bien vouloir compléter les informations suivantes avant de débiter le questionnaire. Vos réponses seront traitées de façon anonyme.

*Nom :

*Prénom :

*Institution (exemple : FDC, ONCFS...) :

*Fonction (exemple : formateur référent à l'examen initial du gibier, ITD SAGIR...) :

*Département d'exercice :

*Téléphone : code 10 chiffres

*Adresse e-mail :

*Précisions éventuelles :

• Classes d'âge : classement des subadultes

Classiquement, dans le domaine de la faune sauvage, trois catégories d'âge sont utilisées : adulte, subadulte, jeune. Afin de simplifier les analyses, il a été décidé de n'utiliser que deux catégories d'âge : adulte et jeune. L'âge d'un animal sauvage sera utilisé pour modéliser plusieurs probabilités, comme par exemple la probabilité qu'un animal soit tué à la chasse ou qu'il présente des lésions évocatrices de tuberculose.

Indiquez avec quelle catégorie d'âge vous fusionneriez la catégorie des subadultes, pour chacune des espèces suivantes :

Sangliers	Cervidés (cerf / chevreuil)	Blaireaux
<input type="checkbox"/> Adulte	<input type="checkbox"/> Adulte	<input type="checkbox"/> Adulte
<input type="checkbox"/> Jeune	<input type="checkbox"/> Jeune	<input type="checkbox"/> Jeune
<input type="checkbox"/> Ne sait pas	<input type="checkbox"/> Ne sait pas	<input type="checkbox"/> Ne sait pas

Commentaires éventuels :

• Présence de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose

La probabilité qu'un animal sauvage présente des lésions macroscopiques* évocatrices de tuberculose (type abcès) dépend de l'espèce et de l'âge de l'animal ainsi que de son statut infectieux (animal infecté par l'agent de la tuberculose ou animal indemne de tuberculose mais pouvant présenter une affection induisant des lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose).

**Des lésions macroscopiques sont des anomalies pouvant être détectées visuellement par un chasseur.*

Quelle est, selon vous, la probabilité qu'un animal infecté ou indemne de tuberculose présente des lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose, selon son espèce et son âge ?

Espèce	Age	Animal infecté par l'agent de la tuberculose	Animal « indemne de tuberculose » mais pouvant présenter des lésions macroscopiques dues à un autre agent pathogène
Sanglier	Jeune		
	Adulte		
Cerf	Jeune		
	Adulte		
Chevreuil	Jeune		
	Adulte		
Blaireau	Jeune		
	Adulte		

Indiquez la valeur qui vous semble la plus probable.

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer votre réponse sous forme d'un intervalle, avec le format : "borne inférieure ; valeur la plus probable ; borne supérieure"

Par exemple, pour une probabilité située entre 5 % et 30 %, avec une valeur la plus probable de 10 %, indiquez : 5 ; 10 ; 30.

Commentaires éventuels :

● Détection de lésions macroscopiques évocatrices de tuberculose sur un animal tué à la chasse

La probabilité de détection de lésions évocatrices de tuberculose sur un animal tué à la chasse dépend de deux principaux facteurs :

-l'espèce de l'animal ainsi que le type de lésions exprimées (petites et localisées ; ou étendues et pouvant toucher plusieurs organes),

-le niveau d'expertise du chasseur qui réalise l'examen de carcasse (formé ou non à la réalisation de cet examen, et fréquence d'observation de lésions évocatrices, variable selon le niveau de risque de la zone géographique). Ce niveau d'expertise influence principalement la capacité de détection de lésions évocatrices de tuberculose, la déclaration d'une suspicion en cas de détection de lésions évocatrices et la qualité de réalisation des prélèvements.

NB : Les niveaux de risque (1, 2, 3) sont ceux définis par le dispositif Sylvatub.

Quelle est, selon vous, la probabilité qu'un chasseur non formé à l'examen de carcasse détecte des lésions évocatrices de tuberculose pour chaque espèce indiquée, et dans chaque zone géographique indiquée ?

	Niveau de risque 1	Niveau de risque 2	Niveau de risque 3
Sanglier			
Cerf			
Chevreuil			

Indiquez la valeur qui vous semble la plus probable.

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer votre réponse sous forme d'un intervalle, avec le format : "borne inférieure ; valeur la plus probable ; borne supérieure"

Par exemple, pour une probabilité située entre 5 % et 30 %, avec une valeur la plus probable de 10 %, indiquez : 5 ; 10 ; 30.

Commentaires éventuels

--

Quelle est, selon vous, la probabilité qu'un chasseur formé à l'examen de carcasse détecte des lésions évocatrices de tuberculose pour chaque espèce indiquée, et dans chaque zone géographique indiquée ?

	Niveau de risque 1	Niveau de risque 2	Niveau de risque 3
Sanglier			
Cerf			
Chevreuil			

Indiquez la valeur qui vous semble la plus probable.

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer votre réponse sous forme d'un intervalle, avec le format : "borne inférieure ; valeur la plus probable ; borne supérieure"

Par exemple, pour une probabilité située entre 5 % et 30 %, avec une valeur la plus probable de 10 %, indiquez : 5 ; 10 ; 30.

Commentaires éventuels :

--

● **Détection d'un animal mort ou mourant par un acteur du réseau SAGIR**

On suppose que la probabilité qu'un animal mort ou mourant puisse être détecté par un acteur du réseau SAGIR varie en fonction du comportement de l'espèce concernée.

Quelle est, selon vous, la probabilité qu'un animal sauvage mort ou mourant soit détecté par un acteur du réseau SAGIR, pour chaque espèce proposée ?

Sanglier	
Cerf	
Chevreuil	
Blaireau	

Indiquez la valeur qui vous semble la plus probable.

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer votre réponse sous forme d'un intervalle, avec le format : "borne inférieure ; valeur la plus probable ; borne supérieure"

Par exemple, pour une probabilité située entre 5 % et 30 %, avec une valeur la plus probable de 10 %, indiquez : 5 ; 10 ; 30.

Commentaires éventuels :

--

● **Collecte d'un animal mort ou mourant par un acteur du réseau SAGIR**

On suppose que la probabilité de collecte d'un animal mort ou mourant par un acteur du réseau SAGIR dépend de plusieurs facteurs :

- la taille de l'animal, et donc de son espèce et de son âge,
- l'état de dégradation de l'animal,

-le niveau de sensibilisation de l'acteur de terrain, qui peut varier selon le niveau de risque du département pour la tuberculose,

-le fait que les analyses de laboratoire soient aux frais des acteurs de terrain, dans le cadre du fonctionnement normal du réseau SAGIR (pas d'indemnisation) et pour les chevreuils quel que soit le niveau de risque du département.

Par ailleurs, dans les départements de niveaux 2 et 3, un renforcement de la collecte des animaux morts ou mourants est demandé par le dispositif Sylvatub, avec une indemnisation d'un certain nombre d'animaux collectés ; tandis que dans les départements de niveau 1, le réseau SAGIR fonctionne normalement (pas d'indemnisation).

NB : Les niveaux de risque (1, 2, 3) sont ceux définis par le dispositif Sylvatub.

Quelle est, selon vous, la probabilité de collecte d'un animal mort ou mourant par un acteur du réseau SAGIR, en fonction de sa taille (espèce et âge) et de la zone géographique (définie par les niveaux de risque du dispositif Sylvatub) ?

Espèce	Age	Niveau de risque 1	Niveau de risque 2	Niveau de risque 3
Sanglier	Jeune			
	Adulte			
Cerf	Jeune			
	Adulte			
Chevreuil	Jeune			
	Adulte			
Blaireau	Jeune			
	Adulte			

Indiquez la valeur qui vous semble la plus probable.

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer votre réponse sous forme d'un intervalle, avec le format : "borne inférieure ; valeur la plus probable ; borne supérieure"

Par exemple, pour une probabilité située entre 5 % et 30 %, avec une valeur la plus probable de 10 %, indiquez : 5 ; 10 ; 30.

Commentaires éventuels :

● Détermination d'une prévalence seuil

Nous devons déterminer une prévalence* « seuil » minimale, que le dispositif de surveillance doit être en mesure de détecter. Le risque d'infection est variable selon les zones géographiques considérées, et notamment selon les niveaux de risque définis par le dispositif Sylvatub.

**La prévalence correspond à la proportion d'animaux infectés dans la population totale*

Considérant que le niveau de risque 1 représente le niveau de risque le plus faible, quelle est la prévalence d'infection par *M. bovis* que vous estimez acceptable de ne pas détecter dans la faune sauvage, selon les espèces et les zones définies par les niveaux de risque du dispositif Sylvatub ?

	Niveau de risque 1	Niveau de risque 2	Niveau de risque 3
Sanglier			
Cerf			
Chevreuil			
Blaireau			

Indiquez la valeur qui vous semble la plus probable.

Si vous le souhaitez, vous pouvez indiquer votre réponse sous forme d'un intervalle, avec le format : "borne inférieure ; valeur la plus probable ; borne supérieure"

Par exemple, pour une probabilité située entre 0,02 % et 3 %, avec une valeur la plus probable de 0,1 %, indiquez : 0,02 ; 0,1 ; 3.

Commentaires éventuels :

Nous vous remercions vivement d'avoir accepté de répondre à ce questionnaire. Nous serons éventuellement amenés à vous recontacter dans les prochains jours, par mail ou par téléphone, si des précisions sur vos réponses sont nécessaires. Nous restons par ailleurs à votre disposition pour toute question ou discussion concernant cette étude, aux coordonnées suivantes : julie.riviere@vet-alfort.fr.

Annexe 9. Article “Sensitivity of bovine tuberculosis surveillance in wildlife in France: a scenario tree approach”



RESEARCH ARTICLE

Sensitivity of Bovine Tuberculosis Surveillance in Wildlife in France: A Scenario Tree Approach

Julie Rivière^{1*}, Yann Le Strat^{2*}, Barbara Dufour^{1*}, Pascal Hendrikx^{3*}

1 Research unit EpiMAI USC Anses (Epidemiology of Animal Infectious Disease), Alfort National Veterinary School, Maisons-Alfort, France, **2** Department of Infectious Diseases, French Institute for Public Health Surveillance, Saint-Maurice, France, **3** Unit UCAS, French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (Anses), Maisons-Alfort, France

* These authors contributed equally to this work.

* julie.riviere@vet-alfort.fr



OPEN ACCESS

Citation: Rivière J, Le Strat Y, Dufour B, Hendrikx P (2015) Sensitivity of Bovine Tuberculosis Surveillance in Wildlife in France: A Scenario Tree Approach. PLoS ONE 10(10): e0141884. doi:10.1371/journal.pone.0141884

Editor: Mónica V. Cunha, INIAV, I.P.- National Institute of Agriculture and Veterinary Research, PORTUGAL

Received: March 27, 2015

Accepted: October 14, 2015

Published: October 30, 2015

Copyright: © 2015 Rivière et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: Data are available from the Directorate General for Food Data Access/Ethics Committee, a third party. Interested researchers may contact hea.edata.dgaf@ec.europa.eu for more information.

Funding: The authors have no support or funding to report.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

Abstract

Bovine tuberculosis (bTB) is a common disease in cattle and wildlife, with an impact on animal and human health, and economic implications. Infected wild animals have been detected in some European countries, and bTB reservoirs in wildlife have been identified, potentially hindering the eradication of bTB from cattle populations. However, the surveillance of bTB in wildlife involves several practical difficulties and is not currently covered by EU legislation. We report here the first assessment of the sensitivity of the bTB surveillance system for free-ranging wildlife launched in France in 2011 (the Sylvatub system), based on scenario tree modelling. Three surveillance system components were identified: (i) passive scanning surveillance for hunted wild boar, red deer and roe deer, based on carcass examination, (ii) passive surveillance on animals found dead, moribund or with abnormal behaviour, for wild boar, red deer, roe deer and badger and (iii) active surveillance for wild boar and badger. The application of these three surveillance system components depends on the geographic risk of bTB infection in wildlife, which in turn depends on the prevalence of bTB in cattle. We estimated the effectiveness of the three components of the Sylvatub surveillance system quantitatively, for each species separately. Active surveillance and passive scanning surveillance by carcass examination were the approaches most likely to detect at least one infected animal in a population with a given design prevalence, regardless of the local risk level and species considered. The awareness of hunters, which depends on their training and the geographic risk, was found to affect surveillance sensitivity. The results obtained are relevant for hunters and veterinary authorities wishing to determine the actual efficacy of wildlife bTB surveillance as a function of geographic area and species, and could provide support for decision-making processes concerning the enhancement of surveillance strategies.

Introduction

Bovine tuberculosis (bTB) is a chronic disease caused by *Mycobacterium bovis* or, less frequently, by *M. caprae*. It affects livestock species, especially cattle, but also companion and wild animals, and it may cause zoonotic disease in humans [1]. In developed countries, bTB results in major economic losses in the livestock sector, with costs to the cattle industry and government due to surveillance expenses (testing costs), movement restrictions and compensation for slaughtered cattle.

Infected wild animals have been detected in some European countries and wildlife reservoirs have been identified [2, 3]. Wild species, including maintenance hosts in particular, represent a major obstacle to the eradication of bTB in cattle, because they constitute a potentially continuous source of re-infection [3, 4, 5]. A good understanding of the ecology and behaviour of relevant species and their role in bTB epidemiology is therefore essential, to evaluate the potential for transmission to the cattle population and for the implementation of effective disease control measures [3, 6, 7]. There is currently no EU legislation relating to bTB surveillance and control programs for wildlife, but some countries have implemented a national surveillance programme [8].

The European Commission has considered France to be bTB-free since 2000. However, several infected herds are still detected each year in some areas. The first cases of bTB in wildlife were detected in red deer (*Cervus elaphus*) and Eurasian wild boar (*Sus scrofa*) in 2001. Additional cases have been detected regularly ever since, in wild boar, red deer and badgers (*Meles meles*) in the vicinity of cattle outbreaks, but the role of susceptible wild animal species in bTB epidemiology remains unclear [9]. A national surveillance programme for bTB in wildlife, the Sylvatub programme, was launched in France in 2011. The main aims of this surveillance system are the early detection of cases and the monitoring of infection levels in affected areas. It consists of three independent surveillance system components (SSCs): (1) passive scanning surveillance on hunted wild boar, red deer and roe deer; (2) passive surveillance on animals found dead, moribund or with abnormal behaviour, for wild boar, red deer, roe deer and badger; (3) active surveillance on hunted wild boar and trapped badger. Passive scanning surveillance is defined as the reporting of suspect cases by stakeholders, whereas active surveillance is defined as the collection of samples according to a predetermined sampling framework.

However, bTB surveillance in wildlife species is subject to several practical difficulties (geographic dispersion of populations, unknown population density, difficulties observing and collecting animals, non-random selection of the most accessible animals, leading to potential sampling biases) and is generally driven by ecological, economic and/or social (political, cultural) considerations, as most of the stakeholders involved in the French surveillance system are volunteers. Furthermore, surveillance in wildlife is based principally on post-mortem examinations, but several studies have shown that the detection of tuberculosis-like lesions by field stakeholders has a low sensitivity, leading to an underestimation of the prevalence of bTB in wildlife species [10, 11, 12]. There is therefore a need to assess the efficacy of the wildlife surveillance system implemented in France.

We present here the first assessment of the sensitivity of the bTB surveillance system in free-ranging wildlife in France (Sylvatub), using scenario tree modelling. This method makes it possible to quantify the sensitivity of a component of a surveillance system based on non-probabilistic sampling [13], defined as the probability of detecting at least one infected animal in a population with a given design prevalence. The bTB surveillance components were evaluated for each species separately.

Materials and Methods

2.1. Ethics statement

This study did not involve the deliberate killing of animals for the sole purpose of the study, as all samples were collected from animals trapped or hunted legally during the hunting season with appropriate permits, shot legally because of severe debilitation or found dead. All the samples included in this study were obtained from animals analyzed within an official context relating to bTB surveillance in free-ranging wildlife. All sampling procedures complied with national and European regulations and no specific ethics approval was therefore required.

2.2. The French bTB surveillance system for free-ranging wildlife

The French surveillance system for bTB in wildlife consists of three independent SSCs described below. These SSCs are applied as a function of geographic risk, which is assessed on the basis of outbreaks in cattle or wildlife. Local risk is regularly re-evaluated, depending on changes in the epidemiological situation in cattle and wildlife (Fig 1A–1D). Three levels of risk have been defined [14]:

- High-risk areas, with several outbreaks in cattle or wildlife (threshold of 10 bovine outbreaks in two years in the same area): this level of risk is applied for several years, to monitor infection levels in wildlife and to assess the efficacy of control measures;
- Medium-risk areas, with some outbreaks in cattle, resulting in a higher increased incidence of the disease, and/or areas in close geographic proximity to high-risk areas (neighbouring "départements", the adjacent administrative areas): this level of risk is applied for at least one year and for as long as necessary to obtain a good understanding of the epidemiological situation. A low- or high-risk level is subsequently applied, depending on the surveillance results;
- Low-risk areas, with few TB cattle outbreaks, if any, and no increase in incidence.

2.2.1. Passive scanning surveillance on hunted wild animals by carcass examination (EC-SSC). This surveillance component applies to hunted wild boar, red deer and roe deer and is based on post-mortem examination and the voluntary submission, by hunters, of carcasses with macroscopic tuberculosis-like lesions (TBLs). In all geographic areas (*i.e.* regardless the local risk), hunters are asked to submit any game animals with macroscopic tuberculosis-

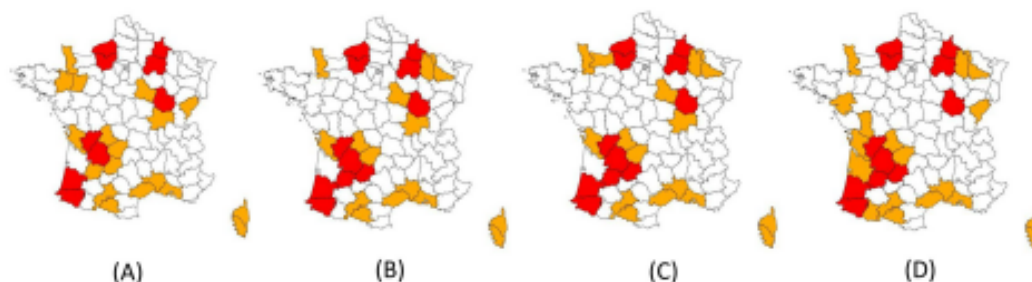


Fig 1. Geographical risk levels for the surveillance of bTB in wildlife in France from 2013 to 2015. Low-risk level: white; Medium-risk level: orange; High-risk level: red. From left to right: (A) July 2013, (B) January 2014, (C) July 2014 and (D) January 2015.

doi:10.1371/journal.pone.0141884.g001

like lesions (TBLs) to laboratories for testing, free of charge. The hunter's awareness of macroscopic TBLs is crucial for their detection and, therefore, for the sensitivity of the EC-SSC [15]. Since the initial implementation of Sylvatub in 2011, hunters have become more aware of bTB, due to the growing number of articles in hunting magazines, and the implementation of training and information campaigns in high-risk regions. Furthermore, some hunters take specific training courses, to learn how to detect abnormal carcasses (with lesions), but this training is not mandatory.

2.2.2. Surveillance on animals found dead, moribund or with abnormal behaviour (SAGIR-SSC). Passive surveillance on dead and dying animals, through the SAGIR network, has been implemented in France since 1986. This surveillance component relies on field stakeholders (hunters, local hunting federations and technicians from the National Hunting and Wildlife Office) providing an inventory of dead or moribund animals (red and roe deer, wild boar, badger) found in forests or at the roadside and bringing these animals to a laboratory for investigations at their own expense, through their local federations (the analysis depends on the results of the necropsy) [16]. Within the Sylvatub national surveillance programme, laboratory partners are asked to report bTB results and the SAGIR network receives assistance, free of charge, in areas of medium or high risk (assistance with the collection of animals by field stakeholders, particularly for large animals, and systematic bTB analysis, even in the absence of TBL detection on necropsy).

2.2.3. Active surveillance (PSURV-SSC). Systematic bTB analysis (see 2.2.4) is conducted on a planned sample of 15 badgers trapped within a radius of 1 km around outbreaks of bTB in cattle in medium-risk areas, and on samples of a hundred badgers and a hundred wild boars in larger areas within high-risk zones, according to the geographic distributions of these species. Animals are collected even if no macroscopic TBLs are detected by field stakeholders. In these high-risk areas, the aim is to detect bTB infection, assuming a prevalence of 3%, with a 95% confidence level.

2.2.4. Tissue collection and laboratory investigations. Field stakeholders submit animals, organs or tissues (from a standardized list of samples) to a laboratory immediately after collection, with a data sheet containing information about the species, estimated age (juvenile or adult), sex, date and location of collection, and body condition (degradation, presence of TBL on the carcass, etc.). Some field stakeholders have been trained in organ collection through practical exercises on carcasses. For wild boar and deer, the organs of the pulmonary and digestive systems are collected, for examination of the tracheobronchial, mediastinal and mesenteric lymph nodes, together with the head, for examination of the retropharyngeal and mandibular lymph nodes, and with any organs presenting lesions. For badgers, which are relatively small, the entire animal is often collected.

A necropsy is carried out, together with a detailed analysis of the organs collected, by qualified laboratory staff, for the detection of TBLs (caseo-granulomas, mineralised nodules or purulent abscesses [17, 18, 19, 20]). The diagnostic process differs between SSCs:

- For EC-SSC at all risk levels and for SAGIR-SSC in low-risk areas, samples are analysed by culture and PCR only if TBLs are detected by the laboratory staff;
- For SAGIR-SSC and PSURV-SSC in medium- and high-risk areas, the samples from collected animals are systematically cultured, and PCR is also conducted on the TBLs, if present (pooled samples).

If a non-negative result is obtained at a local laboratory, biological material is sent to the national reference laboratory for confirmation. The bacterial culture was performed following the protocol established by the French NRL for isolation of *M. bovis* (culture on solid media

after decontamination) [21]. The PCR relies on a commercial kit (the targeted sequence was IS6110, present in all species of the *M. tuberculosis* complex) [21].

2.3. Scenario trees and model description

bTB surveillance in free-ranging wildlife cannot be evaluated by traditional methods involving data collection by random sampling methods [22, 23]. Scenario tree models have been developed for the quantitative evaluation of complex veterinary surveillance systems [13, 24]. The sensitivity of detection of a surveillance system is defined as the probability of detecting at least one animal positive for bTB for a given prevalence in the population. A tree represents all the events influencing the detection of the infection as nodes dividing the population into groups of animals with similar probabilities of being infected and detected. Each of these category nodes may have one or more possible outcomes, with a specific probability of occurrence estimated from historical data, published findings or expert opinion. The final outcome of each pathway of the tree is obtained by multiplying all the probabilities along the limb.

This methodology was applied to each of the three SSCs of the French surveillance system over a one-year period, as bTB is a chronic disease, and the SSCs were evaluated for each species separately. The structure and content of the scenario trees (nodes and input parameters) are described below and illustrated in Figs 2–4. The parameters of the stochastic model were estimated from data for bTB surveillance in France for the 2013–2014 hunting season, but also from published results and expert opinion, because the Sylvatub data are not entirely accurate and complete, as this surveillance system was only recently implemented and wildlife monitoring is difficult. We used a Delphi approach to collect expert opinions, so as to obtain consensus minimum, maximum and most likely values for the probability of a wild animal having TBLs, the probability of such TBLs being detected by a hunter and the probability of a dead or moribund wild animal being detected and collected by field stakeholders. An electronic questionnaire was sent to 16 French experts in the field of veterinary and wildlife epidemiology, hunters' associations and the SAGIR network, for the individual assignment of values. The results were then presented to the experts, to allow them to change their minds if they felt they had overestimated or underestimated the values when they first completed the questionnaire. A description of the experts contacted and the questionnaire sent to them are provided in the supplementary material (S1 File). Input parameters were described by distributions, to account for the uncertainty of the estimates.

For each species and risk level, the mean and its 95% confidence interval were estimated from 10,000 simulated values, by a Monte Carlo method. The scenario trees were implemented in Excel and the Monte Carlo method, with a fixed random seed of one, was run stochastically with @RISK (Decision Tool, version 6).

2.3.1. Model coverage. Scenario trees were modelled by SSC, geographic risk and species, with the age class as a category node. This made it possible to split the wildlife population into several homogeneous groups, according to the probabilities of infection and detection. We identified values of the Pert distributions through a literature review; subadults were grouped with the adult class for wild boars and with the juvenile class for deer, in accordance with expert opinion (Table 1).

2.3.2. Design prevalence and probability of infection. The sensitivity of a SSC applied to a population depends on the prevalence of the disease in this population, referred to as the "design prevalence" or "threshold prevalence" (denoted P^*). The design prevalence is usually set according to international standards or trading requirements and is unrelated to the real prevalence in the study population, which is usually assumed to be zero [13]. It is the lower limit of the theoretical prevalence of infection in the population detectable by the surveillance

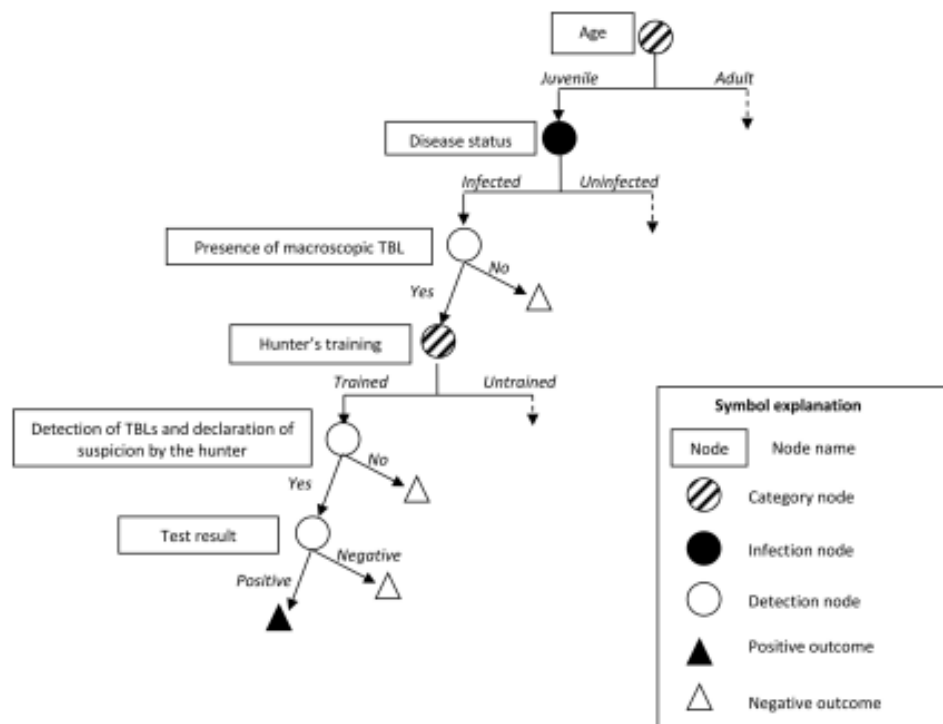


Fig 2. Scenario tree illustrating the scanning surveillance system component based on carcass examination for hunted wild boar, red deer and roe deer (EC-SSC, applied in areas of all risk levels).

doi:10.1371/journal.pone.0141884.g002

system with a specified probability [13] and should be assigned to the infection node. However, there is currently no standard design prevalence for bTB surveillance in wildlife. The surveillance system should be able to detect a prevalence of 3% with a confidence level of 95% in high-risk areas. The adjusted risk of infection is usually based on the relative risk and the proportion of the population in each risk group [13]: as they are not accurately known in the wild populations, we used the prevalence in cattle in the three risk areas to estimate the relative risk of infection for wild species for each risk level (the risk level for the Sylvatub System was determined from epidemiological data for bTB in cattle, as there is a good correlation between outbreaks in wild animals and in cattle [9]). Based on the prevalence data for cattle, the relative risks of infection in wildlife in medium- and high-risk areas were 13 and 38, respectively, with the low-risk area used as the reference. From the prevalence of 3% in high-risk areas and these relative risks, we deduced the expected probabilities of infection in low- and medium-risk areas. Then for each risk level, a multivariate Poisson regression was performed to predict the probabilities of infection depending on species and age. Finally, for each species and age, we obtained adjusted probabilities of infection (Table 2) by dividing the regression-based probabilities of infection by the expected probabilities of infection in each level.

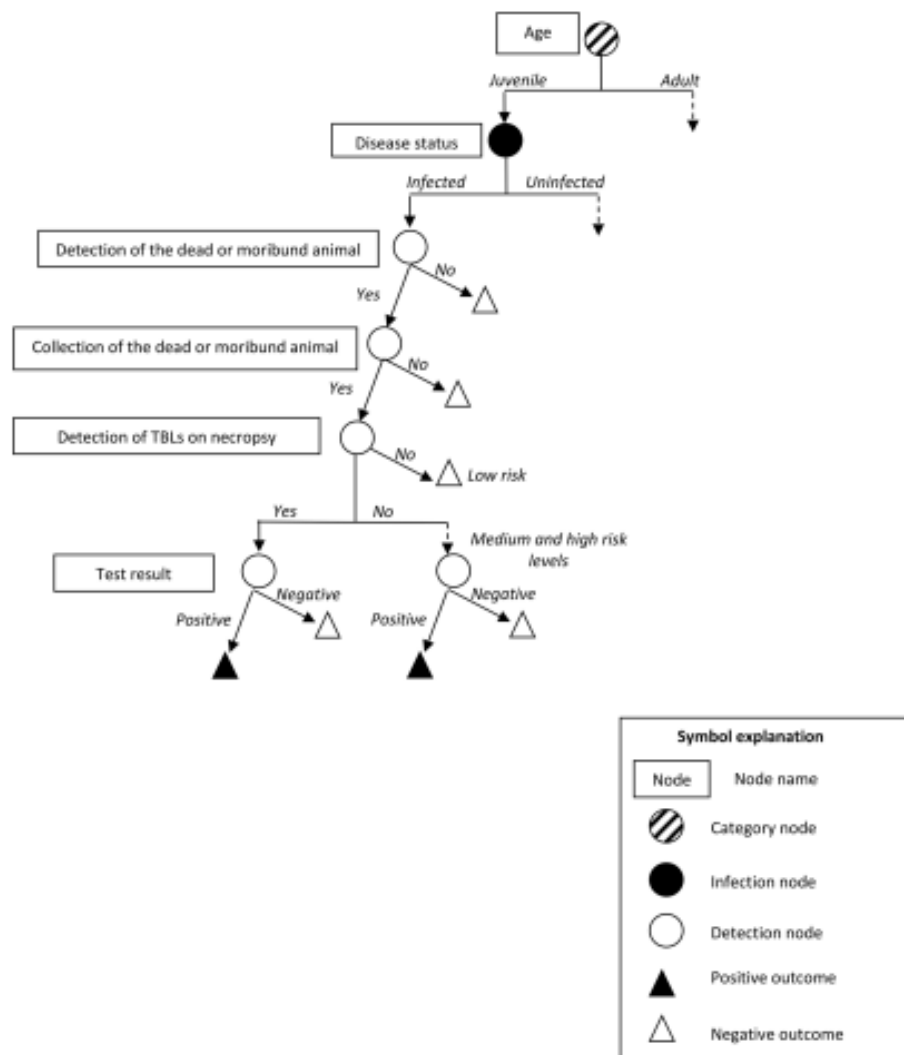


Fig 3. Scenario tree illustrating the surveillance system component for animals found dead, moribund or with abnormal behaviour (SAGIR-SSC, applied to each species and all risk levels).

doi:10.1371/journal.pone.0141884.g003

2.3.3. Diagnostic process. The sensitivity of culture and PCR on wild populations are not accurately known actually. They have been estimated in France, on cattle populations, by latent class analysis, on samples with bTB compatible lesions and from herds with a bTB suspicion [21]. However, samples from wild animals are of lower quality than those from cattle, due to

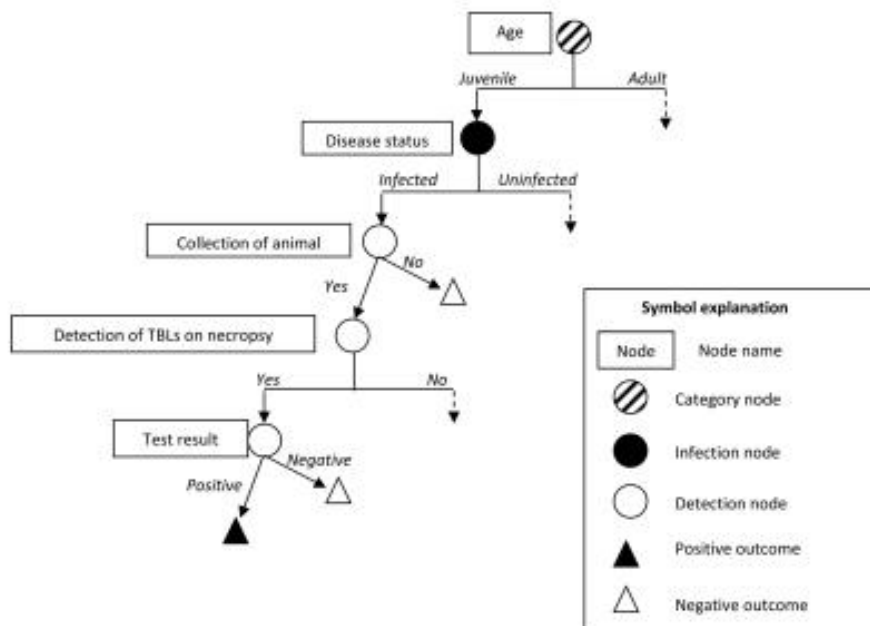


Fig 4. Scenario tree illustrating the active surveillance system component for badger and wild boar in medium- and high-risk areas (PSURV-SSC).

doi:10.1371/journal.pone.0141884.g004

degradation and the bacteriological contamination of carcasses or samples. This would probably decrease culture sensitivity by about 35% (expert opinion). Furthermore, pooled samples were analysed for wildlife, whereas cattle samples were analysed separately. This may have decreased the sensitivity of the PCR test by about 15% (expert opinion). We therefore applied a modulating factor when estimating the sensitivity of tests on wildlife: the sensitivity of the culture and PCR methods for wildlife were estimated at 50.8% [47.4%; 53.8%] and 74.45% [70.1%; 78.5%], respectively, and modeled by a Pert distribution.

If TBLs were detected, culture and PCR tests were carried out in parallel at the local laboratory. Assuming the conditional independence of tests, sensitivity at the local laboratory was calculated as follows: $Se_{local} = 1 - (1 - Se_{culture}) \times (1 - Se_{PCR})$. If positive results for culture and/or

Table 1. Proportion of juveniles and adults in the wildlife population according to species.

Species	Age class	Proportion in the wild population
Wild boar	Juvenile	Pert (0.50; 0.55; 0.60) [25, 26]
	Adult	1 - P(juveniles)
Deer (red and roe deer)	Juvenile	Pert (0.20; 0.24; 0.35) [27, 28]
	Adult	1 - P(juveniles)
Badger	Juvenile	Pert (0.25; 0.40; 0.50) [29, 30]
	Adult	1 - P(juveniles)

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t001

Table 2. Probability of infection in scenario trees according to species, age class and geographic risk.

Species	Age class	Low risk level (%)	Medium risk level (%)	High risk level (%)
Wild boar	Juvenile	0.06	0.79	2.26
	Adult	0.08	1.14	3.26
Red deer	Juvenile	0.01	0.16	0.46
	Adult	0.02	0.23	0.66
Roe deer	Juvenile	0.06	0.84	2.40
	Adult	0.09	1.21	3.47
Badger	Juvenile	0.07	0.93	2.67
	Adult	0.10	1.35	3.85

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t002

PCR were obtained at the local laboratory, a discriminating PCR was carried out, in series, at the national laboratory for confirmation. The sensitivity of this test was estimated at 90% [85%; 95%] (expert opinion). The sensitivity of the whole diagnostic process was calculated as follows: $Se_{whole} = Se_{local\ lab} \times Se_{PCR\ national\ lab}$

2.3.4. Specific parameters for passive scanning surveillance on hunted wild animals (EC-SSC; Fig 2). The main detection nodes influencing the probability of bTB detection by the EC-SSC are the presence of macroscopic TBLs, and the detection of these TBLs by a hunter, who subsequently reported his suspicions, triggering the diagnostic process (Fig 2). The probability of TBL being present on an infected animal with *M. bovis* depends on the species and age of the animal. It was estimated by an expert panel and was modelled with a Pert distribution (Table 3). The likelihood of detecting TBLs depends on the awareness of hunters and the species hunted, as the patterns of lesions differ between wildlife species [20]. Assumptions about disease awareness were based on the training and experience of the hunters (as a function of the risk in their local administrative area (*département*)). The probabilities of TBLs being detected by a hunter on post-mortem inspection and of laboratory confirmation being requested were estimated together, by the expert panel, for each species and hunter's level of awareness (Table 4).

2.3.5. Specific parameters for passive surveillance on animals found dead, moribund or with abnormal behaviour (SAGIR-SSC; Fig 3). The detection of an infected wild animal by the SAGIR-SSC depends on the probability of a dead or moribund animal being collected by a stakeholder in the field (Table 5, estimated from expert opinion) (Fig 3). The ability to detect and collect a dead or moribund animal depends on its size and, consequently, on its species and age. The collection of such animals is also dependent on the level of risk, through the field partner's level of awareness and economic considerations (analyses are paid for by the hunter's association in low-risk areas, but are reimbursed in medium- and high-risk areas).

Table 3. Probability of a wild infected animal displaying macroscopic TBLs, as a function of the species concerned and age class.

Species	Age class	Values
Wild boar	Juvenile	Pert (0.40; 0.50; 0.90)
	Adult	Pert (0.50; 0.50; 0.90)
Red deer	Juvenile	Pert (0.60; 0.90; 1)
	Adult	Pert (0.60; 0.85; 1)
Roe deer	Juvenile	Pert (0.50; 0.80; 0.90)
	Adult	Pert (0.50; 0.80; 0.95)

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t003

Table 4. Probability of a hunter detecting macroscopic TBLs, by species and awareness of the hunter (training and risk level).

Hunter's training status	Species	Risk level		
		Low risk level	Medium risk level	High risk level
Trained	Wild boar	Pert (0.05; 0.30; 0.50)	Pert (0.10; 0.40; 0.90)	Pert (0.40; 0.80; 0.95)
	Red deer	Pert (0.05; 0.70; 0.85)	Pert (0.40; 0.70; 0.90)	Pert (0.50; 0.90; 1)
	Roe deer	Pert (0.20; 0.60; 0.80)	Pert (0.40; 0.50; 0.90)	Pert (0.60; 0.90; 1)
Untrained	Wild boar	Pert (0; 0.10; 0.30)	Pert (0; 0.25; 0.50)	Uniform (0; 1)
	Red deer	Pert (0; 0.25; 0.50)	Uniform (0; 0.75)	Uniform (0; 0.90)
	Roe deer	Pert (0; 0.25; 0.50)	Uniform (0; 0.75)	Pert (0.30; 0.50; 0.90)

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t004

Table 5. Probabilities of a dead or moribund wild animal being detected and collected by a field partner.

Species	Age	Detection	Collection		
			Low risk level	Medium risk level	High risk level
Wild boar	Juvenile	Pert (0.05; 0.15; 0.40)	Pert (0; 0.05; 0.30)	Pert (0.01; 0.20; 0.50)	Uniform (0.10; 0.90)
	Adult	Pert (0.05; 0.15; 0.40)	Pert (0; 0.03; 0.20)	Pert (0.03; 0.10; 0.40)	Uniform (0.10; 0.80)
Red deer	Juvenile	Pert (0.05; 0.20; 0.60)	Pert (0; 0.05; 0.30)	Pert (0.01; 0.30; 0.75)	Pert (0.35; 0.50; 1)
	Adult	Pert (0.05; 0.20; 0.60)	Pert (0; 0.05; 0.30)	Uniform (0.03; 0.80)	Pert (0.20; 0.50; 1)
Roe deer	Juvenile	Pert (0.05; 0.15; 0.40)	Pert (0; 0.05; 0.10)	Pert (0.01; 0.20; 0.30)	Uniform (0; 1)
	Adult	Pert (0.05; 0.15; 0.40)	Pert (0; 0.05; 0.10)	Uniform (0; 1)	Uniform (0; 1)
Badger	Juvenile	Pert (0.01; 0.20; 0.40)	Pert (0; 0.02; 0.20)	Pert (0; 0.05; 0.50)	Pert (0.10; 0.50; 0.70)
	Adult	Pert (0.01; 0.20; 0.40)	Pert (0; 0.05; 0.20)	Pert (0.10; 0.50; 0.60)	Pert (0.10; 0.50; 0.70)

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t005

Once collected, the carcasses are taken to a local laboratory for necropsy. In low-risk areas, further analyses are conducted only if TBLs are detected by qualified staff. By contrast, in medium- and high-risk areas, in which surveillance measures are more stringent, bacteriological culture is systematically carried out for all samples, even if no TBL is detected on necropsy. The probability of a wild animal having TBLs detected at the laboratory depends on a number of factors, including the infectious status, species and age of the animal. We performed multivariate logistic regression analyses on current surveillance system data for France, from which we calculated the probability of a wild animal having TBLs detected at the laboratory (dependent variable), as a function of infectious status, species and age class (explanatory variables). Then we computed the predictions and their standard deviations from the model, giving the parameters of the Gaussian distributions presented in Table 6 to modeled the probability of TBLs being detected on an infected animal at the laboratory by qualified staff, by species and age class.

Table 6. Probability of TBLs being detected on an infected animal at the laboratory by qualified staff, by species and age class.

Species	Age class	Values
Wild boar	Juvenile	Normal (0.58; 0.029)
	Adult	Normal (0.61; 0.016)
Red deer	Juvenile	Normal (0.44; 0.040)
	Adult	Normal (0.47; 0.034)
Roe deer	Juvenile	Normal (0.88; 0.017)
	Adult	Normal (0.89; 0.011)
Badger	Juvenile	Normal (0.40; 0.032)
	Adult	Normal (0.43; 0.011)

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t006

2.3.6. Specific parameters for active surveillance (PSURV-SSC; Fig 4). Active surveillance is dependent on fewer factors, as a predetermined number of animals should be collected and analysed, even if no macroscopic or microscopic TBLs are detected (Fig 4). The main factor likely to influence the sensitivity of the PSURV-SSC is therefore the diagnostic process (culture only in the absence of lesions, culture and PCR if lesions present).

2.4. Component sensitivity calculations

The three SSCs of the French bTB surveillance system were assessed separately, for each species. The component unit sensitivity (CSeU) was first estimated by the sum of the pathways with a positive outcome, itself obtained by multiplying the proportions of the populations in the various risk groups by the probabilities of infection and detection for the branch concerned. Component sensitivity (CSe), corresponding to the probability of detecting at least one bTB-positive wild animal given the presence of bTB at the design prevalence, was then calculated as $CSe = 1 - (1 - CSeU)^n$, considering an arbitrary number of 100 wild animals to be processed per SSC, species and risk area. Finally, the sensitivity of the EC-SSC was estimated specifically for the 2013–2014 hunting season as an example of the application of the model: the CSe was presented for each French "département", according to the hunting bags of 2013–2014, the risk-levels of the Fig 1A, and take into account the proportion of trained hunters in each area, the proportion of juveniles and adults in the wildlife population, according to species (Table 1) and the probabilities of infection according to species, age class and geographic risk (Table 2).

Results

The mean, 5th and 95th percentiles of the output distributions of each SSC for unit component sensitivity (CSeU—depending on the probability of infection) are presented in Table 7. The PSURV-SSC had the highest sensitivity, but this component is not applied to all areas and species. The sensitivity of the EC-SSC was higher than that of the SAGIR-SSC, regardless of the

Table 7. Unit sensitivity (CSeU) for each SSC of the Sylvatub system, by species, age class, and geographic risk (percentage, mean [CI_{95%}]).

Species	Low risk level	Medium risk level	High risk level
EC-SSC			
Wild boar	UT: 0.004 [0.001; 0.008] T: 0.009 [0.004; 0.015]	UT: 0.108 [0.031; 0.189] T: 0.187 [0.075; 0.326]	UT: 0.612 [0.026; 1.254] T: 0.935 [0.646; 1.232]
Red deer	UT: 0.003 [0.001; 0.004] T: 0.007 [0.003; 0.009]	UT: 0.055 [0.003; 0.110] T: 0.100 [0.070; 0.131]	UT: 0.187 [0.009; 0.380] T: 0.354 [0.262; 0.441]
Roe deer	UT: 0.002 [0.0008; 0.004] T: 0.006 [0.003; 0.008]	UT: 0.050 [0.002; 0.104] T: 0.074 [0.051; 0.105]	UT: 0.205 [0.127; 0.306] T: 0.333 [0.249; 0.416]
SAGIR-SSC			
Wild boar	0.0004 [0.00008; 0.0009]	0.019 [0.005; 0.042]	0.145 [0.040; 0.320]
Red deer	0.0001 [0.00002; 0.0003]	0.011 [0.002; 0.027]	0.045 [0.014; 0.082]
Roe deer	0.00009 [0.00003; 0.0002]	-	-
Badger	0.0003 [0.00006; 0.0008]	0.043 [0.012; 0.085]	0.184 [0.054; 0.35]
PSURV-SSC			
Wild boar	-	-	1.814 [1.724; 1.907]
Badger	-	0.75 [0.72; 0.79]	2.154 [2.049; 2.261]

UT: untrained hunter

T: trained hunter

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t007

species and risk level considered. When considering the probability of infection, which was set according to local risk level, species and age, the effectiveness of the surveillance system increased with increasing probability of infection for the medium and high risk levels (Table 7). Furthermore, the awareness of the hunters, which depends on their training and geographic risk level, affected the sensitivity of the EC-SSC.

We found that the CSe (the probability of detecting at least one bTB-positive animal among 100 wild animals studied over the course of one year) exceeded 50% for the EC-SSC for wild boar (trained hunters) and for the PSURV-SSC for badger and wild boar (Table 8). The number of wild animals actually processed by the EC-SSC exceeded 100 and this surveillance component was therefore more effective than the PSURV-SSC in areas in which hunting was very common (Fig 5, n based on the hunting bags of 2013–2014, by French *département*).

Discussion

The surveillance of bTB in wildlife in France involves passive scanning surveillance by carcass examination during hunting and the analysis of animals found dead or dying, together with targeted, risk-based investigations in areas of medium and high risk. The evaluation of this surveillance system is of particular importance, as the persistence of infected wildlife populations in contact with cattle has been shown to hinder the eradication of bTB from domesticated animal populations in some countries [3, 5], and the density and dispersion of susceptible wildlife populations are increasing. The identification of wild maintenance hosts and their effective management is therefore a key determinant of the efficacy of control measures [3, 6, 7], despite the lack of a requirement for mandatory bTB surveillance in wildlife in current EU legislation. The surveillance of bTB is challenging, due to its underlying complex epidemiology and the multiple hosts involved in domestic and wild populations, particularly in wildlife, due to practical constraints imposed.

Table 8. Component sensitivity (CSe) for each SSC of the Sylvatub system, by species, age class, geographic risk, for 100 animals processed by the SSC, by species and risk level (percentage, mean [CI_{95%}]).

Species	Low risk level	Medium risk level	High risk level
EC-SSC			
Wild boar	UT: 0.370 [0.074; 0.744]	UT: 10.242 [3.072; 17.244]	UT: 45.892 [2.567; 71.689]
	T: 0.923 [0.401; 1.458]	T: 17.073 [07.210; 27.843]	T: 60.901 [47.696; 71.052]
Red deer	UT: 0.268 [0.076; 0.471]	UT: 5.313 [0.260; 10.458]	UT: 17.090 [0.886; 31.677]
	T: 0.659 [0.328; 0.931]	T: 9.513 [6.726; 12.303]	T: 29.860 [23.599; 35.749]
Roe deer	UT: 0.247 [0.076; 0.438]	UT: 4.901 [0.240; 9.891]	UT: 18.565 [11.934; 26.359]
	T: 0.560 [0.321; 0.791]	T: 7.153 [4.992; 9.927]	T: 28.383 [22.035; 34.056]
SAGIR-SSC			
Wild boar	0.038 [0.008; 0.096]	2.401 [0.546; 4.081]	13.29 [3.90; 27.42]
Red deer	0.0103 [0.002; 0.027]	1.104 [0.233; 2.67]	4.39 [1.41; 8.80]
Roe deer	0.009 [0.003; 0.018]	-	-
Badger	0.033 [0.006; 0.078]	4.18 [1.23; 8.18]	16.61 [5.29; 29.36]
PSURV-SSC			
Wild boar	-	-	83.94 [82.44; 85.42]
Badger	-	53.11 [51.36; 54.86]	88.65 [87.38; 89.85]

UT: untrained hunter

T: trained hunter

doi:10.1371/journal.pone.0141884.t008

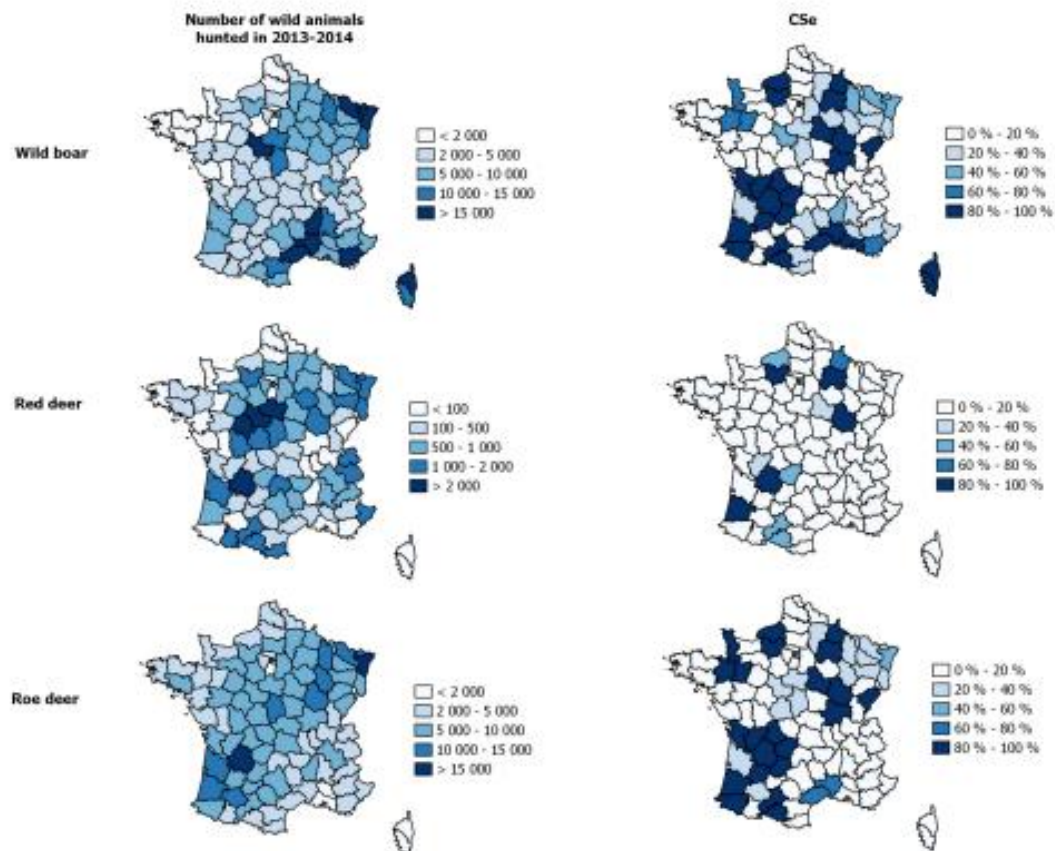


Fig 5. Sensitivity (CSe) of the EC-SSC for wild boar, red deer and roe deer, according to the hunting bags for the 2013–2014 hunting season and the proportion of trained hunters.

doi:10.1371/journal.pone.0141884.g005

We used the stochastic scenario tree modelling approach described by Martin *et al.* [13] to estimate the sensitivity of each SSC of the French surveillance system, as it is well adapted to low expected disease prevalences and non-structured probabilistic sampling. This approach can be used to identify and develop efficient surveillance strategies and it enhances communication and collaboration between stakeholders, decision makers and scientists. It provides a transparent and structured approach for decision-making and opportunities for improving the framework, with the acquisition of more accurate data. However, one disadvantage of this method is that it does not take temporal aspects into account (the time interval between infection and TBL development, for example) [31].

With this method, it is possible to include multiple sources of information in the same tree. This is a considerable advantage when not all the data required are available and expert opinion must be sought. In our case, it is difficult to obtain data for bTB prevalence and the densities of

susceptible species within a given geographic area, or information about the behaviour of field stakeholders in terms of their participation in the surveillance system and disease awareness. When quantitative information about the key parameters affecting the detection capacity of the SSC was not available, expert advice was sought to reach a consensus, and parameter estimates were described by distributions, relatively wide in some cases, to account for uncertainty. When no consensus between experts could be reached, uniform distributions were used, to take into account the variability or uncertainty in the parameter estimates, which may be considerable for wildlife. The assumptions underlying variable simulations may be biased due to the preconceived opinions of experts, but these expert opinions were nevertheless useful in the absence of epidemiological field survey data. Furthermore, ignoring the effects of parameters that are difficult to quantify (such as disease awareness) would have yielded misleading estimates for the effectiveness of the surveillance system [32].

As information about relative risks of infection and proportion of the population in each risk group were not available for wild populations, it is not possible to use straightforwardly the method described by Martin *et al.* [13]. A two-step approach was so used: first, the relative risks by risk-level area were estimated from cattle data (as there is a good correlation between outbreaks in cattle and in wildlife) and secondly, the Sylvatub data were used to estimate the probabilities of infection according to the species and age class through a standardization procedure. These probabilities may not provide an accurate reflection of the real epidemiological situation in wildlife, but they are nevertheless relevant, as the geographic risk levels for bTB surveillance in wildlife are based, in part, on bTB prevalence in cattle and there is a good correlation between infection rates in wild animals and outbreaks in cattle [9]. The risks of infection for each risk level were then fitted to the Sylvatub data for each species and age. However, only a few infected red and roe deer were detected in France, accounting for the low sensitivity of the surveillance system for these species: the results are thus valid only for the model calculation and assumptions about the risk of infection. The unit sensitivity for an infected animal is available in Supplementary material (S2 File) as it could be useful for adaptation of the results of the model to another epidemiological situation (i.e. another probability of infection according to species, age and geographic area assigned to the mean unit sensitivity).

PSURV-SSC and EC-SSC had the highest CSe for detecting at least one infected wild animal at the design prevalence, regardless of species. The SAGIR-SSC had a very low CSe, whatever the species considered, particularly at low (CSe < 1%) and medium (CSe < 5%) levels of risk. Furthermore, fewer animals than planned (100 for this model) may be processed in reality for this surveillance component. The reinforcement of the SAGIR network increases the sensitivity of this SSC, particularly at high levels of risk (CSe between 5% and 20%). This component remains relevant, as it is the only surveillance component applied in summer (no hunting is generally allowed in the summer for wild boar and deer, so the probability of detection by hunting is zero during this period): the seasonality of surveillance should therefore also be taken into account when assessing the overall effectiveness of the surveillance system.

Post-mortem examination (ability to detect TBLs) has a low sensitivity, but training to increase the awareness of hunters and being in a high risk area increased the sensitivity of the EC-SSC. The experts considered the efficacy of post-mortem inspection to be greater for deer than for wild boar, because the TBLs are often located on cervical lymph nodes in wild boars and are, therefore, difficult for hunters to detect during their examination of the carcass (Table 4). These assumptions are consistent with the findings of several studies showing the sensitivity of post-mortem inspection to be low [33, 34, 35]. Nevertheless, we found that the EC-SSC had a high CSe, due to the large numbers of wild animals killed during hunting and subjected to post-mortem examination, even if this post-mortem examination and the submission of suspect carcasses are voluntary (Fig 5). The sensitivity of active surveillance was also

high, because the collection of animals was not influenced by the probability of the animals having TBLs or the ability of hunters to detect these lesions (systematic collection and analyses) and because the samples are collected around bTB cattle outbreaks.

The diagnostic process currently consists of systematic culture, with PCR if TBLs are detected. However, tuberculous lesions may be non-specific in appearance, particularly at early stages of infection, limiting the sensitivity of the overall diagnostic process (Table 6). The sensitivity of culture and PCR on wild populations have been estimated by expert opinions compared to sensitivity on cattle populations [21], which were however estimated from suspect samples and are not representative of the sensitivity of the tests in the whole population. The tests used have been considered to be independent, whereas there is actually a biological dependence that could lead to a smaller gain in sensitivity [34]. However, estimation of the sensitivity covariance would require comparison with a third reference test, but no such data were available for this study. Furthermore, culture is the reference test for bovine tuberculosis, but its sensitivity is relatively low for wild populations, due to conditions in the field and the potential contamination of samples. This method is also time-consuming and costly. A serological test for the detection of *M. bovis* antibodies was recently evaluated in wild boars and may provide a suitable alternative for bTB screening in wild boar populations [36, 9].

In this study, we assessed the effectiveness of the current bTB surveillance system for wildlife in France. Only a few studies have evaluated the sensitivity of bTB surveillance in wildlife, and most have focused on farmed wild species, such as deer [34, 35], for which social behaviour may influence the probability of infection and for which tuberculin tests could be used to screen living animals and meat inspections could be performed at slaughterhouses, increasing the overall sensitivity of surveillance. These surveillance systems are less sensitive to behavioural effects (such as the participation of stakeholders in cases of passive surveillance) and field conditions (degradation and contamination of carcasses or samples). The ability to detect TBLs on post-mortem inspection, estimated on the basis of expert opinion and data from cattle, was therefore considered to be higher in these previous studies than in our model, as meat inspection is conducted in better conditions and is more detailed than carcass examination by a hunter.

Further investigations are required for assessment of the overall sensitivity of the entire surveillance system, but data for overall badger density are not available (localised studies have been conducted, but the results obtained cannot be extrapolated to other geographic areas). Furthermore, specificity is also a relevant issue, as the collection of non-tuberculous wild animals could lead to unnecessary laboratory costs. The government and hunters' association should cover the costs of surveillance activities, with compensation provided to field stakeholders for their participation. Assessments of the cost-effectiveness of the surveillance system would thus be useful, to confirm the advantages of implementing one or more components in different areas, for the various stakeholders (this has already been done in some countries [15]).

This was the first quantitative evaluation of the sensitivity of the bTB surveillance system in wildlife in France. The effectiveness of the Sylvatub system is difficult to estimate, because it is dependent on many factors, such as the probability of infected animals having lesions, the disease awareness of hunters and their willingness to report suspected cases of infection. The inclusion of behavioural effects (the hunters' awareness of the disease, and their willingness to report their suspicions if TBLs are detected) might introduce a bias, as these effects are difficult to estimate, but the results are relevant for hunters and veterinary authorities wishing to know the actual efficacy of bTB surveillance in free-ranging wildlife as a function of geographic area and species. They could also provide support for decision-making processes concerning the enhancement of surveillance strategies. Further investigations should be performed to identify

key factors influencing the CSe, to determine how the efficacy of the surveillance system could be improved, given that some biological factors cannot be influenced by surveillance strategies (such as the probability of TBLs being visible on infected wild animals) [15, 32], and to assess the cost-effectiveness of each SSC. The results obtained for this model could encourage stakeholders to participate in the surveillance system, improving its efficiency, but it may be difficult to standardise the participation of hunters and to integrate their role into a formal surveillance strategy. Indeed, information flow, awareness, local acceptance and incentives should be taken into account when trying to improve case reporting and, thus, the effectiveness and sustainability of the surveillance system.

Supporting Information

S1 File. Description of the Delphi approach and of the questionnaire sent to experts.
(DOCX)

S2 File. Unit sensitivity for an infected animal (SeU) for each SSC of the Sylvatub system, by species, age class and geographic risk.
(DOCX)

S3 File. ARRIVE Checklist.
(PDF)

Acknowledgments

We thank the French Ministry of Agriculture and the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (The UCAS Unit and the National Laboratory for Bovine Tuberculosis) for providing data from the ongoing surveillance system in France. We also thank the hunting associations and field stakeholders (hunters and actors of the SAGIR network) for their valuable help in collecting samples and the experts, for providing valuable information for the estimation of parameters. Finally, we thank Julie Sappa from the Edelman association, for the English proofreading of the manuscript.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: JR BD PH. Performed the experiments: JR. Analyzed the data: JR YLS. Contributed reagents/materials/analysis tools: JR YLS. Wrote the paper: JR. Critically revised manuscript: YLS BD PH.

References

1. Müller B, Salome D, Alonso S, Hattendorf J, Laisee CJM, Parsons SDC, et al. Zoonotic *Mycobacterium bovis*-induced tuberculosis in humans. *Emerg Infect Dis.* 2013; 19(6): 899–908. doi: [10.3201/eid1906.120543](https://doi.org/10.3201/eid1906.120543) PMID: [23735540](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23735540/)
2. Comer LAL. The role of wild animal populations in the epidemiology of tuberculosis in domestic animals: how to assess the risk. *Vet Microbiol.* 2006; 112: 303–312. PMID: [16326030](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16326030/)
3. Gortazar C, Delahay RJ, McDonald RA, Boadella M, Wilson GJ, Gavier-Widen D, et al. The status of tuberculosis in European wild mammals. *Mamm Rev.* 2012; 42(3): 193–206.
4. Hardstaff JL, Marion G, Hutchings MR, White PCL. Evaluating the tuberculosis hazard posed to cattle from wildlife across Europe. *Res Vet Sci.* 2013; 94: S86–S93. doi: [10.1016/j.rvsc.2013.12.002](https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.12.002)
5. EFSA. Modelling the impact of a change in Mi sensitivity on the surveillance of bTB at the country level. 2013; Supporting Publications 2013: EN-450, 40p. Available: www.efsa.europa.eu/publications.
6. 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. PMID: [18023299](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18023299/)

7. Fitzgerald SD, Kaneene JB. Wildlife reservoirs of bovine tuberculosis worldwide: hosts, pathology, surveillance and control. *Vet Pathol.* 2012; 50: 488–499. doi: [10.1177/0300985812467472](https://doi.org/10.1177/0300985812467472) PMID: [23169912](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23169912/)
8. 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. doi: [10.1016/j.vetmic.2014.08.013](https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.08.013) PMID: [25205200](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25205200/)
9. Richomme C, Boadella M, Courcoul 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](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077842) PMID: [24167584](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24167584/)
10. O'Brien DJ, Schmitt SM, Berry DE, Fitzgerald SD, Vanneste JR, Lyon TJ, 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. PMID: [15137487](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15137487/)
11. Vicente J, Hofle U, Garrido JM, 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. PMID: [16336928](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16336928/)
12. Santos N, Geraldes 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](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012663) PMID: [20844754](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20844754/)
13. Martin MAJ, Cameron AR, Greiner M. Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources. 1: a new methodology based on scenario trees. *Prev Vet Med.* 2007a; 79: 71–97.
14. Anonymous. Surveillance épidémiologique de la tuberculose dans la faune sauvage en France: réseau Sylvatub. Note de service DGAL/SDSPA/N2013-8129 du 29 juillet 2013. 2013. 27pp.
15. Hadom DC, Stärk KDC. Evaluation and optimization of surveillance systems for rare and emerging infectious diseases. *Vet Res.* 2008; 39(6):57. doi: [10.1051/vetres:2008033](https://doi.org/10.1051/vetres:2008033) PMID: [18651991](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18651991/).
16. Lamarque F, Hatier C, Artois M, Bery P, Dieder C. Le réseau SAGIR, réseau national de suivi sanitaire de la faune sauvage française. *Epidemiol. et santé anim.* 2000; 37:21–30.
17. Martin-Hernando MP, Höfle U, Vicente J, Ruiz-Fons F, Vidal D, Barral M, et al. Lesions associated with *Mycobacterium tuberculosis* complex infection in the European wild boar. *Tuberculosis (Edinb).* 2007; 87: 360–367.
18. Martin-Hernando MP, Torres MJ, Aznar J, Negro JJ, Gandra A, Gortazar C. Distribution of lesions in red and fallow deer naturally infected with *Mycobacterium bovis*. *J Comp Pathol.* 2010; 142: 43–50. doi: [10.1016/j.jcpa.2009.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2009.07.003) PMID: [19891968](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19891968/)
19. Schöning JM, Cerny N, Prohaska S, Wittenbrink MM, Smith NH, Bloemberg G, et al. Surveillance of bovine tuberculosis and risk estimation of a future reservoir formation in wildlife in Switzerland and Liechtenstein. *PLoS One.* 2013; 8(1): e54253. doi: [10.1371/journal.pone.0054253](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054253) PMID: [23349839](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23349839/)
20. Zanella G, Duvauchelle A, Hars J, Moutou F, Boschirolì ML, Durand B. Patterns of lesions of bovine tuberculosis in wild red deer and wild boar. *Vet Rec.* 2008; 163: 43–47. PMID: [18621995](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18621995/)
21. Courcoul A, Moyen JL, 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](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090334) PMID: [24625670](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24625670/)
22. Cannon RM, Roe RT. *Livestock disease surveys: a field manual for veterinarians.* Australian Government Publishing Service, Canberra; 1982.
23. Cameron AR, Baldock FC. A new probability formula for surveys to substantiate freedom from disease. *Prev Vet Med.* 1998; 34: 1–17. PMID: [9541947](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9541947/)
24. Martin PA, Cameron AR, Barford K, Sergeant ES, Greiner M. Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources 2: case study—classical swine fever in Denmark. *Prev Vet Med.* 2007b; 79:98–115.
25. Servanty S. Dynamique d'une population chassée de sangliers (*Sus scrofa*) en milieu forestier. Thèse d'Université, Université Claude Bernard, Lyon 1. 2007; 266pp.
26. Baubet E. Biologie du sanglier en montagne. Thèse d'Université, Université Claude Bernard, Lyon 1. 1998; 300 pp.
27. Dzieciolowski R. Structure and spatial organization of deer populations. *Acta Theriologica.* 1979; 24(1): 3–24.
28. Rolland JC. Le statut du cerf élaphe (*Cervus elaphus*) dans le département des Alpes-Maritimes. Veterinary Thesis, ENVT. 2003; 187pp.

29. Rogers LM, Cheeseman CL, Mallinson PJ, Clifton-Hadley RS. The demography of a high density badger population in the west of England. *J of Zoology, London*. 1997; 242:705–726.
30. Ahnlund H. Aspects of the population dynamics of the badger (*Meles meles*). University thesis, Stockholm, 1980.
31. Alba A, Casal J, Napp S, Martin PAJ. Assessment of different surveillance systems for avian influenza in commercial poultry in Catalonia (North-Eastern Spain). *Prev Vet Med*. 2010; 97: 107–117. doi: [10.1016/j.prevetmed.2010.09.002](https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.09.002) PMID: [20943281](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20943281/)
32. Rich KM, Denwood MJ, Stott AW, Mellor DJ, Reid SWJ, Gunn GJ. 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](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082019) PMID: [24348922](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24348922/)
33. Rohonczy EB, Balachandran AV, Dukes TW, Payeur JB, Rhyan JC, Saari DA 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): 108–14. PMID: [8785715](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8785715/)
34. More SJ, Cameron AR, Greiner M, Clifton-Hadley R, Correia Rodeia S, Bakker D, et al. Defining output-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. doi: [10.1016/j.prevetmed.2009.03.013](https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.03.013) PMID: [19464742](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19464742/)
35. Wahlström H, Frösling 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. doi: [10.1016/j.prevetmed.2009.11.017](https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.11.017) PMID: [20063473](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20063473/)
36. Boddella M, Lyashchenko K, Greenwald R, Estandiari 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. PMID: [21217031](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21217031/)
37. Gavler-Widen D, Cooke MM, Gallagher J, Chambers MA, Gortazar C. A review of infection of wildlife hosts with *Mycobacterium bovis* and the diagnostic difficulties of the 'no visible lesion' presentation. *N Z Vet J*. 2009; 57: 122–131. doi: [10.1080/00480169.2009.36891](https://doi.org/10.1080/00480169.2009.36891) PMID: [19521460](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19521460/)

Annexe 10. Estimation des coûts de la surveillance programmée dans différents départements

Tableau 39 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée en 2013 pour la DDPP de Haute-Garonne (niveau 2) (Sources : convention locale ; Durand, 2015a)

Poste économique	Catégorie de coût	Exécutant	Réalisé en 2013
Coordination départementale du dispositif	Animation	Titulaire de l'administration	1 technicien de la DDPP missionné sur le dispositif Sylvatub (0,05 ETP environ)
Réunions d'organisation de la surveillance et d'animation locale	Animation	Président des lieutenants de louveterie Piégeurs	Réunion de lancement du 14 mai (25 personnes) : 1 092 € ⇒ Temps horaire : 841 € (2h consacrées à la réunion d'organisation pour 25 personnes, soit 50 h à 16,82 €/h) ⇒ Frais de déplacement : 251 € (785 km réalisés, indemnisés à 0,32 €/km) Préparation et animation des captures de blaireaux : 1 504 € ⇒ Temps horaire : 1 329 € (79 h à 16,82 €/h) ⇒ Frais de déplacement : 175 € (548 km à 0,32 €/km) Total : 2 596 €
Transmission par courrier d'informations sur le dispositif et les résultats	Animation	DDPP	0 € (informations transmises par mail, par téléphone et en réunion)
Matériel pour la capture des blaireaux	Collecte	DDPP	500 € (estimé par le technicien de la DDPP en charge du dossier)
Prise en charge de l'adhésion de piégeurs agréés	Collecte	Piégeurs	0 €
Capture des blaireaux	Collecte	Piégeurs Lieutenants de louveterie	5 274 € au total pour 39 blaireaux capturés ⇒ 492 € pour 39 blaireaux capturés (12,6 €/blaireau = 1/3 du tarif horaire) ⇒ Temps horaire : 4 205 € (62 h consacrées à la mise en place des pièges (25 personnes) et 188 h pour le suivi (22 personnes), indemnisées à 16,82 €/h) ⇒ Frais de déplacement : 577 € (1 803 km à 0,32 €/km pour le suivi des pièges)
Collecte, stockage et transport des blaireaux au LDA	Collecte	Piégeurs Lieutenants de louveterie	264 € pour les frais de ramassage et de transport vers le LDA 31 ⇒ Temps horaire : environ 202 € (estimation de 12 h à 16,82 €/h) ⇒ Frais de déplacement : environ 62 € (194 km à 0,32 €/km) 1 congélateur acheté l'année précédente par la DDPP

Tableau 40 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée et de la régulation en 2014 pour la DDCSPP de Dordogne (niveau 3)
(Sources : convention locale ; Durand, 2015a)

Poste économique	Catégorie de coût	Exécutant	Réalisé en 2014 (et prévu par convention locale)
Coordination départementale du dispositif	Animation	Personnel de l'administration ou délégataire	1 technicien DDCSPP à temps partiel sur la mission Sylvatub 1 coordonnatrice du GDS à temps partiel sur les missions Sylvatub (convention DDCSPP – GDS)
Réunions d'organisation de la surveillance et d'animation locale	Animation	Lieutenants de louveterie Piégeurs Techniciens FDC	Total concernant le volet « Blaireaux » : 17 644 € ⇒ 12 038 € (convention DDCSPP24 – association des lieutenants de louveterie) ⇒ 806 € (convention DDCSPP24 – association des piégeurs) ⇒ 4 800 € (convention DDCSPP24 – FDC*) Total concernant le volet « Grand gibier » : 4 400 € (convention DDCSPP24 – FDC*)
Transmission par courrier d'informations et des résultats	Animation	DDPP	Total concernant le volet « Blaireaux » : 300 € (convention DDCSPP24 – GDS)
Matériel pour la capture des blaireaux et pour la réalisation des prélèvements sur le grand gibier	Collecte	FDC	Estimation concernant le volet « Blaireaux » : 11 600 € (convention DDCSPP24 – FDC*) Estimation concernant le volet « Grand gibier » : 3 610 € (convention DDCSPP24 – FDC*) (5,1 € / carcasse + matériel de sécurité réutilisable)
Prise en charge de l'adhésion de certains piégeurs agréés	Collecte	Piégeurs	6 750 € (convention DDCSPP24 – association des piégeurs)
Capture des blaireaux	Collecte	Piégeurs Personnel contrat d'avenir	37 497 € (convention DDCSPP24 – association des piégeurs) ⇒ Indemnisation au tarif horaire de 16,8 €/heure (en considérant 3h par piégeur et par jour, pour 12 piégeurs et 42 jours soit 25 401 €) ⇒ Indemnisation des déplacements à 0,4 €/km (pour 24 piégeurs, déplacement de 30 km pour 42 jours soit 12 096 €) 8 640 € (convention DDCSPP – GDS) : 2 ETP de la cellule épidémiologique locale du GDS pour le recensement des terriers de blaireaux (estimation pour 2 contrats emplois d'avenir)
Collecte, stockage et transport des blaireaux au LDA	Collecte	Lieutenants de louveterie	5 000 € : frais de transport vers le laboratoire 1 600 € : frais de stockage (50 €/congélateur / an ; 32 congélateurs) (convention DDCSPP – GDS)

* Pour la répartition de la dépense en matériel et en animation de la FDC: cf. **Tableau 42**.

Tableau 41 : Coût unitaire moyen estimé de la surveillance programmée et de la régulation (lutte) en Dordogne (Sources : convention locale ; Durand, 2015a)

	Animation		Collecte		Total
	Surveillance programmée	Régulation	Surveillance programmée	Régulation	
Blaireaux	Coût unitaire	24 €		94 €	118 € / Blaireau
	Nombre de blaireaux	430	325	430	755
	Coût total (2014)	10 320 €	7 800 €	40 420 €	30 550 € ⇒ 50 740 € pour la surveillance ⇒ 38 350 € pour la régulation
Grand gibier	Coût unitaire	15 €		12 €	27 € / Grand Gibier
	Nombre de grand gibier	300	-	300	300
	Coût total (saison 2013-2014)	4 500 €	-	3 600 €	8 100 €

Tableau 42 : Répartition des coûts inhérents à l'animation et à la collecte en Dordogne, par espèce
(Estimations réalisées à partir de la convention DDCSPP-FDC pour l'année 2014 ; Durand, 2015a)

	Liste de matériel prévu dans la convention 2014 DDCSPP-FDC (prix TTC)			Estimation pour 2014				Montant total pour 2014 (€)
	Nombre	Prix unitaire (€)	Montant total (€)	Blaireau		Grand Gibier		
				Nombre	Montant (€)	Nombre	Montant (€)	
Matériel								
Sac 100 L	4 500	0,35	1 575	1 000	350	500	175	525
Sac 160 L	3 500	0,35	1 225	1 000	350	500	175	525
Paire de gants Latex	3 500	0,15	525	1 000	150	500	75	225
Paire de gants Fouille	500	0,16	80	-	-	500	80	80
Masques	3 500	1,80	6 300	1 000	1 800	500	900	2 700
Etiquettes	5 000	0,25	1 250	1 000	250	500	125	375
Collets	6 000	3,60	21 600	2 000	7 200	-	-	7 200
Cages	10	150	1 500	10	1 500	-	-	1 500
Matériel sécurité	80	26,00	2 080	-	-	80	2 080	2 080
Total matériel			36 135		11 600		3 610	15 210
Animation								
Réunions lancement	6 ½ journées	175,00	1 050			6	1 050	1 050
Animation dispositif	3 jours	350,00	1 050			3	1 050	1 050
Préparation kit Grand gibier	5 jours	250,00	1 250			5	1 250	1 250
Préparation kit Blaireau	15 jours	250,00	3 750	15	3 750			3 750
Approvisionnement / Distribution	6 jours	250,00	2 100	3	1 050	3	1 050	2 100
Total Animation			9200		4 800		4 400	9 200

Tableau 43 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée et de la régulation en 2014 pour la DDCSPP de Côte d'Or (niveau 3)
(Sources : convention locale ; Durand, 2015a)

Poste économique	Catégorie de coût	Exécutant	Réalisé en 2014 (et prévu par conventions locale)
Coordination départementale	Animation	Personnel de l'administration	1 technicien de la DDCSPP à temps partiel sur les missions Sylvatub (0,8 ETP)
Réunions d'organisation de la surveillance et d'animation locale	Animation	Lieutenants de louveterie Vétérinaire contractuel	Total concernant le volet « Blaireaux » : 41 359 € (tableau de suivi des piégeages de la DDecPP) Total concernant le volet « Grand gibier » : 6 000 € (2 vétérinaires contractuels à 0,25 ETP chacun, soit environ 24 000 €, dont environ 25 % de leur temps est consacré à l'organisation locale des prélèvements) (NB : pas de convention avec la FDC qui ne participe pas à la surveillance programmée)
Transmission par courrier d'informations et des résultats	Animation	DDPP	Total concernant le volet « Blaireaux » : 200 € environ (estimation DDPP) Total concernant le volet « Grand gibier » : 200 € environ (estimation DDPP)
Matériel pour la capture des blaireaux et pour la réalisation des prélèvements sur le grand gibier	Collecte	DDPP Vétérinaire contractuel	Total concernant le volet « Blaireaux » : 12 100 € (estimation DDPP : 5 € de matériel / blaireau, dont 1,5 € / collet) Total concernant le volet « Grand gibier » : 20 000 € ⇒ 2 000 € pour le matériel de collecte (estimation DDPP – 5,3 € / carcasse grand gibier) ⇒ 18 000 € (2 vétérinaires contractuels à 0,25 ETP chacun, soit environ 24 000 €, dont environ 75 % de leur temps est consacré à l'inspection <i>post-mortem</i> et à la réalisation de prélèvements sur le grand gibier)
Surveillance normale et piégeage des blaireaux en zone de régulation	Collecte	Piégeurs	35 764 € (source : tableau de suivi des piégeages de la DDPP)
Surveillance renforcée et piégeage en zone de régulation intensive	Collecte	Piégeurs Lieutenants de louveterie	67 606 € (source : tableau de suivi des piégeages de la DDPP)
Collecte, stockage et transport des blaireaux et des prélèvements sur le grand gibier au LDA	Collecte	Lieutenants de louveterie Techniciens FDC	Total concernant le volet « Blaireaux » : 10 000 € (estimation DDPP) (le stockage des blaireaux s'effectue dans 30 congélateurs installés chez des éleveurs) Total concernant le volet « Grand gibier » : 0 € (les prélèvements sont amenés au laboratoire par la navette du GDS ou du LDA selon les tournées déjà existantes, pas de facturation pour cette prestation)

Tableau 44 : Coût unitaire moyen estimé de la surveillance programmée et de la régulation (lutte) en Cote d'Or (Sources : convention locale ; Durand, 2015a)

	Animation		Collecte		Total
	Surveillance programmée	Régulation	Surveillance programmée	Régulation	
Blaireaux	Coût unitaire	17 €		52 €	69 € / Blaireau
	Nombre de blaireaux	407	2 013	407	2 420
	Coût total (2014)	6 919 €	34 221 €	21 164 €	166 980 € : ⇒ 28 083 € pour la surveillance ⇒ 138 897 € pour la régulation
Grand gibier	Coût unitaire	16 €		53 €	69 € / Grand Gibier
	Nombre de grand gibier	380	-	380	380
	Coût total (saison 2013-2014)	6 080 €	-	20 140 €	26 220 €

Tableau 45 : Coûts spécifiques de la surveillance programmée et de la régulation en 2014 pour les DDCSPP des Pyrénées-Atlantiques et des Landes (niveau 3)
(Sources : convention locale ; Durand, 2015a)

Poste économique	Catégorie de coût	Exécutant	Réalisé en 2014 (et prévu par conventions locale)
Coordination départementale du dispositif	Animation	Personnel de l'administration ou délégataire	1 technicienne de la DDPP64 (0,8 ETP) mutualisée sur les deux départements au cours de l'année 2014, pour animer le réseau et reprendre une partie des missions de suivi des piégeages (calcul des indemnités...), initialement assurées par le personnel du LDA. Le montant conventionné avec le LDA agréé pour la charge en personnel sur la mission de suivi des piégeages était de 14 400 € pour 2014.
Réunions d'organisation de la surveillance et d'animation locale	Animation	Lieutenant de louveterie Technicien FDC	Total concernant le volet « Blaireaux » : 10 500 € (récapitulatif financier du coordonnateur régional) Total concernant le volet « Grand gibier » : 0 € (convention départementale)
Transmission par courrier d'informations et des résultats	Animation	DDPP FDC	Total concernant le volet « Blaireaux » : 200 € (envoi des cartes de localisation des terriers de blaireaux et du zonage) Total concernant le volet « Grand gibier » : 904 € (facture remboursée par la DDPP64 à la FDC64)
Matériel pour la capture des blaireaux et pour la réalisation des prélèvements sur le grand gibier	Collecte	DDPP FDC64 FDGDON des Landes	7 360 € pour 2014 (récapitulatif financier du coordonnateur régional) ⇒ Volet « Blaireau » : 6 642 € matériel pour le piégeage des blaireaux (15,2 € / blaireau) ⇒ Volet « Grand gibier » : 718 € (5,2 € / carcasse de grand gibier)
Prise en charge de l'adhésion de certains piégeurs agréés	Collecte	Piégeur	394 € (récapitulatif financier du coordonnateur régional)
Surveillance normale et piégeage des blaireaux en zone de régulation	Collecte	Piégeur	16 912 € (récapitulatif financier du coordonnateur régional) : indemnisation versée au <i>pro rata</i> du temps passé avec un plafond maximal de 45 minutes et de 3 déplacements par blaireau
Surveillance renforcée et piégeage en zone de régulation intensive	Collecte	Piégeur Lieutenant de louveterie	15 026 € (récapitulatif financier du coordonnateur régional)
Collecte, stockage et transport des blaireaux et des prélèvements sur le grand gibier au LDA	Collecte	Lieutenant de louveterie Laboratoire des Pyrénées et des Landes Technicien FDC	Total concernant le volet « Blaireaux » : 1 700 € : congélateurs (100 € / congélateur, 17 congélateurs) (convention départementale) [NB : Prélèvements et stockage au laboratoire des ganglions non analysés (gangliothèque – hors surveillance) : 5 880 €] Total concernant le volet « Grand gibier » : 0 € (les prélèvements sont stockés chez des vétérinaires locaux et amenés au laboratoire par la navette du laboratoire selon les tournées déjà existantes, il n'y a pas de facturation supplémentaire pour cette prestation)

Tableau 46 : Coût unitaire moyen estimé de la surveillance programmée et de la régulation dans les Pyrénées-Atlantiques et les Landes
(Convention locale ; Durand, 2015a)

	Animation		Collecte		Total
	Surveillance programmée	Régulation	Surveillance programmée	Régulation	
Blaireaux	Coût unitaire	58 €		93 €	151 € / Blaireau
	Nombre de blaireaux	293	143	293	436
	Coût total (2014)	16 994 €	8 294 €	27 249 €	65 836 € : ⇒ 44 243 € pour la surveillance ⇒ 21 593 € pour la régulation
Grand gibier	Coût unitaire	7 €		5 €	12 € / Grand Gibier
	Nombre de grand gibier	138	-	138	138
	Coût total (saison 2013-2014)	966 €	-	690 €	1656 €

Annexe 11. Résultats de sensibilité individuelle pour un animal infecté

Le **Tableau 47** présente les résultats de sensibilité individuelle, estimés en considérant qu'un animal est infecté (probabilité d'obtenir un résultat positif pour un animal infecté). Ces résultats ne considèrent donc que les nœuds de détection des arbres de scénarios et ne prennent pas en compte la probabilité qu'un animal soit infecté en fonction de l'espèce, de l'âge, et de la zone géographique (prévalences limites). Ils peuvent ainsi être utilisés dans d'autres zones géographiques caractérisées par des prévalences différentes.

Tableau 47 : Probabilité de détecter un animal sauvage infecté selon la composante de surveillance, le niveau de risque et l'espèce animale (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Age	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance événementielle par examen de carcasse				
Sanglier	Jeune	NF : 0,050 [0,010 ; 0,105] F : 0,127 [0,052 ; 0,217]	NF : 0,108 [0,029 ; 0,201] F : 0,187 [0,071 ; 0,343]	NF : 0,217 [0,012 ; 0,473] F : 0,329 [0,212 ; 0,478]
	Adulte	NF : 0,052 [0,011 ; 0,107] F : 0,131 [0,056 ; 0,210]	NF : 0,111 [0,031 ; 0,200] F : 0,193 [0,076 ; 0,339]	NF : 0,223 [0,012 ; 0,458] F : 0,339 [0,235 ; 0,459]
Cerf	Jeune	NF : 0,171 [0,052 ; 0,300] F : 0,422 [0,212 ; 0,590]	NF : 0,256 [0,013 ; 0,518] F : 0,467 [0,325 ; 0,612]	NF : 0,307 [0,015 ; 0,621] F : 0,580 [0,424 ; 0,721]
	Adulte	NF : 0,165 [0,050 ; 0,288] F : 0,406 [0,201 ; 0,578]	NF : 0,246 [0,013 ; 0,502] F : 0,449 [0,310 ; 0,591]	NF : 0,296 [0,015 ; 0,603] F : 0,558 [0,405 ; 0,701]
Chevreuil	Jeune	NF : 0,151 [0,043 ; 0,267] F : 0,342 [0,199 ; 0,480]	NF : 0,229 [0,010 ; 0,465] F : 0,332 [0,232 ; 0,471]	NF : 0,321 [0,199 ; 0,480] F : 0,523 [0,390 ; 0,645]
	Adulte	NF : 0,152 [0,043 ; 0,272] F : 0,345 [0,199 ; 0,491]	NF : 0,231 [0,011 ; 0,478] F : 0,335 [0,228 ; 0,478]	NF : 0,324 [0,197 ; 0,484] F : 0,529 [0,387 ; 0,668]
Surveillance événementielle et événementielle renforcée par le réseau Sagir				
Sanglier	Jeune	0,0067 [0,0006 ; 0,0191]	0,0248 [0,0051 ; 0,0601]	0,0574 [0,0106 ; 0,1378]
	Adulte	0,0045 [0,0004 ; 0,0131]	0,0601 [0,0036 ; 0,0413]	0,0530 [0,0100 ; 0,1305]
Cerf	Jeune	0,0070 [0,0006 ; 0,0213]	0,0477 [0,0084 ; 0,1202]	0,0811 [0,0259 ; 0,1690]
	Adulte	0,0074 [0,0007 ; 0,0228]	0,0631 [0,0061 ; 0,1736]	0,0811 [0,0229 ; 0,1804]
Chevreuil	Jeune	0,0060 [0,0014 ; 0,0140]	0,0060 [0,0014 ; 0,0140]	0,0060 [0,0014 ; 0,0140]
	Adulte	0,0061 [0,0013 ; 0,0141]	0,0061 [0,0013 ; 0,0141]	0,0061 [0,0013 ; 0,0141]
Blaireau	Jeune	0,0030 [0,0002 ; 0,0095]	0,0139 [0,0009 ; 0,0438]	0,0557 [0,0157 ; 0,1081]
	Adulte	0,0045 [0,0005 ; 0,0121]	0,0555 [0,0160 ; 0,1053]	0,0578 [0,0161 ; 0,1137]
Surveillance programmée				
Sanglier	Jeune	-	-	0,649 [0,613 ; 0,684]
	Adulte	-	-	0,659 [0,627 ; 0,691]
Cerf	Jeune	-	-	0,346 [0,283 ; 0,411]
	Adulte	-	-	0,370 [0,315 ; 0,425]
Blaireau	Jeune	-	0,589 [0,554 ; 0,625]	0,589 [0,554 ; 0,625]
	Adulte	-	0,599 [0,569 ; 0,629]	0,599 [0,569 ; 0,629]

NF : chasseur non formé à l'examen initial de la venaison

F : chasseur formé à l'examen initial de la venaison

- : sans objet (composante de surveillance non appliquée)

Annexe 12. Evaluation économique des composantes de surveillance du dispositif Sylvatub

1. Coûts des analyses de laboratoire, communs aux composantes de surveillance

Les coûts des analyses de laboratoire sont communs aux différentes composantes de surveillance du dispositif. Toutefois, ils varient selon plusieurs facteurs, notamment l'agrément du laboratoire de proximité, la présence ou non de lésions évocatrices de tuberculose détectées au LDA qui conditionne la réalisation d'une PCR, et les résultats des analyses réalisées au LDA (culture seule ou culture et PCR en parallèle) qui conditionnent l'envoi des prélèvements au LNR pour confirmation (Tableau 48).

Tableau 48 : Coûts unitaires des analyses de recherche de *M. bovis* (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

	LDA de proximité non agréé		LDA de proximité agréé	
	Pas de lésion (culture seule)	Lésions (culture et PCR en parallèle)	Pas de lésion (culture seule)	Lésions (culture et PCR en parallèle)
Coût des analyses réalisées au LDA	139,6 [123,9 ; 154,3]	201,0 [181,8 ; 224,8]	100,0 [85,0 ; 115,2]	163,0 [143,6 ; 186,8]
Coût total des analyses si des prélèvements sont envoyés au LNR pour confirmation	260,3 [207,9 ; 302,1]	321,5 [266,9 ; 367,7]	220,9 [169,0 ; 263,1]	283,5 [229,5 ; 329,8]

La probabilité de réaliser une culture seule ou une culture et une PCR en parallèle au LDA dépend de la probabilité que des lésions évocatrices de tuberculose soient détectées lors de l'autopsie. Afin de calculer un coût unitaire moyen probable des analyses réalisées au LDA, nous avons pondéré les coûts présentés dans le **Tableau 48** par la probabilité que des lésions évocatrices de tuberculose soient détectées au LDA, en fonction de l'espèce, de la classe d'âge et du statut infectieux de l'animal (**Tableau 49**).

Tableau 49 : Coût unitaire moyen probable des analyses réalisées au LDA, prenant en compte la probabilité de présence de lésions évocatrices de tuberculose selon l'espèce et le statut infectieux (pondérée par classe d'âge), par type d'agrément (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

		LDA de proximité non agréé	LDA de proximité agréé
Sanglier	Infecté	175,8 [162,2 ; 191,7]	137,2 [123,4 ; 153,2]
	Indemne	144,0 [129,4 ; 157,7]	104,7 [90,4 ; 118,9]
Cerf	Infecté	167,5 [154,4 ; 181,6]	128,6 [115,6 ; 143,2]
	Indemne	142,2 [127,2 ; 156,5]	102,8 [88,3 ; 117,4]
Chevreuil	Infecté	193,8 [176,6 ; 215,0]	155,6 [138,6 ; 176,7]
	Indemne	156,6 [143,5 ; 169,4]	117,7 [104,7 ; 130,8]
Blaireau	Infecté	164,8 [152,2 ; 178,5]	126,1 [113,3 ; 140,0]
	Indemne	141,6 [126,7 ; 155,9]	102,5 [88,1 ; 117,1]

Par ailleurs, tous les animaux ne sont pas envoyés au LNR : le coût total des analyses de laboratoire dépend donc de la probabilité d'obtention d'un résultat non négatif au LDA, qui dépend elle-même des analyses effectuées (culture seule ou culture et PCR en parallèle), des caractéristiques intrinsèques des tests (sensibilités et spécificités de la culture et de la PCR), et du statut infectieux de l'animal. Le **Tableau 50** présente ainsi les coûts unitaires probables des analyses de laboratoire (LDA et LNR), en fonction de l'espèce et du statut infectieux de l'animal, qui conditionnent la probabilité que l'animal présente des lésions évocatrices de tuberculose (et donc le type d'analyse réalisée au

LDA) et la probabilité d'obtention d'un résultat non négatif au LDA (et donc l'envoi et l'analyse d'échantillons au LNR).

Tableau 50 : Coût unitaire moyen probable des analyses diagnostiques de recherche de *M. bovis*, selon l'espèce et le statut infectieux, par type d'agrément, prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention d'un résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (culture seule ou PCR et culture) (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

		LDA de proximité non agréé	LDA de proximité agréé
Sanglier	Infecté	263,5 [224,5 ; 296,9]	224,9 [186,5 ; 257,5]
	Indemne	145,5 [131,0 ; 159,4]	106,3 [91,9 ; 120,4]
Cerf	Infecté	248,9 [211,9 ; 279,9]	210,0 [172,9 ; 241,2]
	Indemne	143,7 [128,5 ; 158,0]	104,3 [89,6 ; 119,0]
Chevreuil	Infecté	294,3 [248,0 ; 333,5]	256,1 [210,2 ; 295,8]
	Indemne	159,0 [145,8 ; 171,9]	120,0 [106,9 ; 133,2]
Blaireau	Infecté	244,3 [208,9 ; 274,5]	205,6 [170,7 ; 235,6]
	Indemne	143,1 [128,1 ; 157,4]	104,0 [89,5 ; 118,6]

Le statut infectieux des animaux dépend de l'espèce, de l'âge et du niveau de risque. Ainsi, au final, le coût unitaire moyen probable des analyses diagnostiques, prenant en compte la probabilité qu'un animal ait des lésions (et donc le type d'analyses réalisées au LDA) et la probabilité d'obtention de résultats non-négatifs au LDA (et donc l'envoi et l'analyse d'échantillons au LNR) a été estimé par espèce et niveau de risque départemental, en fonction de la probabilité d'infection fixée dans le modèle (prévalences limites) (**Tableau 51**).

Tableau 51 : Coût unitaire moyen probable des analyses diagnostiques de recherche de *M. bovis*, par niveau de risques et espèce (pondéré par classe d'âge et probabilités d'infections), par type d'agrément, prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention d'un résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (culture seule ou PCR et culture) (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

	Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3	
	LDA non agréé	LDA agréé	LDA non agréé	LDA agréé	LDA non agréé	LDA agréé
Sanglier	145,7 [131,2 ; 159,6]	106,2 [92,0 ; 120,8]	146,5 [132,0 ; 160,6]	107,3 [93,1 ; 121,6]	148,5 [134,1 ; 162,5]	109,2 [95,1 ; 123,6]
Cerf	143,7 [128,8 ; 158,0]	104,2 [89,8 ; 119,1]	143,9 [128,7 ; 158,3]	104,7 [90,0 ; 119,4]	144,2 [129,3 ; 158,5]	104,8 [90,1 ; 119,5]
Chevreuil	159,1 [146,0 ; 172,2]	120,3 [107,3 ; 133,1]	160,4 [147,2 ; 173,4]	121,5 [108,4 ; 134,9]	163,0 [149,8 ; 176,3]	124,2 [110,9 ; 137,4]
Blaireau	143,2 [128,5 ; 157,8]	103,9 [89,3 ; 118,7]	144,4 [129,3 ; 158,7]	105,1 [90,5 ; 119,8]	146,4 [131,6 ; 160,6]	107,1 [92,4 ; 121,8]

2. Coûts relatifs à la surveillance événementielle par examen de carcasse

Le coût unitaire moyen de l'animation pour la surveillance par examen de carcasse est de 207,8 € [191,8 ; 222,0] (animation par l'animateur national et la FNC). Le coût unitaire de la collecte n'est pas variable (100 € par animal). Il n'y a pas de variation des coûts d'animation, de collecte et d'analyse par espèce animale.

Le coût total unitaire correspond à la somme des coûts unitaires estimés pour chaque catégorie de coût (animation, collecte, analyses de laboratoire).

Le coût minimal d'un animal collecté par cette composante comprend le coût d'animation, le coût de collecte et le coût des analyses réalisées au LDA ; le coût maximum comprenant également le coût des analyses réalisées au LNR en cas de résultat non négatif obtenu au LDA (**Tableau 52**).

Tableau 52 : Coûts totaux unitaires minimum et maximum de la surveillance par examen de carcasse (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

	LDA de proximité non agréé	LDA de proximité agréé
Coût total si analyses au LDA seulement	508,5 [482,7 ; 537,1]	470,5 [444,2 ; 498,7]
Coût total si analyses au LDA puis au LNR	629,0 [571,4 ; 678,6]	591,0 [534,9 ; 640,7]

Toutefois, tous les animaux ne sont pas envoyés au LNR : le coût total unitaire probable (animation + collecte + analyses) dépend de la probabilité d'obtention de résultats non négatifs au LDA, variable selon les qualités des tests (culture, PCR), et le statut infectieux de l'animal (**Tableau 53**).

Tableau 53 : Coût total unitaire de la surveillance par examen de carcasse prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

	LDA de proximité non agréé	LDA de proximité agréé
Animal infecté	613,9 [561,7 ; 659,9]	576,0 [525,2 ; 621,8]
Animal indemne	513,5 [487,5 ; 542,0]	475,5 [449,0 ; 504,3]

Le **Tableau 54** présente le coût total unitaire probable par niveau de risque, en fonction du statut infectieux de l'animal, quel que soit l'agrément du laboratoire de proximité (ces coûts ont été obtenus par pondération des coûts présentés dans le **Tableau 53**, considérant qu'il y a en moyenne, respectivement dans les départements de niveau 1, 2, et 3, 10 %, 30 % et 40 % de LDA agréés (proportions valables pour la saison 2013-2014)).

Tableau 54 : Coût total unitaire probable de la surveillance par examen de carcasse prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux et la proportion estimée de LDA agréés par niveau de risque (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Animal infecté	610,1 [558,1 ; 656,1]	602,5 [550,8 ; 648,5]	598,7 [547,1 ; 644,7]
Animal indemne	509,7 [486,7 ; 538,2]	502,1 [476,0 ; 530,7]	498,3 [472,1 ; 526,9]

Le **Tableau 55** présente le coût total unitaire probable de la surveillance événementielle par examen de carcasse, prenant en compte la probabilité d'infection (prévalence limite) fixée dans chaque département, par espèce, classe d'âge et niveau de risque.

Tableau 55 : Coût total unitaire probable de la surveillance par examen de carcasse, selon l'espèce et la probabilité d'infection (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	510 [485 ; 536]	503 [480 ; 528]	501 [479 ; 524]
Cerf	510 [486 ; 537]	502 [478 ; 526]	499 [476 ; 522]
Chevreuil	510 [485 ; 537]	503 [481 ; 527]	502 [479 ; 525]

3. Coûts relatifs à la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir

Les coûts de collecte sont identiques quels que soient le niveau de risque et l'espèce (108,35 € / animal). Les coûts d'animation nationale varient selon le niveau de risque, mais faiblement. Ainsi, seuls les coûts pour les départements de niveau 3 seront présentés par soucis de simplification, les coûts de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans les départements de niveau 2 étant plus élevés d'environ 4 €. Les coûts des analyses de laboratoire dépendent du type d'analyse réalisée au LDA (culture seule ou culture et PCR en parallèle, selon la

présence ou non de lésions évocatrices, variable selon les espèces, les classes d'âge et le statut infectieux) et de réalisation ou non d'analyses au LNR (selon la probabilité d'obtention de résultats non négatifs aux analyses réalisées au LDA, en fonction du type d'analyse effectuée et de la sensibilité et de la spécificité des tests).

Le coût total unitaire est présenté dans le **Tableau 56**, selon le type d'analyses réalisées au LDA et/ou au LNR.

Tableau 56 : Coûts totaux unitaires minimum et maximum de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans un département de niveau 3 (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

	LDA de proximité non agréé		LDA de proximité agréé	
	Pas de lésion (culture seule)	Lésions (culture et PCR en parallèle)	Pas de lésion (culture seule)	Lésions (culture et PCR en parallèle)
Coût total si analyses au LDA seulement	256,7 [240,4 ; 272,4]	318,1 [298,2 ; 342,3]	217,7 [201,7 ; 233,7]	280,4 [260,4 ; 305,3]
Coût total si analyses au LDA puis au LNR	377,5 [326,5 ; 420,1]	438,9 [383,3 ; 485,3]	338,5 [287,9 ; 381,2]	401,2 [347,8 ; 447,9]

Le **Tableau 57** présente le coût total unitaire probable de la surveillance renforcée par le réseau Sagir, en fonction du type d'analyse réalisé au LDA (dépendant de la probabilité de lésions évocatrices de tuberculose, variable selon l'espèce, la classe d'âge et le statut infectieux), et de la probabilité de réalisation d'analyses au LNR (variable selon la probabilité d'obtention d'un résultat non-négatif au LDA, en fonction de la sensibilité et de la spécificité des tests).

Tableau 57 : Coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans un département de niveau 3, selon l'espèce et le statut infectieux (pondéré par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Statut infectieux	LDA de proximité non agréé	LDA de proximité agréé
Sanglier	Infecté	380,5 [341,0 ; 413,6]	342,3 [304,3 ; 375,9]
	Indemne	261,8 [246,5 ; 276,5]	222,9 [207,8 ; 237,9]
Cerf	Infecté	366,3 [329,0 ; 397,6]	327,6 [290,6 ; 358,9]
	Indemne	260,2 [244,6 ; 275,2]	220,9 [205,7 ; 236,3]
Blaireau	Infecté	361,8 [326,3 ; 392,0]	323,2 [287,5 ; 353,9]
	Indemne	259,7 [243,9 ; 275,0]	220,5 [205,0 ; 235,9]

Le coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir, par niveau de risque, en fonction du statut infectieux de l'animal et quel que soit l'agrément du LDA de proximité, est présenté dans le **Tableau 58**.

Tableau 58 : Coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux et la proportion estimée de LDA agréés par niveau de risque (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Statut infectieux	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	Infecté	369,0 [330,0 ; 402,3]	365,2 [326,3 ; 398,5]
	Indemne	250,1 [234,9 ; 264,9]	246,2 [231,0 ; 261,1]
Cerf	Infecté	354,7 [317,5 ; 386,0]	350,8 [313,6 ; 382,1]
	Indemne	248,4 [232,9 ; 264,0]	244,5 [229,0 ; 259,6]
Blaireau	Infecté	350,2 [314,7 ; 380,6]	346,4 [310,8 ; 376,8]
	Indemne	247,9 [232,2 ; 263,0]	244,0 [228,3 ; 259,4]

Le **Tableau 59** présente le coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir, prenant en compte la probabilité d'infection (prévalence limite) fixée dans les départements de niveau 2 et 3, par espèce et classe d'âge.

Tableau 59 : Coût total unitaire probable de la surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir dans les départements de niveau 2 et 3, selon l'espèce et la probabilité d'infection (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	256 [243 ; 269]	250 [239 ; 261]
Cerf	254 [241 ; 267]	246 [234 ; 258]
Blaireau	254 [241 ; 267]	248 [236 ; 260]

4. Coûts relatifs à la surveillance programmée

Les coûts d'animation et de collecte varient selon les niveaux de risque et les espèces concernées. Les coûts des analyses de laboratoire dépendent de la présence ou non de lésions sur les animaux, et donc de leur statut infectieux, de l'espèce et de la classe d'âge des animaux.

Le coût total unitaire est présenté dans le **Tableau 60**, selon le type d'analyses réalisées au LDA et/ou LNR. Pour les cerfs, les analyses de laboratoire ne sont réalisées que si des lésions sont détectées à l'autopsie au LDA.

Tableau 60 : Coûts totaux unitaires minimum et maximum de la surveillance programmée, par espèce et niveau de risque (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Niveau	LDA de proximité non agréé		LDA de proximité agréé		
		Pas de lésion ¹	Lésions ²	Pas de lésion ¹	Lésions ²	
Analyses au LDA seulement	Blaireau	Niveau 2	471,9 [441,0 ; 502,1]	533,2 [499,0 ; 569,1]	432,7 [401,5 ; 463,3]	495,4 [460,5 ; 531,2]
		Niveau 3	276,5 [242,3 ; 313,0]	337,8 [300,5 ; 378,9]	237,2 [203,2 ; 274,3]	300,0 [262,7 ; 340,2]
	Sanglier	Niveau 3	202,0 [178,2 ; 228,0]	263,1 [236,0 ; 294,1]	162,7 [139,1 ; 188,7]	225,4 [198,6 ; 256,9]
	Cerf	Niveau 3	99,6 [82,7 ; 121,0]	263,4 [236,7 ; 293,8]	99,6 [82,7 ; 121,0]	225,3 [198,7 ; 257,1]
Analyses au LDA et au LNR	Blaireau	Niveau 2	592,6 [534,4 ; 643,6]	653,9 [594,0 ; 708,4]	553,5 [496,8 ; 604,1]	616,2 [557,0 ; 669,5]
		Niveau 3	397,0 [336,2 ; 452,0]	458,4 [394,8 ; 516,6]	357,8 [296,9 ; 413,0]	420,5 [358,7 ; 478,6]
	Gibier	Niveau 3	322,9 [267,6 ; 371,1]	383,9 [326,5 ; 435,5]	283,5 [228,4 ; 331,5]	346,9 [288,9 ; 397,5]
	Cerf	Niveau 3	220,4 [167,9 ; 265,0]	384,2 [326,8 ; 435,6]	220,4 [167,9 ; 265,0]	346,2 [289,1 ; 396,7]

¹ Culture seule

² Culture et PCR réalisées en parallèle au LDA

Le **Tableau 61** présente le coût total unitaire probable de la surveillance programmée, en fonction du type d'analyse réalisé au LDA et de la probabilité de réalisation d'analyses au LNR.

Tableau 61 : Coût total unitaire moyen probable de la surveillance programmée, selon le niveau de risque, l'espèce et le statut infectieux (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Niveau	Espèce	Statut infectieux	LDA de proximité non agréé	LDA de proximité agréé
Niveau 2	Blaireau	Infecté	577,8 [534,1 ; 618,0]	539,2 [495,9 ; 579,8]
		Indemne	474,7 [443,8 ; 504,5]	435,5 [404,5 ; 465,9]
Niveau 3	Sanglier	Infecté	326,2 [283,2 ; 366,1]	287,9 [244,7 ; 327,2]
		Indemne	207,2 [184,4 ; 232,6]	168,0 [145,1 ; 193,2]
	Cerf	Infecté	225,0 [193,2 ; 258,7]	207,2 [176,4 ; 239,8]
		Indemne	106,8 [89,9 ; 127,5]	105,1 [88,3 ; 125,7]

Blaireau	Infecté	382,5 [335,4 ; 428,4]	343,6 [296,6 ; 390,2]
	Indemne	279,3 [246,0 ; 316,4]	240,0 [206,5 ; 277,2]

Le coût total unitaire probable de la surveillance programmée, par niveau de risque et espèce animale, en fonction du statut infectieux de l'animal, quel que soit l'agrément du LDA de proximité, est présenté dans le **Tableau 62**.

Tableau 62 : Coût total unitaire de la surveillance programmée prenant en compte la probabilité de réalisation des analyses au LNR, selon le statut infectieux et la proportion estimée de LDA agrées par niveau de risque (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Statut infectieux	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	Infecté	-	310,9 [267,8 ; 350,5]
	Indemne	-	191,5 [168,7 ; 216,8]
Cerf	Infecté	-	217,8 [186,7 ; 250,2]
	Indemne	-	106,1 [89,4 ; 126,9]
Blaireau	Infecté	566,2 [522,6 ; 607,0]	366,9 [319,9 ; 413,1]
	Indemne	462,9 [432,0 ; 492,9]	263,6 [230,2 ; 300,7]

Le **Tableau 63** présente le coût total unitaire probable de la surveillance programmée, prenant en compte la probabilité d'infection (prévalence limite) fixée dans le modèle.

Tableau 63 : Coût total unitaire probable de la surveillance programmée dans les départements de niveau 2 et 3, selon l'espèce et la probabilité d'infection (pondérée par classe d'âge), prenant en compte la probabilité de présenter des lésions et la probabilité d'obtention de résultat non-négatif au LDA en fonction des analyses réalisées (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Niveau 2	Niveau 3
Sanglier	-	196 [175 ; 219]
Cerf	-	107 [90 ; 128]
Blaireau	465 [436 ; 494]	269 [237 ; 303]

Le **Tableau 64** présente le récapitulatif des coûts totaux unitaires estimés par simulation de Monte Carlo pour chaque composante de surveillance, niveau de risque et espèce, en fonction du statut infectieux de l'animal.

Tableau 64 : Coûts totaux unitaires estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, par composante de surveillance, espèce, niveau de risque et statut infectieux (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Composante de surveillance	Espèce	Niveau de surveillance	Animal infecté	Animal indemne	Selon la prévalence limite
Surveillance par examen de carcasse	Grand gibier	Niveau 1	610 [560 ; 655]	510 [484 ; 538]	510 [485 ; 536]
		Niveau 2	603 [554 ; 645]	502 [476 ; 531]	503 [480 ; 528]
		Niveau 3	599 [550 ; 640]	498 [472 ; 527]	501 [479 ; 524]
Surveillance renforcée par le réseau Sagir	Blaireau	Niveau 2	354 [318 ; 384]	248 [232 ; 263]	254 [241 ; 267]
		Niveau 3	346 [312 ; 375]	244 [228 ; 259]	248 [236 ; 260]
	Sanglier	Niveau 2	374 [336 ; 405]	250 [235 ; 265]	256 [243 ; 269]
		Niveau 3	365 [327 ; 396]	246 [231 ; 261]	250 [239 ; 261]
	Cerf	Niveau 2	359 [323 ; 389]	248 [233 ; 264]	254 [241 ; 267]
		Niveau 3	351 [315 ; 380]	244 [229 ; 260]	246 [234 ; 258]
Surveillance programmée	Blaireau	Niveau 2	566 [521 ; 606]	463 [432 ; 493]	465 [436 ; 494]
		Niveau 3	367 [322 ; 411]	264 [230 ; 301]	269 [237 ; 303]
	Sanglier	Niveau 3	311 [269 ; 348]	192 [169 ; 217]	196 [175 ; 219]
	Cerf	Niveau 3	218 [187 ; 250]	106 [89 ; 127]	107 [90 ; 128]

Annexe 13. Estimation des coûts réels et attendus du dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et pour l'année 2014 (blaireaux)

Le **Tableau 65** présente les coûts réels et attendus estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub, pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et pour l'année civile 2014 (blaireaux), par composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale, pour l'ensemble des départements d'un même niveau de risque.

Tableau 65 : Comparaison des coûts réels et des coûts attendus estimés de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour la saison cynégétique 2013-2014 (grands gibiers) et l'année 2014 (blaireaux), par composante, niveau de risque et espèce (en euros) (moyenne [IC_{95%}])

Espèce	Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3		Total	
	Coûts réels	Coûts attendus	Coûts réels	Coûts attendus	Coûts réels	Coûts attendus	Coûts réels	Coûts attendus
Surveillance événementielle par examen de carcasse								
Sanglier	2 034 [1 931 ; 2 148]	2 044 [1 926 ; 2 165]	4 780 [4 483 ; 5 079]	9 557 [9 010 ; 10 144]	2 663 [2 502 ; 2827]	4 491 [4 235 ; 4 772]	9 477 [8 916 ; 10 054]	16 092 [15 171 ; 17 081]
Cerf	1 526 [1 448 ; 1 611]	2 044 [1 926 ; 2 165]	0	503 [474,2 ; 533,9]	1 450 [1 371 ; 1 535]	1 996 [1 882 ; 2 121]	2 975 [2 819 ; 3 146]	4 543 [4 282 ; 4 820]
Chevreuil	1 017 [965 ; 1 074]	1 022 [963 ; 1083]	1 526 [1 448 ; 1 611]	2 515 [2 371 ; 2670]	2 549 [2 387 ; 2 712]	3 493 [3 294 ; 3 711]	5 092 [4 800 ; 5 397]	7 030 [6 628 ; 7 464]
	4 577 [4 344 ; 4 834]	5 110 [4 814 ; 5 413]	6 305 [5 931 ; 6 690]	12 575 [11 855 ; 13 348]	6 662 [6 260 ; 7 073]	9 980 [9 412 ; 10 604]	17 543 [16 536 ; 18 597]	27 655 [26 081 ; 29 365]
Surveillance événementielle renforcée par le réseau Sagir								
Sanglier	-	-	1 969 [1 813 ; 2 118]	2 306 [721 ; 4 076]	1 486 [1 385 ; 1 590]	3 503 [1 411 ; 5 300]	3 455 [3 198 ; 3 708]	5 809 [2 131 ; 9 376]
Cerf	-	-	0	2 389 [474 ; 4 041]	910 [846 ; 973]	3 442 [1 383 ; 5 221]	910 [846 ; 973]	5 832 [1 857 ; 9 262]
Blaireau	-	-	16 625 [15 412 ; 17 800]	18 282 [4 757 ; 32 346]	71 010 [65 884 ; 75 878]	27 789 [11 167 ; 42 141]	87 635 [81 296 ; 93 677]	46 071 [15 924 ; 74 487]
	-	-	18 594 [17 225 ; 19 918]	22 978 [5 951 ; 40 462]	73 406 [68 115 ; 78 441]	34 734 [13 961 ; 52 663]	92 000 [85 340 ; 98 358]	57 711 [19 913 ; 93 125]
Surveillance programmée								
Sanglier	-	-	-	-	262 706 [224 078 ; 302 203]	176 400 [157 500 ; 197 100]	262 706 [224 078 ; 302 203]	176 400 [157 500 ; 197 100]
Cerf	-	-	-	-	31 715 [27 100 ; 36 639]	57 780 [48 600 ; 69 120]	31 715 [27 100 ; 36 639]	57 780 [48 600 ; 69 120]
Blaireau	-	-	97 046 [90 462 ; 103 460]	111 600 [104 640 ; 118 560]	550 306 [474 417 ; 631 146]	295 900 [260 700 ; 333 300]	647 351 [564 878 ; 734 606]	406 639 [362 490 ; 454 514]
			97 046 [90 462 ; 103 460]	111 600 [104 640 ; 118 560]	844 727 [725 595 ; 969 988]	530 080 [466 800 ; 599 520]	941 772 [816 057 ; 1 073 448]	640 819 [568 590 ; 720 734]
	4 577 [4 344 ; 4 834]	5 110 [4 814 ; 5 413]	121 945 [113 618 ; 130 068]	147 194 [122 016 ; 172 648]	924 795 [799 970 ; 1 055 502]	574 794 [490 173 ; 662 787]	1 051 315 [917 933 ; 1 190 403]	726 185 [614 584 ; 843 224]

Les coûts attendus moyens pour l'ensemble des départements d'un même niveau de risque ont été calculés à partir des moyennes des nombres d'animaux collectés pour chaque composante de surveillance pour la saison 2013-2014 et l'année civile 2014. Ainsi, d'après les coûts attendus moyens estimés, la surveillance par examen de carcasse représente environ 4 % du coût total de la surveillance par le dispositif Sylvatub, la surveillance renforcée par le réseau Sagir 8 % et la surveillance programmée 88 %.

La surveillance dans les départements de niveau 1 représente à peine 1 % du coût total de la surveillance par le dispositif Sylvatub, la surveillance dans les départements de niveau 2 en représente 20 % et enfin la surveillance dans les départements de niveau 3 environ 79 %.

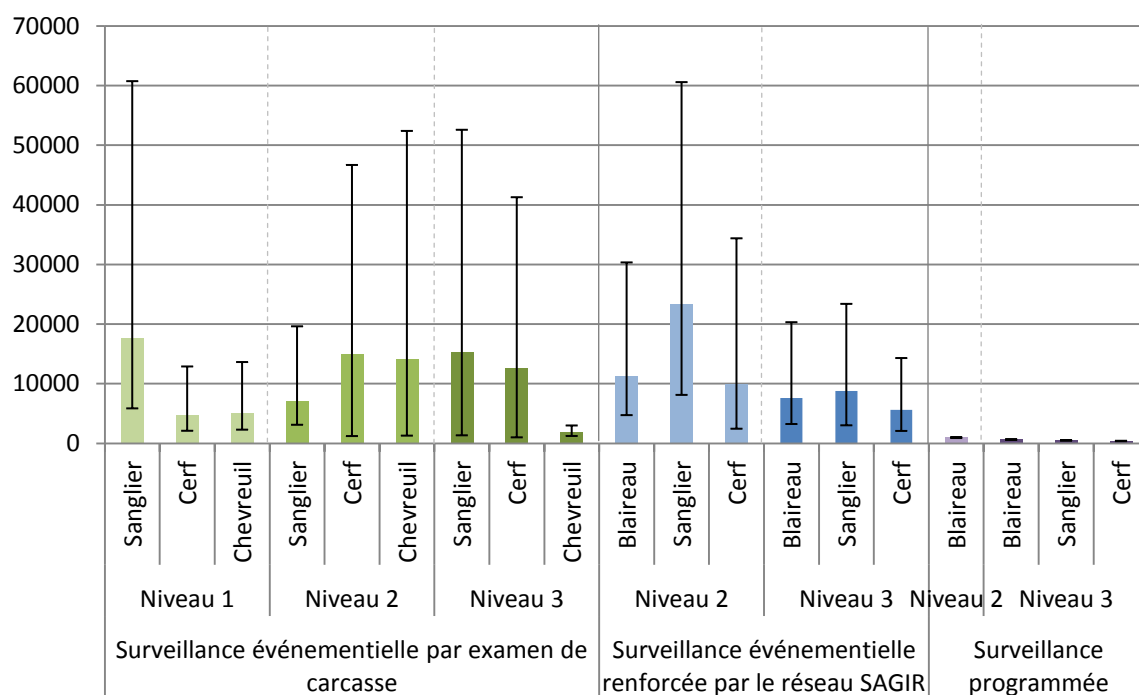
Enfin, la surveillance effectuée sur les blaireaux représente près de 62 % du coût total de la surveillance, tandis que la surveillance des sangliers représente environ 27 %. La surveillance des cerfs représente environ 9 %, tandis que le coût de la surveillance des chevreuils représente simplement 1 % du coût total, ce qui peut être expliqué par le fait que cette espèce n'est concernée que par une seule composante de surveillance (surveillance événementielle par examen de carcasse).

Annexe 14. Evaluation coût-efficacité de la surveillance par le dispositif Sylvatub

Les résultats du ratio coût-efficacité pour un animal infecté présentés dans le manuscrit (**Figure 24**) ont été calculés à partir de la proportion moyenne de chasseurs formés dans les départements (environ 5 %). Ces résultats tendent à montrer que la surveillance par examen de carcasse est plus efficace que la surveillance par le réseau Sagir, quel que soit le niveau de risque du département et l'espèce animale.

Toutefois, ces résultats sont à nuancer lorsque la surveillance est réalisée par un chasseur non formé à l'examen initial de la venaison (**Figure 31**). En effet, dans ce cas, on peut remarquer que la surveillance renforcée par le réseau Sagir devient alors en moyenne plus coût-efficace que la surveillance par examen de carcasse pour les sangliers dans les départements de niveau 3 et pour les cerfs dans les départements de niveau 2 et 3.

Figure 31 : Ratio coût-efficacité* de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un animal infecté et pour un chasseur non formé à l'examen initial de la venaison, par composante, niveau de risque et espèce animale (moyenne [IC_{95%}])



* Plus la valeur du ratio est faible, meilleur est le rapport coût-efficacité de l'activité de surveillance.

Toutefois, ces résultats détaillés soulèvent également des questions, puisqu'il semblerait alors que la surveillance par examen de carcasse soit plus coût-efficace dans les départements de niveau 2 que dans les départements de niveau 3 pour les sangliers ; dans les départements de niveau 1 par rapport aux départements de niveau 2 et 3 pour les cerfs ; et dans les départements de niveau 1 par rapport aux départements de niveau 2 pour les chevreuils, ce qui est assez interpellant.

Ces résultats semblent cependant dus à l'effet de valeurs extrêmes sur la moyenne du ratio coût-efficacité, car ce profil n'est pas retrouvé lors de l'étude de la médiane du ratio coût-efficacité (**Tableau 66**), qui semble montrer que la surveillance est plus coût-efficace dans les départements de plus haut niveau de risque, ce qui paraît plus logique.

Tableau 66 : Ratio coût-efficacité médian de la surveillance par le dispositif Sylvatub pour un animal infecté, par composante de surveillance, niveau de risque et espèce animale

Espèce	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance par examen de carcasse			
Sanglier	NF : 12 386	NF : 5 500	NF : 2 7072
	F : 4 744	F : 3 222	F : 1 793
Cerf	NF : 3 718	NF : 2 464	NF : 2 046
	F : 1 472	F : 1 336	F : 1 061
Chevreuil	NF : 4 012	NF : 2 629	NF : 1 876
	F : 1 760	F : 1 844	F : 1 133
Surveillance renforcée par le réseau SAGIR			
Sanglier	-	19 574	7 287
Cerf	-	7 064	4 725
Blaireau	-	9 302	6 271
Surveillance programmée			
Sanglier	-	-	477
Cerf	-	-	357
Blaireau	-	952	617

NF : chasseur non formé à l'examen initial de la venaison

F : chasseur formé à l'examen initial de la venaison

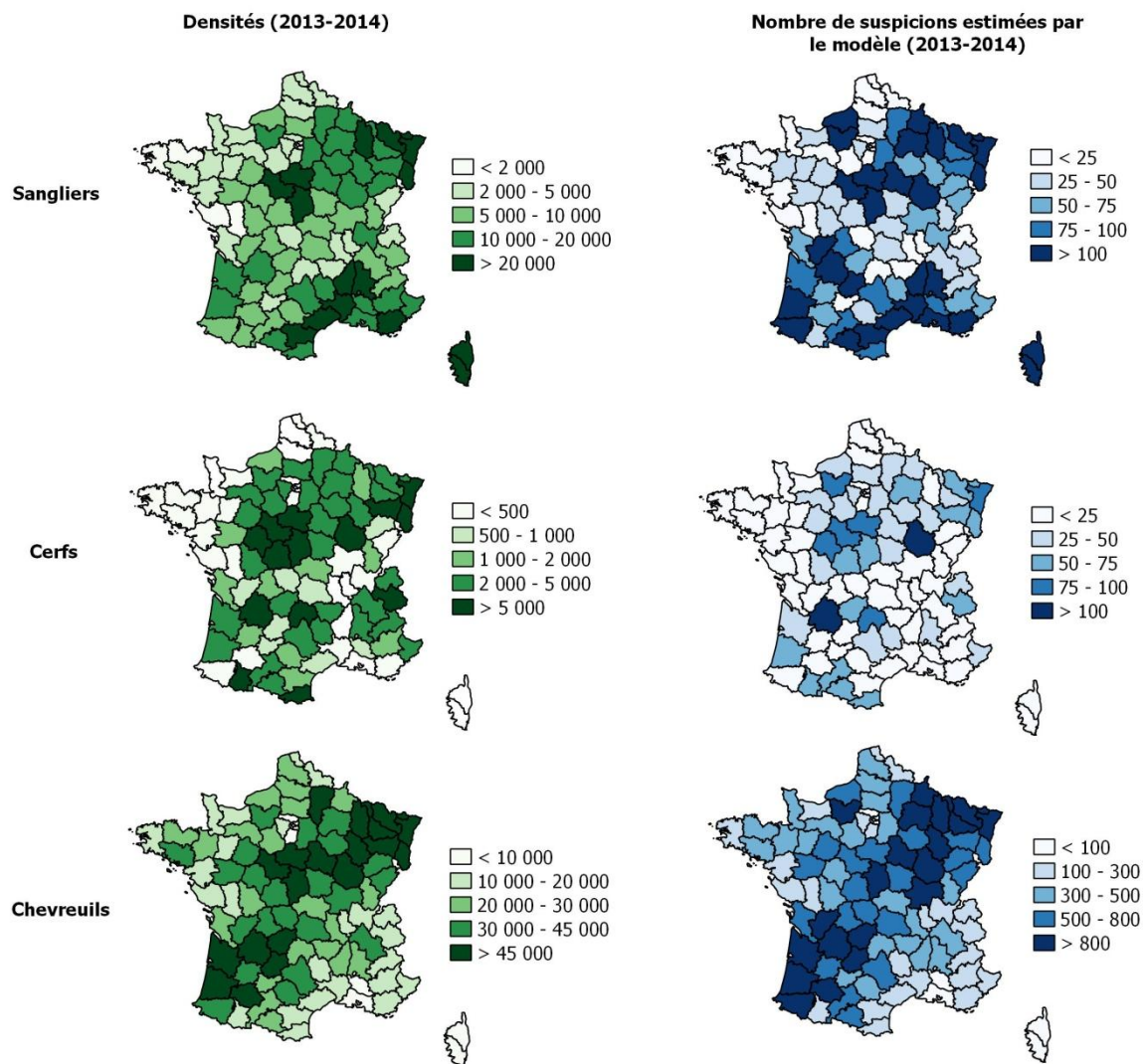
- : sans objet (la composante de surveillance n'est pas appliquée)

* Plus la valeur du ratio est faible, meilleur est le rapport coût-efficacité de l'activité de surveillance.

Annexe 15. Comparaison du nombre attendu estimé et du nombre réel d'animaux collectés par surveillance événementielle

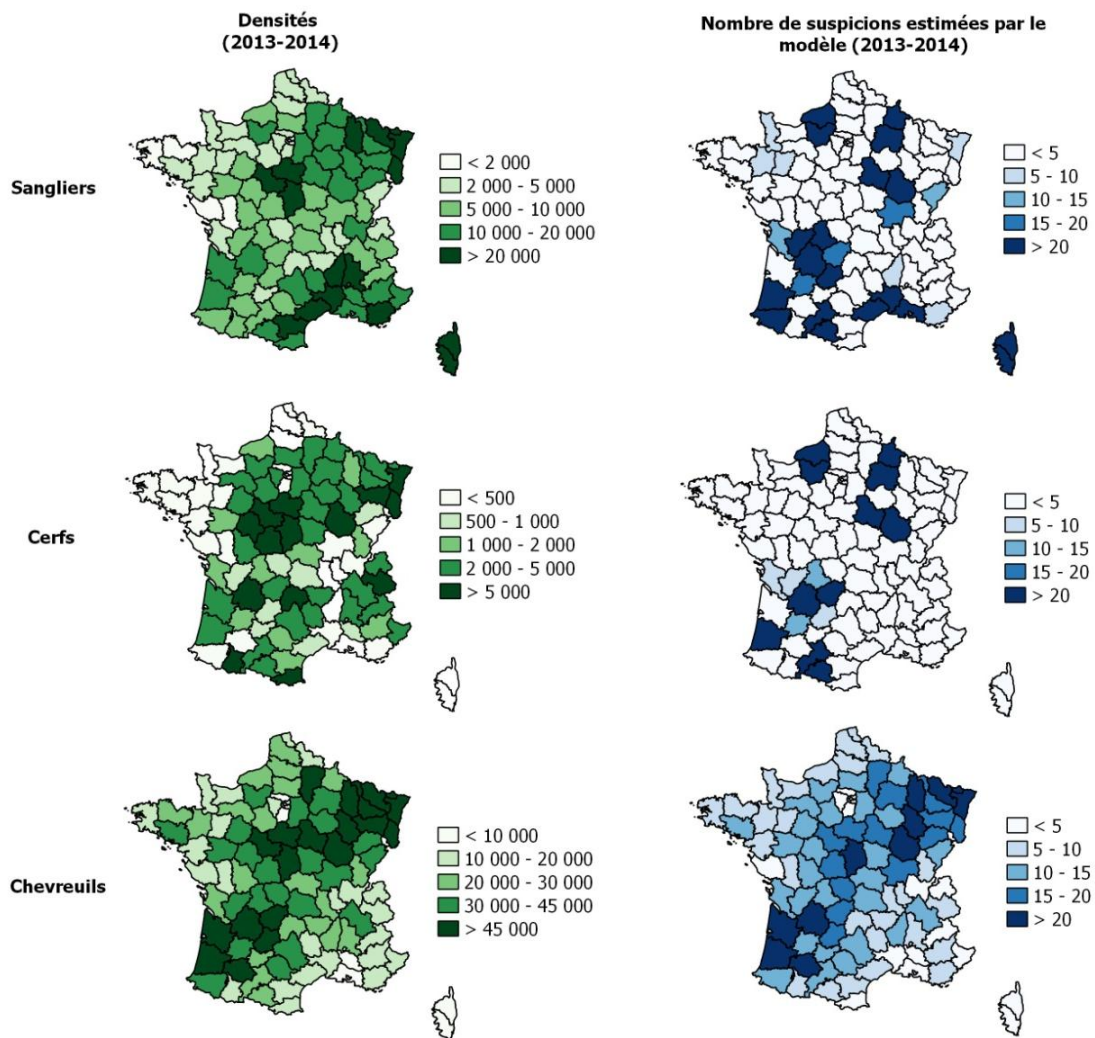
La **Figure 32** présente le nombre attendu moyen de suspicions pour la surveillance par examen de carcasse, par département, d'après notre modèle.

Figure 32 : Nombre attendu moyen de suspicions par examen de carcasse estimé par notre modèle en 2013-2014, selon l'espèce, la densité, la proportion de chasseurs formés par département et le niveau de risque



Le nombre attendu moyen d'animaux devant être collectés par le réseau Sagir (fonctionnement classique et renforcé) estimé d'après notre modèle est présenté sur la **Figure 33**.

Figure 33 : Nombre attendu moyen d'animaux devant être collectés par le réseau Sagir estimé par notre modèle en 2013-2014, selon l'espèce, la densité et le niveau de risque



Annexe 16. Probabilité de collecter des animaux indemnes par les différentes composantes du dispositif Sylvatub

Le modèle par arbre de scénarios a permis d'estimer la probabilité qu'un animal indemne soit collecté par chacune des composantes de surveillance du dispositif. Le **Tableau 67** présente la probabilité de détecter et de collecter pour analyse un animal sauvage indemne, selon la composante de surveillance (animal tué à la chasse, mort ou mourant ou échantillonné), l'espèce, la classe d'âge et le niveau de risque du département (ainsi que la formation du chasseur pour la surveillance par examen de carcasse). Pour la surveillance événementielle par le réseau Sagir, ces probabilités sont identiques à celles d'un animal infecté car les probabilités de détection et de collecte des animaux sont indépendantes du statut infectieux. Toutefois, la probabilité que des analyses de laboratoire soient réalisées dans le fonctionnement classique du réseau Sagir dépend de la probabilité que l'animal présente des lésions évocatrices de tuberculose, non présenté ici.

Tableau 67 : Probabilité de détecter et collecter un animal sauvage indemne selon la composante de surveillance, le niveau de risque, et l'espèce animale (moyenne [IC95%])

Espèce	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance événementielle par examen de carcasse			
Sanglier	NF : 0,010 [0,002 ; 0,025]	NF : 0,022 [0,005 ; 0,050]	NF : 0,044 [0,002 ; 0,114]
	F : 0,026 [0,009 ; 0,053]	F : 0,039 [0,012 ; 0,083]	F : 0,067 [0,031 ; 0,122]
Cerf	NF : 0,015 [0,002 ; 0,040]	NF : 0,023 [0,001 ; 0,068]	NF : 0,082 [0,001 ; 0,091]
	F : 0,038 [0,008 ; 0,085]	F : 0,043 [0,009 ; 0,092]	F : 0,111 [0,012 ; 0,125]
Chevreuil	NF : 0,025 [0,005 ; 0,055]	NF : 0,095 [0,002 ; 0,099]	NF : 0,053 [0,019 ; 0,099]
	F : 0,104 [0,019 ; 0,109]	F : 0,055 [0,021 ; 0,098]	F : 0,087 [0,033 ; 0,144]
Surveillance événementielle par le réseau SAGIR			
Sanglier	0,013 [0,002 ; 0,033]	0,033 [0,009 ; 0,072]	0,084 [0,023 ; 0,190]
Cerf	0,020 [0,004 ; 0,051]	0,090 [0,020 ; 0,211]	0,132 [0,044 ; 0,266]
Chevreuil	0,020 [0,003 ; 0,018]	-	-
Blaireau	0,011 [0,002 ; 0,028]	0,056 [0,016 ; 0,110]	0,094 [0,028 ; 0,176]

Le **Tableau 68** présente la probabilité qu'un animal sauvage soit indemne et collecté pour analyse, en fonction de la couverture de population de chacune des composantes de surveillance (probabilité d'être tué à la chasse, probabilité d'être mort ou mourant).

Tableau 68 : Probabilité qu'un animal sauvage soit indemne et collecté pour analyse, selon la couverture de population de chaque composante, l'espèce et le niveau de risque (moyenne [IC95%])

Espèce	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Surveillance événementielle par examen de carcasse			
Sanglier	NF : 0,0049 [0,0009 ; 0,0117]	NF : 0,0104 [0,0024 ; 0,0233]	NF : 0,0204 [0,0008 ; 0,0528]
	F : 0,0119 [0,0040 ; 0,0250]	F : 0,0178 [0,0055 ; 0,0386]	F : 0,0308 [0,0140 ; 0,0563]
Cerf	NF : 0,0089 [0,0013 ; 0,0223]	NF : 0,0132 [0,0004 ; 0,0403]	NF : 0,0157 [0,0006 ; 0,0477]
	F : 0,0219 [0,0043 ; 0,0498]	F : 0,0242 [0,0055 ; 0,0526]	F : 0,0299 [0,0063 ; 0,0628]
Chevreuil	NF : 0,0143 [0,0030 ; 0,0310]	NF : 0,0213 [0,0010 ; 0,0551]	NF : 0,0302 [0,0106 ; 0,0564]
	F : 0,0324 [0,0110 ; 0,0591]	F : 0,0313 [0,0114 ; 0,0559]	F : 0,0489 [0,0185 ; 0,0822]
Surveillance événementielle par le réseau SAGIR			
Sanglier	0,00016 [0,00003 ; 0,00041]	0,00287 [0,00076 ; 0,00661]	0,00722 [0,00189 ; 0,01659]
Cerf	0,00013 [0,00004 ; 0,00035]	0,00833 [0,00177 ; 0,02013]	0,01221 [0,00374 ; 0,02616]
Chevreuil	0,00038 [0,00011 ; 0,00082]	-	-
Blaireau	0,00011 [0,00002 ; 0,00026]	0,00894 [0,00247 ; 0,01839]	0,01459 [0,00420 ; 0,02896]

Annexe 17. Acteurs enquêtés par entretien semi-directifs dans le cadre de l'analyse du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub

Au total, 20 entretiens ont été réalisés. Le **Tableau 69** présente les caractéristiques principales des personnes enquêtées, certains représentant parfois plusieurs catégories d'acteurs.

Tableau 69 : Caractéristiques principales des personnes enquêtées dans le cadre de l'analyse du réseau d'acteurs du dispositif Sylvatub (Durand, 2015b)

	Collecteur		Animateur		DDecPP	ONCFS	Autre
	Chasseur	Piégeur	FDC	LL*			
Gers (32) – Niveau 1 : 2 entretiens							
Acteur 1	X		X (Administrateur)				
Acteur 2	X	X					
Haute-Garonne (31) – Niveau 2 : 3 entretiens							
Acteur 3						X	
Acteur 4	X		X				
Acteur 5					X		
Landes (40) – Niveau 3 : 7 entretiens							
Acteur 6	X			X			
Acteur 7							Responsable FDGON
Acteur 8	X	X					
Acteur 9	X	X					
Acteur 10	X		X (Technicien)				
Acteur 11					X		
Acteur 12						X	
Pyrénées-Atlantiques (64) – Niveau 3 : 8 entretiens							
Acteur 13		X					Président association piégeurs
Acteur 14	X		X (Administrateur)				
Acteur 15	X			X			
Acteur 16	X	X		X			
Acteur 17	X						Président société de chasse
Acteur 18	X	X		X			
Acteur 19	X						
Acteur 20					X		

*Lieutenant de louveterie

La catégorie des chasseurs est la plus représentée car les piégeurs agréés et les lieutenants de louveterie rencontrés étaient également chasseurs. Cela a permis d'aborder lors d'un même entretien différents aspects en même temps et donc de rationaliser le temps dédié à l'enquête.

Les piégeurs agréés régularisent les espèces animales invasives et nuisibles du département, comme les ragondins, les renards, etc. Ils protègent et participent à la gestion de la faune sauvage, en intervenant à la demande des particuliers, des associations de chasse ou des agriculteurs.

Les lieutenants de louveterie sont nommés par le préfet et coucourent sous son autorité à la régulation et à la destruction des animaux susceptibles d'occasionner des dégâts. Ils sont assermentés et ont qualité pour constater, dans les limites de la circonscription qui leur est fixée, les infractions à la police de la chasse. Ils sont les conseillers techniques de l'administration, sur les problèmes posés par la gestion de la faune sauvage ; les chasses et battues administratives sont organisées sous leur contrôle et sous leur responsabilité technique. Leurs fonctions, exercées dans l'intérêt général, sont bénévoles.

Les agents de l'ONCFS devant obtenir au préalable une autorisation de leur responsable hiérarchique, cette catégorie d'acteurs a été plus difficile à rencontrer.

Titre : Evaluation du dispositif de surveillance de la tuberculose bovine dans la faune sauvage en France à l'aide de méthodes épidémiologique, économique et sociologique

Mots clés : tuberculose bovine, faune sauvage, surveillance épidémiologique, évaluation coût-efficacité, arbres de scénarios, Oasis

Résumé : Les maladies animales émergentes, les maladies zoonotiques et le développement du commerce international ont conduit à une augmentation des besoins en systèmes de surveillance en santé animale performants. Toutefois, le contexte économique actuel conduit à des restrictions budgétaires importantes, induisant une diminution des ressources allouées à la surveillance. Dans ce contexte, l'évaluation régulière des dispositifs de surveillance, sur lesquels sont fondées les décisions sanitaires, est indispensable afin de vérifier leur bon fonctionnement, la qualité des données collectées, et permettre leur amélioration.

Notre travail a porté sur l'évaluation d'un dispositif de surveillance complexe, Sylvatub, le dispositif de surveillance de l'infection à *Mycobacterium bovis* dans la faune sauvage, constitué de plusieurs composantes de surveillance et ciblant plusieurs espèces sauvages. Nous avons appliqué quatre méthodes d'évaluation : (1) une méthode quantitative d'estimation de la sensibilité de la surveillance par arbres de scénarios, (2) une méthode quantitative d'estimation des coûts de la

surveillance, permettant le calcul d'un ratio coût-efficacité, (3) une méthode semi-quantitative permettant l'étude du fonctionnement général du dispositif et (4) une méthode qualitative permettant d'investiguer l'acceptabilité de la surveillance. Ces travaux ont permis d'évaluer le dispositif Sylvatub dans son contexte environnemental et économique, en intégrant des facteurs comportementaux et sociaux, et ont permis la formulation de recommandations pour l'évolution du dispositif et son amélioration.

Ces travaux ont également permis de souligner les avantages méthodologiques et opérationnels de l'utilisation complémentaire de plusieurs méthodes pour l'évaluation de dispositifs de surveillance complexes et proposent des perspectives méthodologiques pour favoriser l'intégration des méthodes d'évaluation. L'évaluation du dispositif Sylvatub devra être poursuivie et complétée par celle du dispositif de surveillance en élevage bovin afin d'étudier les interconnexions entre les populations domestiques et sauvages dans ce système multi-hôtes particulier.

Title : Evaluation of the bovine tuberculosis surveillance system in wildlife in France using epidemiological, economical and sociological methods

Key-Words: Bovine tuberculosis, wildlife, epidemiological surveillance, cost-effectiveness evaluation, scenario tree, Oasis

Abstract: Emerging animal diseases, zoonotic diseases and the development of international trade have led to an increase in the need for efficient animal health surveillance systems. However, the current economic environment led to significant budget cuts, resulting in a reallocation of resources dedicated to surveillance. In this context, regular evaluation of surveillance systems, on which are based the health decisions, is essential to ensure their operation, the quality of the collected data and to allow their improvement.

This study focused on the evaluation of a complex surveillance system, the Sylvatub network for the surveillance of *Mycobacterium bovis* infection in wildlife, which consists of several surveillance components focusing on several wild species. We have used four evaluation methods: (i) a quantitative method to estimate the surveillance sensitivity by scenario trees modelling, (ii) a quantitative method to estimate the surveillance costs, enabling the estimation of a

cost-effectiveness ratio, (iii) a semi-quantitative method to estimate the global operation of the system, and (iv) a qualitative method to investigate the acceptability of the surveillance. This study allowed to assess the Sylvatub network in its environmental and economical context, with the integration of behavioral and social factors; and allowed the development of recommendations for the evolution of the surveillance system and its improvement.

This study has highlighted the methodological and operational advantages of the complementary use of several methods for the evaluation of complex surveillance systems. It provides methodological perspectives to support the integration of evaluation methods. The assessment of the Sylvatub system should be deepened and complemented by the evaluation of the surveillance system in cattle to explore interconnections between domestic and wild populations in this particular multi-host system.