

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Tuberculose bovine et faune sauvage

Rapport

Avril 2011

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Tuberculose bovine et faune sauvage

Rapport

Avril 2011

Édition scientifique

Tuberculose bovine et faune sauvage

- Avril 2011 -

■ **Coordination éditoriale**
Mme Catherine COLLIGNON

■ **Secrétariat administratif**
Mme Sheila GROS-DESIRS

Composition du groupe de travail « Tuberculose bovine et faune sauvage »

Domaines de compétence des experts

■ Présidente du groupe de travail

Mme Barbara DUFOUR

Professeur de maladies contagieuses
Ecole nationale vétérinaire d'Alfort
Epidémiologie, maladies contagieuses

■ Membres du groupe de travail

M. Jean-Jacques BENET

Professeur de maladies contagieuses
Ecole nationale vétérinaire d'Alfort
Epidémiologie, maladies contagieuses

Mme Maria-Laura BOSCHIROLI

Responsable du LNR Tuberculose
Anses, laboratoire de santé animale de Maisons-Alfort
Microbiologie, diagnostic

M. Jean-Pierre GANIERE

Professeur de maladies contagieuses
Ecole nationale vétérinaire de Nantes (ONIRIS)
Maladies contagieuses, législation vétérinaire, microbiologie

M. Bruno GARIN-BASTUJI

Responsable de l'unité zoonoses bactériennes
Anses, laboratoire de santé animale de Maisons-Alfort
Microbiologie, diagnostic

M. Jean HARS

Chef de l'équipe maladies transmissibles
Office national de la chasse et de la faune sauvage/ Direction Etudes et Recherche/ Unité sanitaire de la faune
Faune sauvage, épidémiologie des maladies transmissibles

Mme Sandrine LESELLIER

« Veterinarian researcher »
Responsable du management des projets d'étude d'efficacité du BCG chez le blaireau
Veterinary Laboratories Agency (VLA)
Faune sauvage, vaccination et réponses immunitaires associées

M. Yves MILLEMANN

Maître de Conférences en pathologie du bétail
Ecole nationale vétérinaire d'Alfort
Pathologie des ruminants, bactériologie

M. François MOUTOU

Responsable de l'unité d'épidémiologie animale
Anses, laboratoire de santé animale de Maisons-Alfort
Epidémiologie générale, faune sauvage, zoonoses

Mme Ariane PAYNE

Chargée d'études
Office national de la chasse et de la faune sauvage
Direction Etudes et Recherche. Unité sanitaire de la faune
Faune sauvage

Mme Céline RICHOMME

Vétérinaire épidémiologiste
Anses, laboratoire de la rage et de la faune sauvage de Nancy
Faune sauvage, épidémiologie

Mme Sandrine RUETTE

Chef de projet petits carnivores
Office national de la chasse et de la faune sauvage
Direction Etudes et Recherche. CNERA (Centre national d'études et de recherche appliquée) prédateurs
Carnivores sauvages, épidémiologie

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

Mme Edith AUTHIE

Responsable d'unité
Unité d'évaluation des risques liés à l'alimentation et à la santé animales
Direction de l'évaluation des risques, Anses, Maisons-Alfort

Mme Julie CHIRON

Chargée de projet scientifique
Unité d'évaluation des risques liés à l'alimentation et à la santé animales
Direction de l'évaluation des risques, Anses, Maisons-Alfort

Mme Catherine COLLIGNON

Coordinatrice du groupe de travail « *Tuberculose bovine dans la faune sauvage* »
Unité d'évaluation des risques liés à l'alimentation et à la santé animales
Direction de l'évaluation des risques, Anses, Maisons-Alfort

Mme Sheila GROS-DESIRS

Secrétariat administratif
Unité d'évaluation des risques liés à l'alimentation et à la santé animales
Anses, Direction de l'évaluation des risques, Maisons-Alfort

Mme Anne Marie HATTENBERGER

Chargée de mission pour les questions de santé animale
Direction de l'évaluation des risques, Anses, Maisons-Alfort

M. Philippe VANNIER

Adjoint au directeur de l'évaluation des risques
Directeur de la santé et du bien-être des animaux
Anses, Maisons-Alfort

Relecteurs

Domaines de compétence des experts

Mme Jaqueline VIALARD

Directrice

Anses, Laboratoire de Niort

Microbiologie, épidémiologie, diagnostic des maladies animales

Mme Anouk DECORS

Ingénieur chargé d'études et de recherche

Office national de la chasse et de la faune sauvage

Direction Etudes et Recherche. Réseau SAGIR

Faune sauvage, maladies transmissibles

Audition de personnalités extérieures

Mme Margaret GOOD

Vétérinaire inspecteur, chef du programme de lutte contre la tuberculose en Irlande,
Ministère de l'Agriculture irlandais

M. James O'KEEFFE

Chef du département irlandais de l'Agriculture, de la Pêche et de l'unité faune sauvage,
en charge du contrôle et de l'éradication de la tuberculose

Sommaire

Composition du groupe de travail « Tuberculose bovine et faune sauvage »	3
Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail	4
Relecteurs	5
Audition de personnalités extérieures	5
Glossaire et abréviations	9
Liste des figures	10
Liste des tableaux	11
Introduction	12
Première partie : contexte – situation épidémiologique	13
1. Tuberculose à <i>M. bovis</i> dans la faune sauvage dans le monde (hors Grande-Bretagne et Irlande)	13
1.1. En Europe (hors Grande-Bretagne et Irlande)	13
1.1.1. Espagne	13
1.1.2. Portugal	14
1.1.3. Italie.....	14
1.2. En Amérique du Nord.....	14
1.2.1. Canada.....	14
1.2.2. Etats-Unis	15
1.3. En Océanie	15
1.3.1. Nouvelle-Zélande	15
1.3.2. Australie	16
1.4. En Afrique.....	16
1.5. Au Moyen-Orient	17
1.6. Tableaux récapitulatifs	17
2. Tuberculose à <i>M. bovis</i> en Grande-Bretagne et en Irlande	20
2.1. Epidémiologie de la tuberculose à <i>M. bovis</i> chez les bovins.....	20
2.1.1. Niveaux d'infection et répartition géographique.....	20
2.1.1.1. En Grande-Bretagne	20
2.1.1.2. En Irlande.....	23
2.1.2. Facteurs de risque d'infection des bovins par <i>M. bovis</i> en Grande-Bretagne et en Irlande	25
2.1.2.1. Etudes des facteurs de risque.....	25
2.1.2.2. Implication des blaireaux dans l'épidémiologie de la tuberculose à <i>M. bovis</i>	26
2.1.2.3. Importance de la transmission de la tuberculose entre bovins et mesures zootechniques pour limiter les facteurs de risque	27
2.2. Epidémiologie de <i>M. bovis</i> chez le blaireau	27
2.2.1. Etude clinique.....	27
2.2.2. Méthodes de détection de la tuberculose chez les blaireaux	29
2.2.2.1. Culture et histologie	29
2.2.2.2. Méthodes immunologiques.....	29
2.2.3. Niveaux de prévalence	30
2.2.3.1. En Grande-Bretagne	30
2.2.3.2. En Irlande.....	31
2.2.4. Transmission de <i>M. bovis</i> entre blaireaux.....	31
2.3. Densités de population de blaireaux en Grande-Bretagne et en Irlande	32
2.4. Méthodes de lutte contre la tuberculose à <i>M. bovis</i> chez le blaireau	33
2.4.1. Abattage	33

2.4.1.1.	En Grande-Bretagne	33
2.4.1.2.	En Irlande.....	40
2.4.2.	Vaccination.....	43
2.4.2.1.	En Grande-Bretagne	43
2.4.2.2.	En Irlande.....	44
2.4.3.	Modélisation des différentes méthodes de lutte, seules ou en association.....	45
2.4.4.	Bilan des méthodes de lutte	45
2.5.	Bilan relatif à la tuberculose à <i>M. bovis</i> en Grande-Bretagne et en Irlande	46
3.	Tuberculose à <i>M. bovis</i> en France	46
3.1.	Chez les bovins	46
3.1.1.	Historique de la situation épidémiologique chez les bovins	46
3.1.2.	Situation épidémiologique actuelle	49
3.1.3.	Evolution des systèmes d'élevage et facteurs de risque de tuberculose à <i>M. bovis</i>	51
3.2.	Dans la faune sauvage.....	53
3.2.1.	Biologie et densités des populations sauvages	53
3.2.1.1.	Sanglier (<i>Sus scrofa</i>).....	53
3.2.1.2.	Cerf élaphe (<i>Cervus elaphus</i>)	56
3.2.1.3.	Blaireau (<i>Meles meles</i>)	59
3.2.1.4.	Chevreuril (<i>Capreolus capreolus</i>).....	64
3.2.1.5.	Renard roux (<i>Vulpes vulpes</i>).....	66
3.2.2.	Méthode de surveillance de la tuberculose à <i>M. bovis</i>	69
3.2.2.1.	Modalités de surveillance	69
3.2.2.2.	Méthodes diagnostiques utilisées	69
3.2.3.	Situation épidémiologique en France en 2010.....	69
3.2.3.1.	En Normandie	69
3.2.3.2.	En Bourgogne.....	70
3.2.3.3.	En Dordogne et en Charente	72
3.2.3.4.	Dans d'autres départements français.....	72
	Deuxième partie : réponses aux questions de la saisine	74
1	Question n°1 relative aux densités des principales espèces sauvages qui permettraient de limiter les risques de tuberculose bovine	74
1.1.	Rappel de la question n°1	74
1.2.	Moyens d'estimation des densités des populations sauvages	74
1.3.	Présentation des facteurs de risque de développement de l'infection à <i>M. bovis</i> dans les populations sauvages.....	75
1.4.	Réponse à la question n°1 : estimation du risque lié à la densité par espèce	76
1.4.1.	Pour le sanglier.....	76
1.4.2.	Pour le cerf.....	78
1.4.3.	Pour le blaireau	80
1.4.4.	Pour le chevreuil et le renard.....	80
2.	Question n°2 relative aux mesures envisageables pour réduire les risques d'interaction entre bovins et faune sauvage.....	81
2.1.	Rappel de la question n°2	81
2.2.	Relations entre faune domestique et faune sauvage	81
2.3.	Facteurs de risque de transmission de <i>M. bovis</i> entre bovins et populations sauvages	82
2.3.1.	Taux d'infection dans les populations sensibles	83
2.3.2.	Niveau d'excrétion des populations infectées	83
2.3.2.1.	Excrétion des animaux présentant des lésions	83
2.3.2.2.	Excrétion des animaux ne présentant pas de lésions visibles.....	84
2.3.3.	Survie de <i>M. bovis</i> dans l'environnement	84
2.3.4.	Niveau d'interaction potentiellement contaminant entre hôtes excréteurs et hôtes sensibles	84
2.3.4.1.	Influence de la présence et de la densité des hôtes.....	85
2.3.4.2.	Influence de l'éco-éthologie des espèces	85

2.3.4.3.	Influence des pratiques d'élevage	85
2.3.4.4.	Influence de la saison	86
2.3.4.5.	Influence de la structure paysagère	87
2.4.	Réponse à la question n°2 : mesures de maîtrise des facteurs de risque les plus efficaces pour réduire les risques d'interaction entre faune sauvage et faune domestique	87
2.4.1.	Limitation des interactions entre bovins et populations sauvages	88
2.4.2.	Maîtrise de l'infection dans la population-hôte sauvage	89
2.4.2.1.	Action sur la densité	89
2.4.2.2.	Limitation du recyclage des matières virulentes	90
2.4.2.3.	Vaccination	90
3.	Question n°3 relative aux modalités de piégeage et/ou de destruction de terriers de blaireaux	91
3.1.	Rappel de la question n°3	91
3.2.	Enseignements tirés des situations et études britanniques	91
3.3.	Réponse à la question n° 3.....	94
3.3.1.	Situation actuelle en France.....	94
3.3.2.	Objectifs de la lutte	94
3.3.3.	Rappel des mesures mises en place actuellement.....	94
3.3.3.1.	Mesures de surveillance	94
3.3.3.2.	Mesures de régulation des densités de population de blaireaux.....	95
3.3.4.	Propositions de mesures de surveillance et de lutte	95
	Troisième partie : synthèse	98
1.	Contexte – situation épidémiologique.....	98
1.1.	Situation épidémiologique de la tuberculose à <i>M. bovis</i> des animaux sauvages dans le monde (hors GB et Irlande)	98
1.2.	La tuberculose à <i>M. bovis</i> en France	98
1.2.1.	Situation épidémiologique en élevage.....	98
1.2.2.	Densités d'animaux sauvages en France.....	99
1.2.3.	Situation épidémiologique de la tuberculose à <i>M. bovis</i> des animaux sauvages en France.....	99
1.3.	Situation épidémiologique de la tuberculose à <i>M. bovis</i> des animaux sauvages dans les îles britanniques.....	100
1.3.1.	En Grande-Bretagne.....	100
1.3.2.	En Irlande	100
1.4.	Méthodes de lutte contre la tuberculose à <i>M. bovis</i> chez le blaireau dans les îles britanniques...	101
1.4.1.	Réduction de densité de population des blaireaux.....	101
1.4.2.	Essais de vaccination	101
2.	Réponses aux questions de la saisine	102
2.1.	Question n° 1.....	102
2.2.	Question n° 2.....	102
2.3.	Question n° 3.....	103
	Conclusion	105
	Annexe 1 : Saisine 2010-SA-0154.....	107
	Annexe 2 : Décision de création du groupe de travail « Tuberculose bovine et faune sauvage ».....	109
	Bibliographie	111

Glossaire et abréviations

Abattage	
« réactif »*	Abattage ciblé des blaireaux localisés sur et à proximité des exploitations identifiées comme foyer de tuberculose
Abattage	
« proactif »*	Abattage massif des blaireaux dans une zone de 100 km ² au moins
AMM	Autorisation de mise sur le marché
CDCFS	Conseil départemental de la chasse et de la faune sauvage
CPC	Chlorure de Cétyle Pyridinium à 1%
Cynégétique	Relatif à la chasse
DDE	Direction départementale de l'équipement
DEFRA	Department of Environment, Food and Rural Affairs
DGAI	Direction générale de l'alimentation
ELISA	Enzyme Linked Immunosorbent Assay
FAS	Four Areas study
FDC	Fédération départementale des chasseurs
FERA	Food and Environment Research Agency
FRC	Fédération régionale des chasseurs
Gueule	
de terrier	Entrée ou sortie de terrier
IKA	Indice kilométrique d'abondance
IC	Intervalle de confiance
ISG	Independent Scientific Group
NL	Nœud lymphatique
ONCFS	Office national de la chasse et de la faune sauvage
Parc National	Espace protégé dédié à la protection de la nature (faune, flore, paysage), généralement non clos
PCR	Polymerase Chain Reaction : amplification en chaîne par polymérase
Porc marron	Porc retourné à l'état sauvage
« Prélèvement »	Animal tué à la chasse
RBCT	Randomised Badger Culling Trial, programme d'abattage aléatoire des blaireaux
RT-PCR	Real Time Polymerase Chain Reaction
Spoligotype	Polymorphisme dans la région DR (« Direct Repeat ») du chromosome des mycobactéries
UE	Union européenne
VLA	Veterinary Laboratories Agency
VNTR	Variable Number Tandem Repeats

* définitions issues du plan de lutte britannique (« *reactive culling* », « *proactive culling* »)

Liste des figures

Figure 1 : Incidence de la tuberculose en Grande-Bretagne 1998-2008.....	21
Figure 2 : Intensité de la tuberculination en Grande-Bretagne	22
Figure 3 : Proportion de troupeaux ayant des animaux positifs à la tuberculination (et donc mis sous restriction) en Grande-Bretagne de 1964 à 2002.....	23
Figure 4 : Progression de l'infection tuberculeuse des troupeaux en Angleterre et Pays de Galles.....	23
Figure 5 : Nombre d'animaux positifs à l'intradermoréaction en Irlande (1959-2003)	24
Figure 6 : Evolution de l'incidence dans le sud-ouest de l'Angleterre et dans le reste du pays.....	36
Figure 7 : Evolution du pourcentage d'élevages infectés de tuberculose bovine en France à partir de 1954	47
Figure 8 : Foyers incidents de tuberculose bovine de 2005 à 2009	48
Figure 9 : Evolution des foyers de tuberculose bovine détectés chaque année de 1995 à 2010	49
Figure 10 : Distribution des élevages infectés de tuberculose selon le nombre de bovins ayant donné un résultat positif à l'IDC	50
Figure 11 : Répartition des troupeaux laitiers et allaitants en France en 2008.....	51
Figure 12 : Nombre des foyers de tuberculose (période 2005-2009) par région	53
Figure 13 : Densité de « prélèvements » de sangliers estimés aux 100 hectares boisés en 2008-2009	55
Figure 14 : Evolution annuelle du tableau de chasse national sanglier	56
Figure 15 : Densité de population de cerfs élaphe estimés aux 100 ha boisés	57
Figure 16 : Evolution des densités départementales de population de cerfs aux 100 hectares de forêts	58
Figure 17 : Nombre de blaireaux, morts ou vivants, d'après les observations recueillies dans les carnets de bord entre 2001 et 2009 par l'ONCFS	59
Figure 18 : Densités de « prélèvements » de chevreuils estimés aux 100 hectares boisés.....	65
Figure 19 : Evolution annuelle du tableau de chasse national chevreuil	66
Figure 20 : Importance des « prélèvements » estimés de renards.....	68
Figure 21 : Comparaison entre les indices kilométriques obtenus au cours des hivers 1989/1990 et 2000 sur neuf sites du nord et de l'est de la France.....	68
Figure 22 : Evolution des cas de tuberculose à <i>M. bovis</i> détectés chez les mammifères sauvages et dans les cheptels bovins en Côte-d'Or entre 2002 et 2010, et nombres d'animaux sauvages analysés par saison	71
Figure 23 : Evolution des indices kilométriques d'abondance du cerf et du chevreuil.....	77
Figure 24 : Evolution des tableaux de chasse du sanglier en forêt de Brotonne.....	77
Figure 25 : Evolution des prévalences apparentes d'infection chez le cerf et le sanglier en forêt de Brotonne	77
Figure 26 : Evolution des tableaux de chasse de sangliers dans le massif de l'Ouche sur une surface boisée de 52 km ²	78
Figure 27 : Evolution du plan de chasse du cerf élaphe dans la vallée de l'Ouche depuis 2003	79
Figure 28 : Répartition des cas groupés d'animaux infectés par <i>M. bovis</i> dans la faune sauvage en France : espèces infectées, génotypes de souches.....	81

Liste des tableaux

Tableau 1 : Situation épidémiologique de la faune sauvage dans le monde.....	17
Tableau 2 : Synthèse des données bibliographiques disponibles concernant les densités d'individus d'espèces sauvages infectées par la tuberculose à <i>M. bovis</i> dans différents pays du monde.....	18
Tableau 3 : Mesures de lutte contre la tuberculose mises en œuvre dans la faune sauvage dans différents pays du monde.....	19
Tableau 4 : Statistiques pour l'Angleterre et le Pays de Galles (1998-2008).....	20
Tableau 5 : Incidence de la tuberculose bovine en Irlande et en Grande-Bretagne.....	24
Tableau 6 : Incidence de la tuberculose en Irlande.....	25
Tableau 7 : Espèces sauvages autres que le blaireau chez lesquelles <i>M. bovis</i> a été isolé.....	26
Tableau 8 : Distribution des lésions tuberculeuses chez les blaireaux autopsiés lors du RBCT ¹	28
Tableau 9 : Tests diagnostiques de l'infection à <i>M. bovis</i> chez le blaireau, développés au VLA.....	30
Tableau 10 : Prévalence de l'infection à <i>M. bovis</i> chez des blaireaux tués sur les routes.....	31
Tableau 11 : Mesures d'abattage de blaireaux réalisées en Angleterre avant le RBCT et résultats observés.....	35
Tableau 12 : Densités moyennes de blaireaux capturés.....	37
Tableau 13 : Prévalence de la tuberculose chez les blaireaux capturés dans les zones d'abattage proactif.....	38
Tableau 14 : Réduction de l'incidence de la tuberculose bovine dans les zones d'abattage proactif.....	39
Tableau 15 : Comparaison des protocoles mis en place en Angleterre et en Irlande.....	41
Tableau 16 : Comparaison des résultats obtenus au Royaume-Uni et en Irlande.....	42
Tableau 17 : Investissement financier anglais pour le développement d'un vaccin antituberculeux.....	43
Tableau 18 : Evolution du nombre de foyers de tuberculose bovine découverts chaque année de 2001 à 2010, en France, en Côte-d'Or, en Dordogne et en Pyrénées-Atlantiques.....	50
Tableau 19 : Exemples d'études récentes menées en France sur les densités de blaireaux.....	63
Tableau 20 : Evolution des prévalences apparentes d'infection (bactériologie) de tuberculose à <i>M. bovis</i> chez les cerfs et les sangliers en forêt de Brotonne (Normandie).....	70
Tableau 21 : Souches identifiées de <i>M. bovis</i> dans la faune sauvage en France.....	82

Introduction

Mycobacterium bovis (*M. bovis*) est une bactérie ubiquitaire qui se transmet à de nombreuses espèces animales, domestiques et sauvages, et à l'Homme. Chez les bovins, réservoir habituel de cette bactérie, après une contamination principalement par voie respiratoire, elle provoque une maladie habituellement appelée « tuberculose bovine » qui évolue généralement sur un mode chronique, souvent pendant plusieurs années. Les formes cliniques sont beaucoup moins fréquentes que l'infection inapparente, au cours de laquelle les bovins peuvent être excréteurs de la bactérie et contaminer l'Homme et d'autres animaux, dont certaines espèces sauvages (cervidés, suidés, certains carnivores, etc.).

La France est considérée comme officiellement indemne de tuberculose bovine par l'Union européenne depuis 2001, malgré la persistance de quelques foyers en élevage. Cependant, depuis 2004, le nombre de ces foyers connaît une augmentation régulière, notamment dans certains départements comme la Côte-d'Or et la Dordogne.

Récemment, des cas de tuberculose à *M. bovis* ont été mis en évidence chez certaines espèces sauvages, dont le sanglier, le cerf, le blaireau et le renard, à proximité des foyers domestiques. Cette mise en évidence a conduit à un renforcement du dépistage de l'infection dans la faune sauvage autour des foyers domestiques. Parallèlement, le rôle de la faune sauvage dans la transmission et/ou le maintien de la tuberculose bovine dans certains foyers domestiques font débat sur le terrain. Les controverses portent notamment sur l'influence des densités de populations, de l'écosystème, des pratiques de chasse, mais également des méthodes d'élevage qui ont évolué ces dernières années.

Dans ce contexte, la Direction générale de l'alimentation (DGAI) a saisi l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) sur les risques pour les bovins domestiques liés à la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage, et sur les moyens de maîtrise envisageables au regard des données disponibles sur le sujet.

Trois questions spécifiques sont posées à l'Agence :

1. La première concerne les densités optimales de population des principales espèces sauvages affectées, qui pourraient limiter la propagation de la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage et chez les bovins domestiques sans compromettre l'équilibre des populations ;
2. La deuxième question s'intéresse aux mesures de maîtrise de facteurs de risque les plus efficaces pour réduire les interactions entre bovins et faune sauvage ;
3. Dans l'hypothèse où la réponse 2 retiendrait des mesures de piégeage ou de destruction de terriers de blaireaux, l'Anses est interrogée sur la détermination des aires géographiques et de l'intensité des piégeages, au regard notamment des mesures instaurées en Grande-Bretagne pour lutter contre la tuberculose chez les blaireaux et les bovins.

Afin de traiter cette saisine, le groupe de travail « Tuberculose bovine et faune sauvage » a été créé par décision n°2010-09-057 du 9 septembre 2010.

Dans le présent rapport, après avoir présenté la situation épidémiologique de la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage en France et à l'étranger, en particulier en Grande-Bretagne et en Irlande, la biologie et la démographie des principales espèces sauvages sensibles et/ou réceptives à *M. bovis*, le groupe de travail s'est attaché à répondre aux questions spécifiques de la DGAI.

Première partie : contexte – situation épidémiologique

1. Tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage dans le monde (hors Grande-Bretagne et Irlande)

Depuis les années 60, la tuberculose due à *M. bovis* a été décrite dans la faune sauvage de plusieurs pays à travers le monde. Selon les cas, les populations des différentes espèces de mammifères trouvées infectées par *M. bovis* sont considérées comme :

- des réservoirs primaires, lorsqu'elles sont capables d'entretenir à elles seules l'infection dans le milieu naturel et de la transmettre aux autres espèces réceptives et/ou sensibles, domestiques ou sauvages (dans ce cas, les populations sont aussi qualifiées de populations de maintien, ou de maintenance, de l'infection ; *maintenance host* en anglais) ;
- des réservoirs secondaires, lorsqu'elles sont capables d'entretenir l'infection et de la transmettre à d'autres espèces sauvages ou domestiques tant que le réservoir primaire est présent dans la nature. Si ce réservoir primaire est éradiqué, l'infection persistera un certain temps dans le réservoir secondaire, mais finira par disparaître naturellement (*spillover host* en anglais)
- des cul-de-sac épidémiologiques, lorsqu'elles sont victimes de contaminations à partir du ou des réservoirs, mais ne peuvent ni entretenir ni transmettre l'infection tuberculeuse à long terme ; elles sont toutefois susceptibles d'être des sentinelles épidémiologiques comme peuvent l'être les prédateurs et nécrophages qui interviennent en bout de chaîne alimentaire (*dead end host* en anglais).

1.1. En Europe (hors Grande-Bretagne et Irlande)

1.1.1. Espagne

La tuberculose à *M. bovis* est présente dans plusieurs régions du centre et du sud du pays, avec des prévalences très élevées dans des populations de sangliers (*Sus scrofa*) et de cerfs (*Cervus elaphus*) à fortes densités, alors que la tuberculose est beaucoup moins présente dans le nord du pays où les populations d'ongulés sauvages sont beaucoup moins denses (Gortazar *et al.*, 2003). Par exemple, des prévalences de 52 % chez le sanglier, 27 % chez le cerf et 18 % chez le daim (*Dama dama*) sont observées dans le Parc National de Doñana. Dans certains parcs de chasse, qui sont de grands espaces clos où les sangliers sont nourris et où des bauges et souilles sont maintenues artificiellement, la prévalence apparente de la tuberculose peut atteindre 100 % (Vicente *et al.*, 2006). Parra *et al.* (2003) ont suggéré que les sangliers étaient capables de maintenir la tuberculose sans qu'ils aient de contacts avec des bovins ou des cerfs infectés. La gravité et la fréquence des lésions observées chez le sanglier (lésions des nœuds lymphatiques pulmonaires observées chez 52 % à 83 % des sangliers suivant les études, et lésions pulmonaires chez 38 % des animaux) ont montré qu'il peut être un réservoir primaire de tuberculose dans des zones à fortes densités (Gortazar *et al.*, 2005 ; Parra *et al.*, 2003 ; Vicente *et al.*, 2006). Les densités de sangliers observées sont supérieures à 16 animaux/ km² et peuvent atteindre 30 à 100 sangliers/ km² dans les grands parcs de chasse (Gortazar, communication personnelle). De plus, dans les habitats espagnols méditerranéens où la pratique de la chasse est intensifiée, Vicente *et al.* (2007) et Acevedo *et al.* (2005) ont montré que la concentration de sangliers dans des parcs clos, dans lesquels sont aménagés des lieux de nourrissage et surtout des points d'eau artificiels, favorise la possibilité, pour le sanglier, de devenir réservoir primaire. Enfin, les récents travaux de Martin-Hernando *et al.* (2007) et Naranjo *et al.* (2008) ont confirmé que le sanglier est capable de maintenir la tuberculose au sein de populations indépendantes, où des prévalences élevées, des lésions pulmonaires induisant une probable excrétion de *M. bovis*, en particulier par les animaux juvéniles, et un fort pourcentage de cas de tuberculose généralisée (57 % des animaux inspectés) sont observés. Il est probable que la bactérie circule de manière intense dans des populations

denses qui contiennent elles-mêmes plus d'individus sensibles à la tuberculose. En Espagne, Gortazar (communication personnelle) considère que l'interdiction de l'alimentation artificielle, la réduction du nombre de bauges où les animaux se concentrent, la réduction des densités et une vaccination orale seront nécessaires au contrôle de la tuberculose chez le sanglier. Des essais de vaccination orale du sanglier sont en cours et sont menés en parallèle à la mise au point d'appâts vaccinaux adaptés à cette espèce.

Une enquête sérologique récente (Martin-Atance *et al.*, 2006) a mis en évidence une circulation de l'infection à *M. bovis* chez les carnivores dans le sud-ouest de l'Espagne : blaireaux (séroprévalence : 23%), renards (*Vulpes vulpes*) (séroprévalence : 3%) et lynx (*Lynx pardinus*) (séroprévalence : 4%) ; les densités de ces carnivores ne sont pas décrites. Dans les Asturies, une étude conduite sur des blaireaux tués sur la route a révélé une prévalence de 6,6% (culture bactérienne). Les lésions macroscopiques sont rares et le rôle de cette espèce dans l'épidémiologie de la maladie n'est pas encore connu (Balseiro *et al.*, 2010).

1.1.2. Portugal

Une étude menée chez le sanglier dans huit régions distinctes, constituant les zones majeures de chasse, a révélé la présence de *M. bovis* dans trois de ces huit régions avec une prévalence allant de 6% à 46% (culture bactérienne sur pool de nœuds lymphatiques). Ces trois régions correspondent à trois foyers d'infection, les spoligotypes impliqués étant différents. La prévalence, positivement corrélée à la densité de population, ainsi que les lésions (atteinte des nœuds lymphatiques céphaliques, trachéobronchiques et mésentériques avec des granulomes caséeux souvent encapsulés et calcifiés), sont en faveur d'un rôle de maintien de l'infection joué par cette espèce dans ces trois régions (Santos *et al.*, 2009).

1.1.3. Italie

Les sangliers des régions de Ligurie et de Sardaigne sont porteurs de *M. bovis* dans leurs nœuds lymphatiques céphaliques, avec des prévalences pouvant atteindre 10 à 15% (Mignone *et al.*, 1997). En Ligurie, une étude a mis en évidence une prévalence de 37% (n = 63) de *M. bovis* chez les sangliers et un spoligotype partagé entre sangliers et bovins, indiquant une possible transmission interspécifique (Serraino *et al.*, 1999). Les éléments nécropsiques et histologiques ont fait considérer le sanglier dans ces régions comme un réservoir peu efficace de tuberculose (Dini *et al.*, 2003) et plutôt comme un cul-de-sac épidémiologique (au pire un réservoir secondaire au réservoir primaire bovin). Le sanglier constitue en tout cas une excellente sentinelle révélant la contamination de l'environnement par les mycobactéries et la présence d'infections dans d'autres espèces, en particulier les bovins. Toutefois, des études très récentes (résultats non publiés à ce jour) ont révélé la présence de tuberculose généralisée et de lésions pulmonaires évolutives chez le sanglier, tendant à remettre en question le rôle épidémiologique du sanglier dans certaines régions d'Italie. Des cas sporadiques d'infection à *M. bovis* ont par ailleurs été observés chez des chevreuils (*Capreolus capreolus*) (Balseiro *et al.*, 2009) et chez des cervidés importés (Gortazar, 2010).

1.2. En Amérique du Nord

1.2.1. Canada

La tuberculose est aujourd'hui enzootique chez le bison des bois (*Bison bison athabasca*) dans le Parc National Wood Buffalo (Alberta). La maladie est probablement liée à l'introduction de bisons des plaines (*Bison bison bison*) en 1925 (Reynolds *et al.*, 1982 ; Joly et Messier, 2001). Dans la région du Parc National de Mont-Riding (Manitoba), la surveillance de la maladie a permis de dépister 40 wapitis (*Cervus elaphus canadensis*), huit cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et sept troupeaux de bétail infectés. Un cerf de Virginie a également été trouvé infecté en Ontario. Dans la population de bisons du parc Wood Buffalo, la tuberculose semble avoir été entretenue même dans des conditions de

faible densité d'individus, mais l'infection ne s'est pas propagée à d'autres espèces. Dans le parc de Mont-Riding, en revanche, il y a eu transmission interspécifique entre les wapitis, les bovins et les bisons. Un loup (*Canis lupus*) a également été trouvé positif à *M. bovis*. Toutes ces espèces hébergent le même spoligotype, différent de ceux trouvés dans le reste du Canada (Tessaro, 1986 ; Nishi *et al.*, 2006 ; Wobeser, 2009), et soulignant la relation épidémiologique entre ces différents cas.

1.2.2. Etats-Unis

Dans l'Etat du Michigan, l'infection du cerf de Virginie par *M. bovis* a été détectée depuis 1995, avec une prévalence d'infection qui a atteint 4,9%. Actuellement, elle se situe à un niveau très faible (0,4%). La tuberculose est réapparue chez des bovins élevés dans la même région en 1998. Le développement de la maladie est favorisé par le nourrissage des cervidés entraînant d'importantes concentrations d'animaux. La voie de contamination majeure semble être respiratoire, mais elle peut aussi se faire par consommation d'aliments souillés ; les cerfs se transmettent donc le bacille par contacts directs ou indirects. La prévalence de l'infection est positivement corrélée à la densité de population des cerfs et au nourrissage, tous deux entraînant la concentration d'animaux de groupes différents et favorisant donc les contacts directs et indirects (le bacille peut résister entre 7 et 112 jours sur les places d'agraine selon les conditions climatiques). Les cerfs sont responsables de la recontamination des bovins et sont également une source d'infection pour des carnivores sauvages comme le coyote (*Canis latrans*) ou l'ours noir (*Ursus americanus*), qui se contaminent par voie orale (consommation de carcasses infectées). Les coyotes ont d'ailleurs été utilisés comme sentinelles de l'infection.

Une réduction de la moitié des effectifs de cerfs de Virginie et un arrêt de l'affouragement hivernal ont fait chuter la prévalence à 1,7% en 2004, mais on considère qu'il faudra 20 à 30 ans pour que la maladie disparaisse (Schmitt *et al.*, 1997 ; Fitzgerald *et al.*, 2004 ; Conner *et al.*, 2008).

1.3. En Océanie

1.3.1. Nouvelle-Zélande

Le possum ou phalanger renard (*Trichosurus vulpecula*) s'est probablement contaminé auprès de bovins dans les années 1960-70, comme le blaireau en Grande-Bretagne, avant la période d'éradication de la maladie. Il est le réservoir principal de la tuberculose à *M. bovis* et représente un risque de transmission-retour de l'infection aux animaux domestiques (Morris *et al.*, 1994 ; Morris et Pfeiffer, 1995 ; Jackson *et al.*, 1995a ; Clifton-Hadley *et al.*, 2000 ; De Lisle *et al.*, 2001). La prévalence moyenne de *M. bovis* chez cette espèce est de 5%, mais l'infection est très variable en fonction des zones, pouvant atteindre 32% dans certaines d'entre elles. Les possums sont très sensibles à la tuberculose, l'évolution étant le plus souvent mortelle. Une fois qu'ils expriment la maladie, la durée de survie est estimée à cinq mois. L'infection modifie alors leur comportement : ils se dispersent en dehors de leurs domaines vitaux, ne sont plus capables de grimper aux arbres et vagabondent en pleine journée, ces conditions favorisant les contacts avec les bovins et donc la transmission de la maladie à ces bovins. Des modèles ont montré qu'une baisse de 40% de la densité initiale éviterait l'entretien de l'infection dans la population de possums (Barlow, 1991, 2000).

Les furets (*Mustela putorius*) semblent être des réservoirs secondaires : les contacts avec les possums sont nécessaires à l'entretien de l'infection chez ces animaux. Néanmoins, dans certaines conditions de forte densité, l'infection peut être entretenue dans cette espèce indépendamment des autres espèces. Les campagnes d'abattage des furets ont entraîné une baisse de l'incidence chez les bovins vivant à proximité, prouvant le rôle de cette espèce dans la transmission de l'infection à *M. bovis* aux espèces domestiques.

A l'inverse de ce qui est observé aux Etats-Unis, le cerf élaphe (*Cervus elaphus*) n'est pas considéré, en Nouvelle-Zélande, comme un réservoir primaire de l'infection. Il peut cependant être vecteur de l'infection et à l'origine de nouveaux foyers (Ryan *et al.*, 2006).

Le porc marron (*Sus scrofa*), porc retourné à l'état sauvage, a été utilisé comme espèce sentinelle, équipée de colliers émetteurs, dans les régions où la prévalence de la maladie était mal connue chez le possum ou le furet. Lorsque la tuberculose est présente, près de 100% des porcs marrons se retrouvent porteurs de *M. bovis* en moins d'un an. Ceci montre la réceptivité de l'espèce qui est capable, grâce à son comportement alimentaire omnivore, de capter et de concentrer très rapidement les mycobactéries présentes dans le milieu naturel (Nugent *et al.*, 2002). Son rôle dans ce pays semble limité à celui de cul-de-sac épidémiologique ou de réservoir secondaire.

Les méthodes de lutte contre la tuberculose dans la faune sauvage en Nouvelle-Zélande sont basées sur le maintien des densités de possums à un niveau suffisamment bas pendant une durée minimale de cinq ans. La vaccination orale (BCG) pour les possums est également développée en complément au contrôle des populations (Ryan *et al.*, 2006).

1.3.2. Australie

L'infection à *M. bovis* était présente dans les années 1960 chez les bovins et chez le buffle d'eau (*Bubalus bubalis*) ; ce dernier, introduit au 19^{ème} siècle, constituait un réservoir sauvage dans le nord du pays, avec des prévalences de lésions pulmonaires de 25%. Parallèlement, des prévalences d'infection d'environ 20% étaient observées chez les porcs marrons, avec des lésions non généralisées cantonnées aux nœuds lymphatiques céphaliques, laissant supposer une excrétion du bacille très faible à nulle (Corner *et al.*, 1981). L'éradication de la tuberculose chez les bovins et chez les buffles, qui ne cohabitaient pas mais représentaient deux réservoirs d'infection, par élimination totale des troupeaux, a été entreprise en 1985 (population réduite de 20 à 0,1 buffles/ km²). L'élimination totale de la population de buffles a été d'autant mieux acceptée que son développement posait des problèmes écologiques dans le nord de l'Australie. Elle a eu pour effet d'entraîner la quasi-disparition de la maladie chez les porcs marrons, chez lesquels la prévalence est passée de 19 % dans les années 1970 à 0,25 % en 1992, mettant en évidence que le porc marron était, dans ce contexte, un réservoir secondaire, voire un cul-de-sac épidémiologique (Mc Inerney *et al.*, 1995). A noter que la densité des populations de porcs marrons avait alors été estimée à 11 animaux/ km². Le possum est également présent en Australie ; cependant, les populations naturelles ne se sont pas infectées, probablement en raison d'une densité de population beaucoup plus faible qu'en Nouvelle-Zélande (Radunz, 2006).

1.4. En Afrique

La littérature rapporte des cas notamment en Afrique du Sud.

La tuberculose à *M. bovis* a été introduite par des bovins importés d'Europe aux 18^{ème} et 19^{ème} siècles. Les contacts entre bétail et faune sauvage ont conduit à la contamination de plusieurs espèces sauvages : la maladie a d'abord été mise en évidence chez le buffle (*Syncerus caffer*) de plusieurs parcs nationaux (parc du Kruger, parc de Hluluwe et réserve d'Umfoloji) (les parcs nationaux étant clos en Afrique du Sud), où elle s'est maintenant propagée à de nombreuses espèces (lion [*Panthera leo*], grand koudou [*Tragelaphus strepsiceros*], léopard [*Panthera pardus*], guépard [*Acinonyx jubatus*], phacochère [*Phacochoerus africanus*], potamochère [*Potamochoerus larvatus*], genette [*Genetta sp.*], hyène tachetée [*Crocuta crocuta*], impala [*Aepyceros melampus*], ratel [*Mellivora capensis*], babouin chacma [*Papio ursinus*]). Le buffle est un hôte de maintien de l'infection, avec des prévalences lésionnelles de 10 à 30%, pouvant atteindre plus de 50% dans certaines zones, et il peut la propager sur de vastes territoires en l'absence de bovins. Le comportement social et la taille des troupeaux (250 individus en moyenne, pouvant aller jusqu'à 1000) favorisent la transmission intra-troupeau du bacille. Les buffles tuberculeux, affaiblis, sont préférentiellement capturés, notamment par les lions (*Panthera leo*) qui sont alors très exposés à l'infection lorsque la prévalence chez les buffles est élevée. Il est difficile de trancher sur le rôle de réservoir primaire ou secondaire du lion, même s'il semble que les interactions individuelles au sein des groupes sociaux puissent être à l'origine d'une transmission intra-spécifique horizontale et verticale, et donc d'un entretien de l'infection en

dehors de contact avec d'autres espèces. Les autres prédateurs, comme le léopard, le guépard ou la hyène sont moins exposés que le lion car le buffle ne constitue pas leur proie principale. Ils s'infectent plutôt en consommant des carcasses, tout comme les omnivores opportunistes que sont les phacochères, potamochères, les babouins et les ratels qui ne semblent pas jouer un rôle dans la persistance de la maladie.

Le grand koudou (*Tragelaphus strepsiceros*), en revanche, apparaît comme hôte réservoir potentiel de l'infection. Une souche de *M. bovis* différente de celle circulant chez le buffle a été isolée chez cette espèce. Selon Michel *et al.* (2006), dans certaines zones, l'infection des grands koudous a pu être antérieure à celle des buffles et constituer une source de contamination pour ceux-ci.

1.5. Au Moyen-Orient

En Arabie Saoudite, la population relictuelle d'Oryx d'Arabie (*Oryx leucoryx*) captifs a été mise en péril par la tuberculose (Thorel et Moutou, 1994). L'espèce doit son salut au programme d'assainissement mené à Taïf, qui a permis de relâcher dans le désert des animaux indemnes. Il s'agit néanmoins d'un contexte particulier, les animaux étant captifs et s'étant probablement contaminés initialement au contact de bovins. Dans cet environnement très isolé, les adultes ont été traités chimiquement afin de pouvoir les faire se reproduire et reconstituer un troupeau sain à partir de leurs descendants (Ostrowski *et al.*, 1998).

1.6. Tableaux récapitulatifs

Les différentes situations épidémiologiques sont reprises dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Situation épidémiologique de la faune sauvage dans le monde

Espèce	Pays	Rôle épidémiologique	Transmission retour aux bovins
CERVIDES			
Wapiti (Cerf américain)	Canada	Réservoir primaire	Oui
Cerf élaphe	Espagne	Réservoir secondaire	Absence de données
Cerf de Virginie	Etats-Unis	Réservoir primaire	Oui
BOVIDES			
Buffle d'eau	Australie	Réservoir primaire	Non (pas de cohabitation avec les bovins)
Bison	Canada	Réservoir primaire	Non (pas de cohabitation avec les bovins)
Buffle d'Afrique	Afrique du Sud	Réservoir primaire	Oui
Grand koudou	Afrique du Sud	Réservoir primaire	Absence de données
SUIDES			
Sanglier	Espagne	Réservoir primaire	Oui
Sanglier	Italie	Réservoir secondaire ou cul-de-sac épidémiologique. Sentinelle	Non décrite
Sanglier	Portugal	Réservoir primaire ?	Absence de données
Porc marron	Australie	Réservoir secondaire, cul-de-sac épidémiologique	Non
Porc marron	Nouvelle-Zélande	Réservoir secondaire Sentinelle épidémiologique	Non
CARNIVORES			
Lion	Afrique du Sud	Réservoir secondaire, cul-de-sac	Non
Furet	Nouvelle-Zélande	Réservoir secondaire	Oui dans certaines zones
MARSUPIAUX			
Possum	Nouvelle-Zélande	Réservoir primaire	Oui

Les données décrites à ce jour sur les densités des populations infectées dans le monde et sur les mesures de lutte mises en œuvre sont regroupées dans le Tableau 2 et le Tableau 3.

Tableau 2 : Synthèse des données bibliographiques disponibles concernant les densités d'individus d'espèces sauvages infectées par la tuberculose à *M. bovis* dans différents pays du monde

Pays	Espèce	Information bibliographique relative aux densités d'animaux
Espagne	Sanglier	Risque lié à la densité d'individus : <ul style="list-style-type: none"> • risque faible lorsque la densité est inférieure à 10 sangliers/ km² ; • risque élevé lorsque la densité est supérieure à 30 sangliers/ km² (Gortazar, 2010)
	Cerf	Fortes densités de cerfs dans les zones infectées (moyenne de 24,4 cerfs/ km ²) et infection chez les cerfs lié à l'abondance de sangliers sur les zones de nourrissage (Vicente <i>et al.</i> , 2007)
	Blaireau	0,23 à 0,67 blaireaux/ km ² (Revilla <i>et al.</i> , 1999)
Portugal	Sanglier	Infection liée à l'abondance d'ongulés sauvages (Santos <i>et al.</i> , 2009)
Italie	Sanglier	Pas d'information
Etats Unis	Cerf de Virginie	Au moment de l'apparition de la tuberculose bovine chez les cerfs au Michigan, les densités de cerfs étaient de l'ordre de 19 à 23 individus/ km ² (Miller <i>et al.</i> , 2003)
Canada	Bison	0,1 bison/ km ² dans le parc national Wood Buffalo en 2004 (Nishi <i>et al.</i> , 2006)
	Wapiti	0,7 wapiti/ km ² dans le parc national de Mont-Riding (Nishi <i>et al.</i> , 2006)
Australie	Buffle d'eau	Pas d'information
	Porc marron	Tuberculose ayant disparu chez cette espèce pour des densités estimées à 11 porcs marrons/ km ² (Mc Inerney <i>et al.</i> , 1995)
Nouvelle-Zélande	Possum	Résultats de travaux de modélisation : la baisse de 40% des densités éviterait le maintien de l'infection chez les possums. Elimination de la maladie quand la densité de possums est inférieure à 0,2 K ¹ ; pas d'information se rapportant directement à la densité d'individus (Barlow, 1991; Barlow, 2000)
	Furet	Réduction de l'infection dans les populations de furets lorsque le nombre d'individus est diminué (Caley <i>et al.</i> , 2001) ; pas d'information sur une densité seuil à atteindre pour réduire l'infection
	Porc marron	Densité recommandée pour utilisation du porc marron comme sentinelle de l'infection à <i>M. bovis</i> : un porc marron/ km ² relâché tous les 6-12 mois (Nugent <i>et al.</i> , 2002)
Afrique du Sud	Buffle d'Afrique	Taille moyenne des troupeaux dans le parc Kruger : 250 individus (Michel <i>et al.</i> , 2006)
	Grand koudou	0,16 individu/ km ² (Nicholls <i>et al.</i> , 1996)
	Lion	0,05 à 0,11 lion/ km ² dans le parc Kruger (Ferreira et Funston, 2010)

¹ K : capacité de charge d'une espèce dans un environnement donné (« carrying capacity ») définie comme le nombre maximal d'individus de l'espèce considérée que l'environnement donné peut accueillir pour que la taille de la population soit théoriquement stable (ici exprimée en possums/ha et pouvant prendre une valeur de 1 à 10 selon les types d'habitat)

Tableau 3 : Mesures de lutte contre la tuberculose mises en œuvre dans la faune sauvage dans différents pays du monde
(Buddle *et al.*, 2009 ; Wobeser, 2009)

Pays	Espèce	Mesures de lutte
CERVIDES		
Canada	Wapiti	Abattage des animaux positifs (culture), restriction de mouvement dans zone entourant le parc (mise en place de clôtures)
Etats-Unis	Cerf de Virginie	Arrêt de l'affouragement Réduction des densités Développement d'un vaccin de type BCG administrable dans un premier temps par voie injectable
BOVIDES		
Australie	Buffle d'eau	Eradication
Canada	Bison	Abattage des individus positifs (culture) et repeuplement avec des animaux sains
Afrique du Sud	Buffle d'Afrique	Essai de vaccin de type BCG administrable par voie injectable
SUIDES		
Espagne	Sanglier	Développement d'un vaccin de type BCG administrable par voie orale
MARSUPIAUX		
Nouvelle-Zélande	Possum	Abattage Développement d'un vaccin de type BCG administrable par voie orale

Bilan relatif à la tuberculose dans la faune sauvage dans le monde

Les données bibliographiques relatives à la tuberculose dans la faune sauvage dans le monde mettent en lumière les éléments suivants :

- la tuberculose de la faune sauvage a toujours eu au départ une origine bovine ;
- la tuberculose à *M. bovis* peut mettre du temps à se développer dans la faune sauvage mais une fois qu'elle est installée, elle est très difficile, voire, dans certains cas, impossible à éradiquer ;
- les situations épidémiologiques sont très différentes suivant les pays ou les régions d'un même pays car elles dépendent de multiples facteurs populationnels, environnementaux et intrinsèques aux espèces suivant leur comportement et leur régime alimentaire ;
- les ongulés sauvages sont plus susceptibles d'être des réservoirs primaires de tuberculose, et les omnivores et carnivores des réservoirs secondaires ou des culs-de-sac épidémiologiques (hormis le blaireau dans les îles britanniques, cf. chapitre 2) ;
- bien qu'il n'existe que très peu de chiffres objectifs reflétant les densités d'espèces sauvages dans la bibliographie (Tableau 2) car ils sont très difficiles à acquérir, il est démontré que les fortes densités et les concentrations artificielles (par agrainage, affouragement ou abreuvement) d'animaux sauvages augmentent les risques d'émergence puis de persistance de la tuberculose au sein des populations.

Les mesures de lutte (Tableau 3) passent par :

- la réduction des densités qui peut aller jusqu'à l'élimination totale de la population-réservoir lorsque cela a été possible ;
- la suppression ou la réduction de l'alimentation artificielle des animaux sauvages ;
- l'isolement des populations infectées par des clôtures quand cela est possible ;
- la mise au point de vaccins administrables par voie orale, notamment dans les pays où la tuberculose de la faune sauvage est enzootique et semble incontrôlable.

2. Tuberculose à *M. bovis* en Grande-Bretagne et en Irlande

2.1. Epidémiologie de la tuberculose à *M. bovis* chez les bovins

2.1.1. Niveaux d'infection et répartition géographique

2.1.1.1. En Grande-Bretagne

La tuberculose bovine due à *M. bovis* constitue un important problème sanitaire, économique et politique en Angleterre et au Pays de Galles, avec une incidence de la maladie élevée (Tableau 4) malgré une stratégie active d'éradication de la maladie (en revanche, l'Ecosse a été reconnue indemne de tuberculose en 2009). L'augmentation de l'incidence est constante depuis la fin des années 90 (Figure 1).

En 2001, la gestion de la fièvre aphteuse a fortement limité le suivi des exploitations (Tableau 4 et Figure 1).

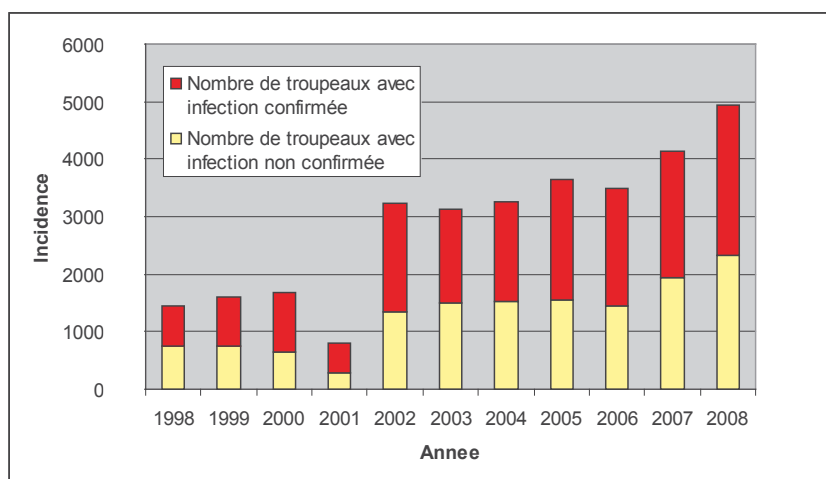
Tableau 4 : Statistiques pour l'Angleterre et le Pays de Galles (1998-2008)
(Annexe 1 de la décision de la Commission 2009/883/CE du 26 novembre 2009)

Année	Troupeaux					Animaux			
	Nombre total de troupeaux	Nombre de tests sur troupeaux indemnes	Nombre de troupeaux avec nouveaux animaux positifs	Nombre de troupeaux avec infection confirmée	Incidence troupeaux (tuberculose confirmée)	Animaux testés	Animaux positifs	Animaux en contact direct	% positifs
1998	95 844	29 435	1 456	717	2,4%	2 291 877	4 876	924	2,1
1999	93 211	32 102	1 616	870	2,7%	2 628 827	5 878	850	2,2
2000	90 189	31 323	1 687	1 045	3,3%	2 722 601	7 015	1 323	2,6
2001	89 253	10 383	790	515	5,0%	1 121 335	5 382	910	4,8
2002	86 148	39 278	3 240	1 891	4,8%	3 726 250	19 787	3 037	5,3
2003	82 570	40 875	3 141	1 639	4,0%	4 243 294	19 929	2 765	4,7
2004	78 872	40 657	3 268	1 747	4,3%	4 339 847	19 775	2 569	4,6
2005	76 277	40 520	3 637	2 076	5,1%	4 617 817	25 665	3 696	5,6
2006	75 285	46 947	3 487	2 027	4,3%	5 229 737	19 826	1 872	3,8
2007	72 225	47 362	4 134	2 194	4,6%	5 529 786	25 714	1 438	4,7
2008	71 731	50 090	4 939	2 621	5,1%	6 045 786	36 580	2 201	6,1

- *Dépistage de l'infection et plan de lutte contre la tuberculose en élevage*

Depuis 1947, la détection des animaux infectés repose sur l'utilisation de l'intradermoréaction comparative (IDC) (utilisant les tuberculines bovine et aviaire). La fréquence des tests varie selon les régions (annuel à quadriennal) et elle est la plus élevée dans le sud-ouest de l'Angleterre (tous les ans). Tout animal positif à l'intradermoréaction est abattu et le reste du troupeau est mis sous restriction jusqu'à ce qu'une série de tests successivement négatifs sur le reste du troupeau atteste de la disparition de l'infection. Si l'infection du troupeau est confirmée à l'abattoir (« *confirmed breakdown* ») sur les animaux positifs au test (par culture positive), les animaux restants du troupeau sont testés deux fois à 60 jours d'intervalle. Si l'infection n'est pas confirmée à l'abattoir, un seul test est réalisé sur le reste du troupeau. Si les tests effectués 60 jours plus tard sont négatifs, l'exploitation est à nouveau testée six mois, puis un an plus tard. Elle retrouve son statut indemne si tous les tests successifs sont négatifs. Si un animal réagit positivement, il est abattu et le reste du troupeau est testé comme précédemment. Dans les zones de dépistage annuel, tous les bovins de plus de six semaines sont testés, tandis que lorsque la fréquence de tests est plus basse, seuls sont testés les femelles ayant mis bas, les taureaux et les animaux achetés depuis les tests précédents et introduits dans l'élevage. Les animaux sont également, en principe, testés avant tout mouvement entre fermes.

Depuis janvier 2010, le plan de dépistage et d'abattage a été renforcé, dans l'objectif d'éviter la persistance de l'infection tuberculeuse dans les élevages bovins et de tendre vers l'éradication de la maladie à long terme (Defra, 2010). La zone où le dépistage est annuel s'étend à présent à tout le sud-ouest de l'Angleterre et concerne 45% des troupeaux (Figure 2). Les zones contiguës aux zones à dépistage annuel sont depuis peu obligatoirement à dépistage biennal. Dans les zones du nord et de l'est de l'Angleterre, où l'incidence reste basse, le dépistage n'est généralement réalisé que tous les quatre ans, excepté en cas d'importation de bovins issus d'une exploitation contaminée.



Incidence : nombre de troupeaux avec nouveaux animaux positifs par IDC

Figure 1 : Incidence de la tuberculose en Grande-Bretagne 1998-2008

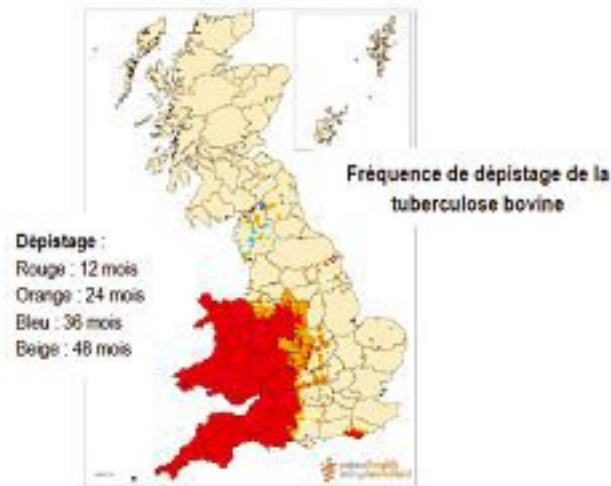


Figure 2 : Intensité de la tuberculination en Grande-Bretagne
<http://www.Defra.gov.uk/animalhealth/managing-disease/bTb/pti/images/Map-large-2010.jpg>

Un usage plus large du test à l'interféron-gamma (Bovigam®) est également prévu :

- ✓ sur les animaux négatifs à la tuberculination dans tous les élevages mis sous restriction dans les zones où le dépistage est réalisé tous les trois ou quatre ans ;
- ✓ sur les animaux négatifs à la tuberculination dans les élevages avec une infection récurrente ;
- ✓ sur les animaux négatifs à la tuberculination dans les élevages où un abattage total est envisagé, afin d'en confirmer la nécessité.

Les animaux présentant un résultat douteux à l'intradermoréaction de manière répétée sont abattus.

▪ *Répartition géographique et temporelle des troupeaux infectés*

La majeure partie des troupeaux infectés en Angleterre se situent dans le sud-ouest du pays. A titre d'exemple, en 2009, la prévalence (en termes de troupeaux mis sous restriction en raison de la détection d'au moins un animal confirmé infecté par culture et/ou avec lésions visibles) était de 6,4% au niveau national, mais de 14,3% dans le sud-ouest de l'Angleterre.

L'augmentation de l'incidence a été particulièrement marquée entre 1996 et 2006 (+225%). L'éradication de la maladie semblait cependant proche à la fin des années 70. En 1979, la prévalence a atteint son niveau le plus bas (0,018 % des animaux dans 0,49% des troupeaux étaient infectés). En 1982, 0,49% des troupeaux présentaient des animaux positifs à la tuberculination contre 3,5% en 1961 (Figure 3). Cependant, l'incidence a diminué de façon moins importante dans le sud-ouest que sur le reste du territoire. Il est possible qu'un réservoir sauvage (blaireaux) de tuberculose bovine se soit alors développé, limitant l'impact des mesures de contrôle mises en place chez les bovins. Ce réservoir sauvage peut également avoir contribué (quoique dans une mesure difficile à établir avec certitude) à l'augmentation exponentielle de la détection de bovins réagissant à la tuberculination à partir des années 90.

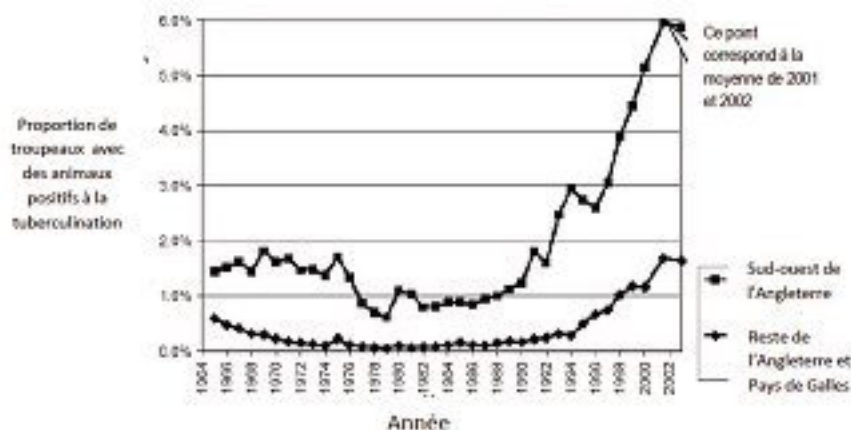


Figure 3 : Proportion de troupeaux ayant des animaux positifs à la tuberculose (et donc mis sous restriction) en Grande-Bretagne de 1964 à 2002 (site web du Defra)

En l'espace d'une vingtaine d'années, la tuberculose a diffusé chez les bovins dans tout le sud-ouest de l'Angleterre et du Pays de Galles (Figure 4).



Figure 4 : Progression de l'infection tuberculeuse des troupeaux en Angleterre et Pays de Galles (foyers confirmés en 1986, 1996 et 2006) (Bourne *et al.*, 2007)

2.1.1.2. En Irlande

L'Irlande compte environ 118 000 troupeaux et 6 millions de bovins, la taille moyenne des troupeaux étant de 52 animaux.

Sont considérés comme infectés de tuberculose bovine des animaux positifs aux tests de tuberculination (IDC) ou détectés à l'abattoir, sachant que les résultats positifs à la tuberculination ne sont pas systématiquement suivis de confirmation en raison de l'incidence élevée de la maladie, et qu'il existe vraisemblablement des faux positifs.

Le taux d'incidence annuelle des animaux considérés comme infectés de tuberculose est d'environ 0,4%.

Environ 7 000 troupeaux sont considérés comme infectés chaque année. Parmi ces derniers, 6 500 sont des cas incidents. Le taux de prévalence troupeaux est donc de 5 à 6%, et le taux d'incidence troupeaux proche de 6% (Tableau 5).

La tuberculose bovine est répartie dans tout le pays, comme le sont les bovins et les blaireaux (McGrath *et al.*, 2009 ; Gormley et Costello, 2003), à la différence de la Grande-Bretagne où le sud-ouest de l'Angleterre est plus touché. Les différents types d'élevages (laitiers et allaitants) sont également répartis sur l'ensemble du territoire ; les bovins restent souvent durant neuf mois au pâturage, quels que soient leur âge et le type de production.

Tableau 5 : Incidence de la tuberculose bovine en Irlande et en Grande-Bretagne
(Sources : EFSA, 2010)

2009 (2008)	Nombre total de troupeaux/animaux		Nombre d'animaux testés (dépistage de routine)	Troupeaux officiellement indemnes (nombre de troupeaux)	Nombre de troupeaux infectés	Prévalence troupeaux (%)
	Troupeaux	Animaux				
Grande-Bretagne	84 515 <i>(85 585)¹</i>	8 394 000	6 941 610	94,01% (79 455) (77 956)	4 574 (2 463)	5,41 (2,88)
Irlande du Nord	26 287 <i>(26 676)</i>	1 612 813	1 601 500	88,3% (23 217) (22 920)	1 608 (769)	6,12 (2,88)
Irlande	117 287	6 025 656			7 000	5,1

¹ Les nombres en italique correspondent aux données de 2008

Les mesures d'éradication de la tuberculose mises en œuvre depuis les années 50 ont permis de réduire l'incidence des bovins détectés par le test intradermique, jusqu'à un plateau qui reste stable depuis 1964 (Tableau 6, Figure 5) (More et Good, 2006).

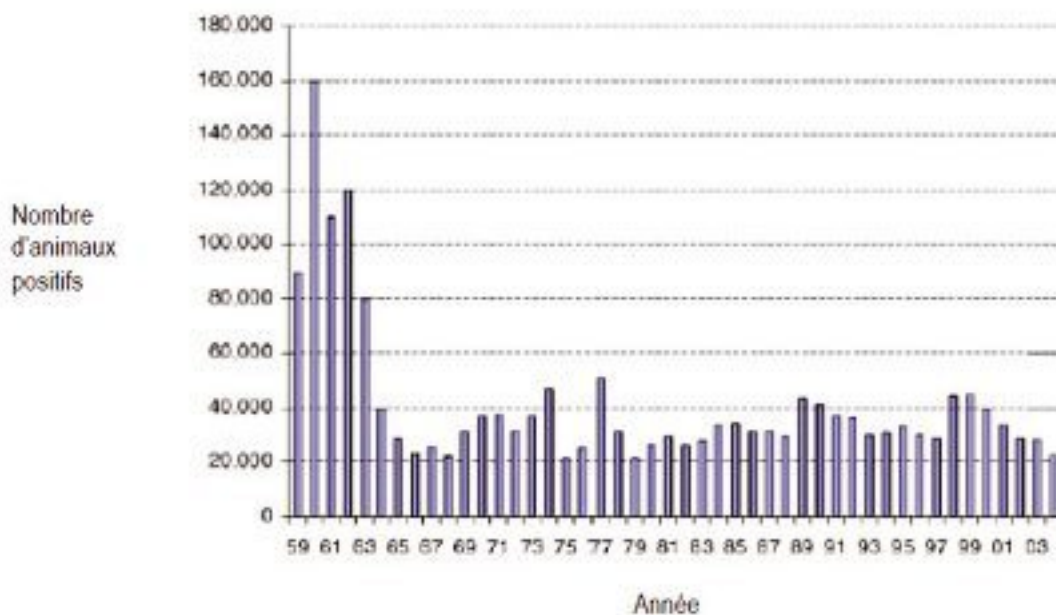


Figure 5 : Nombre d'animaux positifs à l'intradermoréaction en Irlande (1959-2003)
(More et Good, 2006)

Tableau 6 : Incidence de la tuberculose en Irlande

Annexe 1 Commission Decision 2009/883/EC of 26 Novembre 2009, Irlande –Bovine tuberculosis
http://ec.europa.eu/food/animal/diseases/eradication/legisl_en.htm

Année	Nombre d'animaux testés	Nombre de réactions positives à l'IDC	Incidence de l'infection (%)	APT*	RPT**
1960	4 683 700	139 881	2,99	-	29,9
1965	5 359 300	23 378	0,44	-	4,4
1970	5 956 500	35 982	0,60	-	6,0
1975	7 168 100	21 339	0,30	-	3,0
1980	6 908 900	29 827	0,43	3,6	4,3
1985	6 907 200	32 608	0,47	2,9	4,7
1990	6 899 929	41 419	0,60	3,3	6,0
1992	7 084 441	35 997	0,51	3,3	5,2
1994	7 137 696	30 439	0,43	2,9	4,3
1995	7 174 016	33 180	0,46	3,3	4,6
1996	7 412 933	30 400	0,41	3,0	4,1
1997	7 725 634	28 647	0,37	2,9	3,7
1998	7 946 989	44 498	0,56	4,2	5,6
1999	7 569 735	44 903	0,59	4,2	5,9
2000	7 032 407	39 847	0,57	3,9	5,7
2001	7 097 430	33 702	0,48	3,5	4,8
2002	7 025 096	28 930	0,41	3,1	4,1
2003	6 936 820	27 978	0,40	3,1	4,0
2004	6 992 264	22 967	0,33	2,6	3,3
2005	6 407 456	25 884	0,40	2,9	4,0
2006	6 260 133	24 173	0,39	2,7	3,9
2007	6 084 037	27 711	0,45	3,03	4,5
2008	6 150 163	29 901	0,49	3,25	4,9

*Données non disponibles jusqu'en 1978

**APT (Animal per thousand tests) = mesure de l'incidence comparée à la population totale de bovins

***RPT (Rate per thousand tests) = incidence comparée au nombre total de tests effectués (combinant tous les tests réalisés, parfois de façon répétée, chez les mêmes bovins)

2.1.2. Facteurs de risque d'infection des bovins par *M. bovis* en Grande-Bretagne et en Irlande

2.1.2.1. Etudes des facteurs de risque

Diverses études reposant principalement sur des questionnaires renseignés par des agriculteurs ont tenté d'identifier en Angleterre les principaux facteurs de risque de contamination des bovins par *M. bovis* (Bourne *et al.*, 2007). Il apparaît que les facteurs de risque, principalement liés à la gestion sanitaire des exploitations agricoles, sont multiples et variables (parfois même contradictoires) selon les régions et les années d'étude. Aucun paramètre n'apparaît clairement lié à la protection d'une ferme contre l'infection tuberculeuse, et les auteurs eux-mêmes traitent avec prudence les associations mises en évidence entre paramètres et risques de contamination d'une ferme.

Cependant, le maintien des bovins en étable fermée, la multiplication des bâtiments d'élevage, les mouvements de bovins et la proximité de forêts d'arbres à feuilles caduques

sont des facteurs de risque récurrents (Bourne *et al.*, 2007). De plus, la présence de blaireaux dans les bâtiments agricoles et dans les zones de stockage des aliments a clairement été associée à un risque important d'infection (odds ratio supérieur à trois entre fermes infectées et fermes indemnes).

2.1.2.2. Implication des blaireaux dans l'épidémiologie de la tuberculose à *M. bovis*

La tuberculose à *M. bovis* n'a été détectée que relativement récemment chez le blaireau Outre-manche. Le premier animal infecté fut découvert fortuitement en Angleterre en 1971 près d'une ferme soumise à restriction de mouvements (Muirhead *et al.*, 1974).

La tuberculose fut identifiée chez les blaireaux en Irlande en 1974 (Noonan *et al.*, 1975).

En Angleterre, au Pays de Galles et en Irlande, il est à présent établi que le blaireau est réservoir de tuberculose pour les raisons suivantes :

- la tuberculose est enzootique dans les populations de blaireaux dans les zones où la tuberculose persiste chez les bovins. Dans les autres zones, des cas d'infection ont été détectés, mais la prévalence n'est pas connue, hormis dans certaines zones d'Irlande ;
- la répartition géographique des souches chez les bovins et chez les blaireaux est la même (Olea-Popelka *et al.*, 2005 ; Woodroffe *et al.*, 2005) ;
- une réinfection a été observée dans des troupeaux pour lesquels les sources bovines de contamination ont été exclues, parfois à plusieurs reprises, à proximité de groupes de blaireaux infectés (More et Good, 2006) ;
- il existe des possibilités de contact (direct ou indirect) entre bovins et blaireaux (Garnett *et al.*, 2002 ; Tolhurst *et al.*, 2009 ; Ward *et al.*, 2010) ;
- lorsque les densités de blaireaux sont réduites ou que les contacts bovins-blaireaux sont limités, l'incidence de la tuberculose bovine diminue. Ce point sera présenté plus loin.

D'autres espèces sauvages peuvent également être infectées par *M. bovis*, quoiqu'à un niveau moindre par rapport aux blaireaux (Tableau 7) (Delahay *et al.*, 2002 ; Delahay *et al.*, 2007). *M. bovis* a récemment été identifié chez un sanglier dans la forêt de Dean (Foyle *et al.*, 2010).

Tableau 7 : Espèces sauvages autres que le blaireau chez lesquelles *M. bovis* a été isolé en Grande-Bretagne (Delahay *et al.*, 2007)

Espèces	Nombre d'animaux étudiés	Prévalence observée
Daim (<i>Dama dama</i>)	504	4,37%
Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	885	1,02%
Cerf élaphe (<i>Cervus elaphus</i>)	196	1,02%
Muntjac (<i>Muntiacus reevesi</i>)	58	5,17%
Renard (<i>Vulpes vulpes</i>)	756	3,17%
Hermine (<i>Mustela erminea</i>)	78	3,85%
Putois (<i>Mustela putorius</i>)	24	4,17%

En Irlande, la tuberculose est observée chez les daims et les cerfs, avec un taux d'infection de l'ordre de 3% chez les cerfs (O'Keeffe, communication personnelle). Il n'existe pas de programme de lutte organisée par l'Etat pour ces espèces, qui ne sont pas des espèces protégées. Enfin, la tuberculose n'est pas enzootique chez les renards en Irlande.

2.1.2.3. Importance de la transmission de la tuberculose entre bovins et mesures zootechniques pour limiter les facteurs de risque

S'il ne fait pas de doute que, dans le sud-ouest de la Grande-Bretagne et en Irlande, les blaireaux, probablement initialement contaminés par les bovins, sont devenus réservoir primaire de tuberculose bovine, la transmission de la tuberculose entre bovins ne doit pas être sous-estimée. Les mouvements commerciaux avec l'introduction de nouveaux animaux dans les élevages ont été responsables de la diffusion de la maladie au-delà des zones où elle était enzootique chez les blaireaux (Gopal *et al.*, 2006). Les gouvernements anglais et irlandais investissent donc lourdement dans l'optimisation des protocoles de diagnostic de la tuberculose chez les bovins, la centralisation des données sur le suivi des mouvements d'animaux et leur statut sanitaire, et le Defra envisage une vaccination des bovins (au stade de recherche). Les éleveurs sont également fortement invités à limiter les risques de contamination de leurs animaux par les blaireaux et par des bovins issus d'autres élevages en mettant en œuvre une série de mesures recommandées par un groupe d'experts (the Bovine TB Husbandry Group).

En particulier, il est recommandé de :

- limiter l'accès des blaireaux aux zones de réserve et de distribution de nourriture des bovins ;
- garder les pâtures séparées des bois ;
- rester attentif à la présence de latrines de blaireaux ou de signes de contamination des mangeoires par la faune sauvage ;
- retirer tout cadavre de blaireau des pâtures ;
- d'éviter tout contact direct avec les fermes voisines (utiliser des barrières) ;
- de contrôler le statut sanitaire de tout animal introduit dans l'élevage, y compris pour de courts séjours.

Bilan de l'épidémiologie de la tuberculose à *M. bovis* en élevage en Grande-Bretagne et en Irlande

- **En Grande-Bretagne et en Irlande, l'épidémiologie de la tuberculose à *M. bovis* est complexe et semble dépendre de très nombreux facteurs qui varient selon les situations. Pour cette raison, des mesures communes à toutes les exploitations agricoles permettant de réduire significativement les risques sont difficiles à définir.**
- **Il a été montré que la transmission entre bovins était importante, et qu'il est nécessaire de contrôler les mouvements des bovins pour limiter les risques d'infection entre élevages et la persistance à bas bruit de l'infection.**
- **Cependant, l'efficacité des mesures de diagnostic et d'éradication de la tuberculose mises en place est limitée par la présence du réservoir sauvage identifié qu'est le blaireau.**
- **Les mesures zootechniques et sanitaires pour limiter les risques d'infection des bovins par *M. bovis* à partir des blaireaux ne suffisent pas à contrôler l'infection qui continue à se propager dans le sud-ouest de l'Angleterre depuis les années 90.**

2.2. Epidémiologie de *M. bovis* chez le blaireau

2.2.1. Etude clinique

Les blaireaux sont réceptifs à l'infection par *M. bovis*, au même titre que les bovins (ou que l'Homme), mais semblent assez peu sensibles. En particulier, ils ne développent des lésions que dans une minorité des cas, entre 20% (Corner, 2006) et 40% (Jenkins *et al.*, 2008) et peuvent survivre des années à l'infection. Les lésions sont rarement liquéfiées ou calcifiées et peu de bacilles tuberculeux sont visibles au niveau des granulomes microscopiques

(Gavier-Widen *et al.*, 2001 ; Gallagher et Clifton-Hadley, 2000). Les granulomes les plus anciens sont nettement délimités par une capsule de collagène.

La multiplication de *M. bovis* chez le blaireau est particulièrement favorisée dans le système pulmonaire (en raison du taux important d'oxygène) ou dans les tissus sous-cutanés.

A l'autopsie des blaireaux, *M. bovis* est principalement retrouvé dans le système respiratoire, mais sa localisation peut être très variable et comprend fréquemment les nœuds lymphatiques céphaliques et hépatique. Il est cependant rare que la tuberculose diffuse dans tout l'organisme (Murphy *et al.*, 2010).

Avec une dose élevée de 1000 bactéries introduites de façon expérimentale dans le poumon, les lésions visibles se développent en environ 12 semaines (Corner *et al.*, 2008c), ce qui est relativement lent par rapport à d'autres espèces animales plus sensibles comme le possum (*Trichosurus vulpecula*) de Nouvelle-Zélande ou certaines lignées de souris qui succombent en quelques semaines avec une telle dose infectieuse.

Les lésions se développent principalement (Tableau 8) dans le système pulmonaire (poumons, nœuds lymphatiques trachéobronchiques et médiastinaux), ainsi que dans les nœuds lymphatiques rétropharyngiens et les reins (Gallagher et Clifton-Hadley, 2000 ; Gavier-Widen *et al.*, 2001 ; Bourne *et al.*, 2007 ; Murphy *et al.*, 2010).

Tableau 8 : Distribution des lésions tuberculeuses chez les blaireaux autopsiés lors du RBCT¹ dans la zone d'abattage proactif² (Bourne *et al.*, 2007)

Organe ou partie du corps de l'animal	Localisation des lésions ³	Nombre d'animaux porteurs de lésions (%)
Tête	NL rétropharyngiens	96 (24,4%)
	NL sous-maxillaires	40 (10,2%)
	Lésions de la tête	109 (27,7%)
Poumons	Poumons	126 (32,1%)
Cavité thoracique	NL trachéobronchiques	135 (34,4%)
	NL médiastinaux	98 (24,9%)
	Péricarde	14 (3,6%)
	Lésions de la cavité thoracique	176 (44,8%)
Cavité abdominale	NL gastriques	8 (2,0%)
	NL hépatiques	22 (5,6%)
	NL iliaques externes	11 (2,8%)
	NL iliaques internes	10 (2,5%)
	NL mésentériques	8 (2,0%)
	NL rénaux	9 (2,3%)
	Rein	51 (13,0%)
	Foie	28 (7,1%)
Lésions abdominales	105 (26,7%)	
NL périphériques	NL axillaires	37 (9,4%)
	NL inguinaux	23 (5,9%)
	NL poplités	39 (9,9%)
	NL préscapulaires	64 (16,3%)
Lésions périphériques	110 (28,0%)	
Nombre total d'animaux		393

¹ Randomised Badger Culling Trial

² en Grande-Bretagne, zone d'abattage de blaireaux sur une surface d'au moins 100 km² (cf. glossaire)

³ certains animaux présentent des lésions dans plusieurs organes simultanément

2.2.2. Méthodes de détection de la tuberculose chez les blaireaux

2.2.2.1. Culture et histologie

M. bovis est une bactérie intracellulaire à rythme multiplicatif très lent. Elle est difficile à détecter, aussi bien par culture (six semaines sont souvent nécessaires sur milieu solide comme le milieu de Middlebrook) que par coloration de Ziehl-Neelsen sur coupes histologiques avec lésions microscopiques (identifiées par coloration hémalum-éosine). Très peu de bactéries sont visibles au cœur des granulomes tuberculeux des blaireaux, contrairement aux bovins ou aux cerfs (Johnson *et al.*, 2008).

Dans les essais de culture bactérienne rapportés dans la littérature, il est probable que la sensibilité de la culture a été réduite par le traitement préalable au CPC (Chlorure de Cétyle Pyridinium à 1%) (Corner *et al.*, 1995 ; Murphy *et al.*, 2010 ; Corner *et al.*, 2011) utilisé pour réduire la prolifération de bactéries opportunistes. Lorsque la taille des lésions était suffisante (permettant un double prélèvement pour culture et histologie), les tissus étaient examinés par histologie pour détecter des granulomes microscopiques et des bacilles acido-alcool résistants. Lorsque les lésions étaient limitées, seule la culture était réalisée.

Les taux de prévalence de la tuberculose chez le blaireau sont généralement sous-estimés, à moins qu'une autopsie très détaillée et d'importants moyens diagnostiques ne soient mis en place. Un protocole détaillé d'autopsie, avec un grand nombre de tissus examinés, a permis de quasiment doubler la sensibilité de l'autopsie (24,2%) par rapport au protocole classique qui n'avait détecté que 13,2% des 205 blaireaux testés (Crawshaw *et al.*, 2008). La détection de 17 animaux infectés supplémentaires a été rendue possible par l'utilisation de 24 tubes de culture (pour un même échantillon initial) au lieu de six et par une plus longue période de culture (douze semaines au lieu de six), par rapport au protocole standard. Sept animaux ont également été détectés par histologie (coloration hémalum-éosine) alors qu'ils étaient négatifs par culture, avec recherche de granulomes tuberculeux sur tous les tissus prélevés dans le cadre du protocole, y compris sur les tissus sans lésion visible, alors que le protocole classique se limitait aux lésions. Lorsque des granulomes étaient détectés, une coloration de Ziehl-Neelsen permettait de confirmer l'infection tuberculeuse.

Les conditions de préservation des tissus sont également importantes pour garantir un bon niveau de détection de mycobactéries, parfois très rares dans les tissus. En particulier, la prévalence de la tuberculose sur les cadavres retrouvés sur les routes (Bourne *et al.*, 2007) est nécessairement sous-estimée en raison du processus d'autolyse des tissus et de la prolifération de bactéries contaminantes survenant précocement sur les cadavres (Corner *et al.*, 2011), lesquels sont souvent trouvés et prélevés de nombreuses heures après leur mort.

M. bovis peut être détecté dans les excréments de blaireaux infectés : mucus trachéal (aspiré dans la trachée ou prélevé par écouvillonnage du pharynx), urine et selles (ainsi que par écouvillonnage anal). Cette possible détection a été démontrée après infection expérimentale de blaireaux captifs (Lesellier *et al.*, 2011), mais retrouvée également chez des animaux sauvages (Delahay *et al.*, 2000 ; Chambers *et al.*, 2010).

Aucun diagnostic par PCR n'est actuellement réalisé sur tissus de blaireaux en Grande-Bretagne ou en Irlande.

2.2.2.2. Méthodes immunologiques

L'infection par *M. bovis* peut également être détectée par des méthodes immunologiques sur sang frais ou sérum. Ces tests présentent l'avantage de permettre un suivi des prévalences sans nécessiter l'abattage des animaux. Les tests immunologiques pour le diagnostic de la tuberculose chez le blaireau ont principalement été développés ou validés au Veterinary Laboratories Agency (VLA). La sensibilité des tests (Tableau 9) a été calculée sur des animaux autopsiés et la présence de *M. bovis* confirmée par culture.

Tableau 9 : Tests diagnostiques de l'infection à *M. bovis* chez le blaireau, développés au VLA

Test	Sensibilité	Spécificité	Réalisation des tests	Références
IFN-gamma ELISA	84,6%	92,5%	Sur sang frais (< 8h), au laboratoire ; Stimulation par PPD-B et PPD-A	Dalley <i>et al.</i> , 2004 Dalley <i>et al.</i> , 2008 Chambers <i>et al.</i> , 2009
RT-PCR pour IFN-gamma	70,6%	90,7%	Sur sang frais (< 8h), au laboratoire ; Stimulation par PPD-B et PPD-A	Sawyer <i>et al.</i> , 2007
Brock Test	54,7%	93%	Sur sérum, au laboratoire ELISA (recherche d'IgG spécifiques de MPB83)	Chambers <i>et al.</i> , 2009 Clifton-Hadley <i>et al.</i> , 1995a
Brock TB Stat-Pak	49,7%	92,5%	Sur sang frais ou sérum, sur le terrain (test rapide de recherche d'IgG spécifiques de MPB83)	Chambers <i>et al.</i> , 2002 Chambers <i>et al.</i> , 2009 Chambers <i>et al.</i> , 2010

Actuellement, les prélèvements utilisés dans ces tests nécessitent l'anesthésie des animaux (ce qui augmente le coût des opérations), mais des tests réalisables rapidement sur animaux vigiles permettraient de cibler les animaux infectés pour la mise en place de mesures de lutte sur le terrain.

2.2.3. Niveaux de prévalence

2.2.3.1. En Grande-Bretagne

Les niveaux de prévalence sont élevés chez les blaireaux dans le sud-ouest de l'Angleterre. Ces taux sont mesurés après confirmation de l'infection par culture bactérienne de tissus prélevés à l'autopsie réalisée dans des laboratoires d'Etat selon des protocoles standards. Il a été clairement établi que le diagnostic reposant uniquement sur la présence de lésions tuberculeuses visibles sous-estime nettement la prévalence réelle, en raison de la faible proportion de blaireaux infectés présentant des lésions macroscopiques. Lorsque la culture donne un résultat négatif, le diagnostic peut également reposer sur la présence de bacilles acido-alcoolo résistants dans les granulomes tuberculeux typiques visibles au microscope sur tissus fixés et colorés.

De 1975 à 1982, entre 6,9% et 34,5% des blaireaux capturés étaient infectés dans le sud-ouest de l'Angleterre (33-80% des groupes sociaux) lors des opérations d'abattage local près de fermes infectées (Krebs *et al.*, 1997). Plus récemment, des chiffres de 1,6% à 37,2% de blaireaux infectés (16,6% en moyenne) ont été rapportés lors du RBCT (Bourne *et al.*, 2007).

L'autopsie de blaireaux trouvés sur les routes dans sept comtés du sud-ouest de l'Angleterre (comtés qui présentaient une forte prévalence de tuberculose bovine) a révélé une importante prévalence de l'infection tuberculeuse chez ces blaireaux (démontrée par culture bactérienne) (Tableau 10).

Tableau 10 : Prévalence de l'infection à *M. bovis* chez des blaireaux tués sur les routes dans sept comtés de Grande-Bretagne (Bourne *et al.*, 2007)

Comté	Pourcentage de blaireaux, tués sur la route, infectés par <i>M. bovis</i> (taille de l'échantillon)			
	2002	2003	2004	2005
Cornouailles	12% (86)	13% (77)	16% (191)	12% (328)
Devon	7% (115)	5% (178)	10% (172)	11% (204)
Dorset	10% (31)	11% (72)	3% (40)	9% (77)
Gloucestershire	26% (187)	19% (223)	25% (244)	20% (222)
Herefordshire	20% (60)	28% (58)	11% (66)	29% (59)
Shropshire	27% (26)	3% (34)	10% (78)	13% (56)
Worcestershire	11% (38)	8% (75)	11% (124)	18% (117)

La prévalence de la tuberculose chez les blaireaux en dehors des zones à risque pour les bovins n'est pas connue. Elle n'est probablement pas nulle puisque, dans les années 80, des cas de tuberculose chez des blaireaux tués sur des routes en dehors de la zone du sud-ouest ont été rapportés, y compris en Ecosse (un animal sur 48 blaireaux testés entre 1972 et 1993 [<http://www.scottishbadgers.org.uk/newsite/downloads/tbpaper.pdf>]).

2.2.3.2. En Irlande

En Irlande, la prévalence de la tuberculose à *M. bovis* (confirmée par culture bactérienne) est de 19,5% à 26,1% chez les blaireaux testés dans le cadre du « Four Area Study » (Griffin *et al.*, 2005), et de 36,3% sur 215 blaireaux capturés dans 16 comtés différents (Murphy *et al.*, 2010). Quelque 6 000 blaireaux sont tués chaque année, dont 2 000 font l'objet d'analyses (la population de blaireaux, avant abattage, ayant été estimée à 150 000 animaux). Un taux d'infection de 35 à 45% a ainsi pu être mis en évidence. Il faut noter que, dans certaines zones où la tuberculose n'a pas été observée en élevage depuis six ans, le taux d'infection des blaireaux est plus faible, s'établissant à environ 15%. La prévalence réelle de la tuberculose est sans doute sous-estimée pour des raisons pratiques de réalisation des tests diagnostiques : ils doivent donc être principalement considérés comme indicatifs d'un très important niveau d'infection dans cette espèce sauvage dans les zones d'étude.

2.2.4. Transmission de *M. bovis* entre blaireaux

Les blaireaux semblent s'infecter principalement par voie respiratoire. La transmission peut également se produire après morsure entre animaux, les mâles étant principalement concernés (Delahay *et al.*, 2000).

L'excrétion de *M. bovis* dans le mucus trachéal, l'urine et les fèces a été mise en évidence par culture. Elle semble liée à la présence de lésions visibles, du moins dans le cadre d'une infection expérimentale (Lesellier, communication personnelle). Cependant, il n'est pas exclu qu'une excrétion de *M. bovis* se produise alors que les lésions ne sont visibles qu'au microscope, comme cela a été montré chez les bovins (Mc Corry *et al.*, 2005).

Les études longitudinales de transmission de l'infection à *M. bovis* entre blaireaux sont rares, car elles nécessitent des séries de captures et de prélèvements d'échantillons puis de relâchers des animaux potentiellement infectés. A Woodchester Park (comté de

Gloucestershire), situé dans une des zones du sud-ouest de l'Angleterre à très forte prévalence de tuberculose chez les bovins et les blaireaux, la progression de la tuberculose a été suivie dans 22 groupes de blaireaux pendant 15 ans (Delahay *et al.*, 2000). Le diagnostic reposait uniquement sur des réponses sérologiques (Brock test, dont la sensibilité est d'environ 50%) et des cultures sur mucus trachéal, urine et fèces prélevés sur animaux vivants. Les animaux étaient considérés comme « exposés » s'ils étaient positifs seulement au test sérologique, excréteurs si la bactérie était découverte en culture et « super-excréteurs » si au moins deux prélèvements consécutifs ou simultanés étaient positifs en culture. Sur la période d'étude rapportée, l'infection à *M. bovis* a semblé ne progresser que lentement entre et à l'intérieur des groupes.

La transmission lente de l'infection à *M. bovis* intergroupes peut s'expliquer par la territorialité des groupes de blaireaux qui migrent peu hors de leur territoire (et principalement lors des périodes de reproduction) (Rogers *et al.*, 1998 ; Pope *et al.*, 2006) en particulier dans le cadre de fortes densités comme celles observées à Woodchester Park.

Bilan du diagnostic et de l'épidémiologie de *M. bovis* chez le blaireau en Grande-Bretagne et en Irlande

- **En Grande-Bretagne et en Irlande, la prévalence de l'infection à *M. bovis* chez les blaireaux est élevée dans les zones où elle a été étudiée, à proximité des élevages infectés (16,6% en moyenne sur environ 11 000 blaireaux en Grande-Bretagne ; 36,3% sur 215 blaireaux dans 16 comtés irlandais en 2010).**
- **Les chiffres de prévalence rapportés sont probablement souvent en-dessous de la réalité, la détection de l'infection étant limitée pour des raisons pratiques (nombre de tubes pour mise en culture, nombre et quantité de tissus prélevés, décontamination des cultures, délai entre prélèvement et analyse).**
- **La plupart des blaireaux infectés par *M. bovis* ne présentent pas de lésions visibles ; il ne faut donc pas se fonder sur la présence de lésions pour le diagnostic.**
- **Dans ces deux pays, le diagnostic de l'infection à *M. bovis* chez les blaireaux repose sur les résultats de culture bactérienne parfois associée à la recherche de granulomes (lésions microscopiques) caractéristiques avec présence de bacilles acido-alcool résistants.**
- **L'expérience britannique a montré que la détection de l'infection à *M. bovis* est également possible sur animaux vivants grâce à des tests immunologiques. Les tests cellulaires (suivis de la mesure de l'IFN γ par ELISA) sont les plus sensibles, mais nécessitent un équipement de laboratoire et une formation technique spécifiques, ainsi qu'un traitement du sang dans les huit heures suivant son prélèvement. Les tests sérologiques sont plus simples à réaliser, mais sont moins sensibles. L'utilisation de ces techniques immunologiques serait adaptée pour un suivi de la prévalence de l'infection à *M. bovis* sans abattage des blaireaux.**

2.3. Densités de population de blaireaux en Grande-Bretagne et en Irlande

Peu d'études ont été menées en Angleterre et en Irlande visant à mesurer les densités des populations de blaireaux. Il semble cependant que les populations britanniques et irlandaises soient les plus élevées d'Europe, probablement grâce à la protection juridique dont l'espèce bénéficie (*cf.* ci-dessous, paragraphe 2.4).

Il est estimé qu'entre 1988 et 1997, la population de blaireaux a augmenté de 70% en Angleterre (Cresswell *et al.*, 1990 ; Wilson *et al.*, 1997). Parmi les densités les plus élevées publiées figurent celles de la zone protégée de Woodchester Park dans le sud-ouest de l'Angleterre où une population de blaireaux est suivie depuis les années 80 ; une densité de 25,3 animaux par km² y a été relevée (Rogers *et al.*, 1998).

En 1997, dans le sud-ouest de l'Angleterre, des zones soumises à des actions de lutte de type réactif autour de fermes infectées recensaient en moyenne quatre blaireaux par km² (Bourne *et al.*, 2007) et 3,4 terriers actifs par km². Dans les mêmes zones dans lesquelles tout abattage a été stoppé, les densités de population mesurées quatre à cinq ans plus tard sont passées à 9,17 terriers au km². Des chiffres plus récents rapportent 20 à 50 blaireaux au km² dans les zones les plus denses (Swarbick et Hutchinson, 2009).

En Irlande, la densité moyenne des blaireaux est plus faible, de l'ordre de 2 à 3 animaux par km² (O'Keeffe, communication personnelle ; Small, 1995).

Bilan des densités de population de blaireaux en Grande-Bretagne et en Irlande

- **En Grande-Bretagne, la densité de population de blaireaux a été estimée de 20 à 50 individus par km² dans les zones les plus denses.**
- **En Irlande, la densité moyenne de population de blaireaux est plus faible, de l'ordre de deux à trois animaux par km².**

2.4. Méthodes de lutte contre la tuberculose à *M. bovis* chez le blaireau

2.4.1. Abattage

L'abattage des blaireaux est strictement contrôlé en Grande-Bretagne, car l'espèce (animaux et terriers) est protégée par le « Badger Act » (1973, 1992) et le « Wildlife and Countryside Act » (1981). Des permis peuvent cependant être accordés pour éliminer (par abattage ou déplacement) des blaireaux et/ou leur terrier d'une zone afin de limiter le risque de diffusion de la tuberculose. Ces méthodes doivent être éthiques (pas de déterrage avec chien ou de gazage).

En Irlande, le blaireau est protégé par un « Wildlife Act ». Le blaireau est également protégé par la Convention de Berne, mais les pays signataires comme l'Irlande peuvent bénéficier de dérogations pour protéger les troupeaux de risques graves, si aucune autre mesure n'est envisageable et que la population n'est pas mise en danger par ces mesures. Ainsi, en Irlande, l'abattage des blaireaux ne peut avoir lieu que sur un maximum de 30% des terres agricoles.

2.4.1.1. En Grande-Bretagne

- ***Premiers résultats d'abattage de blaireaux***

L'abattage des blaireaux a été réalisé rapidement suite à la découverte de la maladie dans cette espèce en Grande-Bretagne, avec l'objectif de juguler l'infection. Les mesures successivement mises en place en Grande-Bretagne sont décrites ci-dessous. Quoique parfois temporairement efficace pour abaisser l'incidence de tuberculose bovine, cette méthode de contrôle a été insuffisante pour limiter l'expansion de *M. bovis* dans le temps et l'espace, aussi bien chez les bovins que chez les blaireaux.

En 1975, afin de garder le contrôle des méthodes et des résultats de l'abattage des blaireaux, le ministère de l'Agriculture anglais de l'époque (le MAFF) a chargé certains de ses agents de l'élimination des blaireaux. Le gazage au cyanure d'hydrogène était utilisé. En 1979, les taux de prévalence de la tuberculose bovine ont atteint leur niveau le plus bas (prévalence troupeaux de 0,49%, prévalence animaux de 0,018%).

Une première campagne d'abattage à grande échelle eut lieu à partir de décembre 1975 dans la région de Thornbury, avec un gazage des terriers sur 104 km² délimités par des limites géographiques claires, sur une durée de six ans. Toute activité de blaireaux avait disparu en 1980 et 10 ans furent nécessaires à la reconstitution des populations. La tuberculose bovine, initialement présente avec une prévalence de 8,4%, disparut jusqu'en 1991 (pendant 11 années suivant l'élimination complète des blaireaux et trois ans après que les blaireaux eurent commencé à recoloniser la zone) (Clifton-Hadley *et al.*, 1995b ;

Gallagher *et al.*, 2005). Les résultats apparemment encourageants de cet abattage furent cependant critiqués en raison de l'absence de zone témoin.

De plus, une forte polémique sur le rôle réel des blaireaux comme réservoir de la tuberculose bovine et sur le caractère cruel des méthodes d'élimination des blaireaux a conduit le gouvernement à demander un rapport d'experts (Zuckerman, 1980). Le rapport concluait que les blaireaux constituaient probablement une source non négligeable de contamination des bovins par *M. bovis*, et que la densité des blaireaux et leur proximité des bovins favorisaient la transmission de la tuberculose. Les foyers de tuberculose bovine s'étant multipliés depuis l'arrêt des abattages de blaireaux, le rapport recommandait leur reprise, mais en capturant les blaireaux à l'aide de cages dans lesquelles les blaireaux seraient abattus au fusil.

Suivant les recommandations du rapport, une stratégie dite « centrifuge » fut menée de 1982 à 1985 : les blaireaux étaient abattus sur et autour des fermes infectées. Certains animaux étaient autopsiés, et lorsque l'infection était confirmée, tous les autres animaux du groupe étaient également éliminés. Les groupes voisins étaient testés et éliminés jusqu'à atteindre des zones peuplées de groupes sains. Les abattages étaient répétés dans les zones ciblées pendant six mois.

Le bilan, réalisé en 1985 (Dunnet *et al.*, 1986), conclut que les mesures de contrôle de la tuberculose chez les blaireaux étaient nécessaires et que des données supplémentaires sur l'épidémiologie de la maladie chez les bovins et les blaireaux devaient être réunies ; un test de diagnostic utilisable sur blaireaux vivants devait également être développé.

Une stratégie dite « intermédiaire » commença en 1986. Les blaireaux étaient abattus uniquement autour des foyers tuberculeux bovins s'ils restaient, après enquête épidémiologique, une source possible d'infection. Le test des blaireaux (avec le Brock test) suivi de l'abattage des animaux positifs ne fut réalisé que de 1994 à 1996 (stratégie dite « avec test sur animaux vivants ») en raison de la faible sensibilité du test (environ 50%).

Cependant, l'incidence de tuberculose bovine augmenta dans le sud-ouest de l'Angleterre malgré la mise en place de cette stratégie, ainsi que dans de nouvelles régions du pays (sud du Pays de Galles et régions centrales). Un nouveau rapport d'experts fut donc produit (Krebs *et al.*, 1997). Ce rapport demanda la réalisation du RBCT (décrit ci-dessous). Tout abattage des blaireaux fut suspendu.

Tableau 11 : Mesures d'abattage de blaireaux réalisées en Angleterre avant le RBCT et résultats observés
 (<http://Defra/web/corporate/consult/tb-control-measures/100915-tb-control-measures-annexa.pdf>).

Stratégies	« gazage »	« centrifuge »	« intermédiaire »	« avec test sur animaux vivants »
Périodes	1975-1982	1982-1986	1986-1997	1994-1996
Analyses sur blaireaux	Oui (deux blaireaux testés [culture] par groupe social)	Oui (deux blaireaux testés [post mortem et culture] et par groupe social)	Non	Oui – recherche d'anticorps par ELISA Brock
Méthode d'abattage	Gazage au cyanure d'hydrogène	Cage-piège et tir	Cage munie d'une trappe et tir	Cage-piège et tir
Prévention de recolonisation	12 mois	six mois	Aucune	trois mois
Superficie de la zone d'élimination	Plus de 10 km ²	9 km ² en moyenne	12 km ² en moyenne	1 km ² en moyenne
Efficacité (nombre de blaireaux pris)	Elevée	Moyenne à élevée (70-80% des groupes sociaux éliminés)	Faible (en raison d'une faible sensibilité)	Variable
Gestion des femelles en lactation	Aucune	Relâchées	Relâchées	Relâchées
Effet sur la prévalence chez les blaireaux	Inconnue car aucune autopsie n'a été réalisée	Blaireaux colonisateurs infectés avec la même prévalence	Blaireaux colonisateurs infectés avec la même prévalence	Inconnu
Effet sur les troupeaux	Diminution du nombre de foyers (pendant plus de 10 ans dans la zone de Thornbury)	Foyers tuberculeux moins nombreux dans les zones de capture larges	Foyers plus grands, avec des bovins sans lésions	Inconnu
Remarques	Terriers identifiés par un personnel de terrain expérimenté	Groupes sociaux identifiés grâce à des appâts marqués par des fragments de plastique colorés que l'on peut retrouver dans les latrines. Des échantillons étaient prélevés sur les cadavres pour identifier les groupes infectés et les éliminer, et ce de proche en proche jusqu'à l'obtention d'une zone de groupes sociaux non infectés	Opérations d'élimination de blaireaux limitées autour de foyers bovins confirmés dont l'origine était attribuée aux blaireaux, comme recommandé dans le rapport Dunnet, dans l'attente d'autres données sur le rôle de l'élimination des blaireaux dans le contrôle de la tuberculose dans les troupeaux et d'un test diagnostique fiable	Etude dans laquelle les groupes de blaireaux étaient soit testés et les animaux abattus si positifs, soit abattus si proches d'un foyer bovin

Les mesures d'abattage conduites de 1975 à 1996 et leur bilan sont résumés dans le Tableau 11 et l'évolution de l'incidence est illustrée par la Figure 6.



Figure 6 : Evolution de l'incidence dans le sud-ouest de l'Angleterre et dans le reste du pays lors de la mise en place de diverses méthodes de contrôle de la tuberculose chez le blaireau

- L'essai randomisé d'élimination des blaireaux (« Randomised Badger Culling Trial », RBCT)

Mené entre 1998 et 2005, cet essai a permis d'établir scientifiquement (en associant des zones « témoin » aux zones d'abattage) le rôle de réservoir joué par le blaireau pour *M. bovis* et l'efficacité des mesures d'abattage des blaireaux sur l'incidence de la tuberculose bovine.

✓ Protocole

Le protocole retenu était le suivant : trente zones de 100 km² environ, caractérisées par une forte incidence de tuberculose chez les bovins, ont été choisies sur tout le territoire. Toutes les zones se trouvaient dans le sud-ouest de l'Angleterre. Quand cela était possible, les limites des zones suivaient des limites de propriétés ou des limites naturelles. Les zones voisines étaient séparées par une zone tampon d'au moins trois km.

Les trente zones ont été groupées en dix lots de trois « triplets ». Pour chaque lot du triplet, l'un des protocoles suivants a été affecté au hasard :

- l'abattage « réactif » ou abattage ciblé des blaireaux localisés sur et à proximité des exploitations identifiées comme foyer de tuberculose. En moyenne, la zone ciblée pour l'abattage représentait une superficie de 5,3 km² ;
- l'abattage « proactif » ou abattage massif des blaireaux dans toute une zone de 100 km² ;
- la zone témoin, où aucun abattage n'était pratiqué mais où une surveillance était réalisée (Donnelly *et al.*, 2007).

Entre 1998 et 2005, chaque protocole a été répété entre quatre et sept fois selon les triplets pour l'abattage proactif, et en fonction des foyers bovins pour l'abattage réactif.

A noter que l'abattage était interdit entre février et avril pour permettre la reproduction des blaireaux et que le programme a dû être interrompu en raison de l'épizootie de fièvre aphteuse entre février 2001 et mai 2002 (au moment de l'interruption, sept triplets sur les dix avaient démarré le protocole) (Bourne *et al.*, 2007).

Les blaireaux étaient capturés à l'aide de cages-pièges disposées dans la soirée précédant le jour de la capture. L'efficacité de piégeage a été estimée 1,8 blaireaux/ km²/ an. Dans la plupart des zones, le nombre de blaireaux capturés a été le plus élevé lors de la première

année d'abattage, avec une efficacité de capture estimée à 71-85%. La totalité des zones sélectionnées n'était pas accessible (certains propriétaires en avaient refusé l'accès) et certains groupes de blaireaux ont échappé à l'abattage. Les populations de blaireaux ont été diminuées de 32 à 77% selon les zones (Smith et Cheeseman, 2007).

Le diagnostic de tuberculose était établi par une autopsie suivie d'une culture bactérienne : un mélange de tissus (la moitié de chaque nœud lymphatique rétro-pharyngien, les deux nœuds lymphatiques trachéobronchiques et le nœud lymphatique médiastinal le plus accessible, ainsi que toute lésion tuberculeuse typique) était mis en culture sur milieu 7H11. Une coloration de Ziehl-Neelsen sur lésions typiques de tuberculose était réalisée si la culture était négative. La culture, dont la sensibilité était limitée par le nombre de tubes de culture, les traitements de décontamination (CPC), le choix et la quantité des tissus prélevés (Crashaw *et al.*, 2008), a probablement conduit à une sous-estimation de la prévalence (Bourne *et al.*, 2007).

Dans les zones d'abattage proactif, 8910 blaireaux ont été abattus, ainsi qu'environ 2 000 blaireaux dans les zones d'abattage réactif. Dans ce dernier cas, l'abattage réactif a été suspendu en 2003, donc avant la fin prévue du protocole, en raison d'une augmentation de la tuberculose bovine jugée trop importante (plus 19%) par rapport à la zone témoin.

✓ Résultats

○ Efficacité de l'élimination des blaireaux

Il est admis que l'abattage a concerné environ 70% des blaireaux (Smith et Cheeseman, 2007) si l'on se fonde sur l'efficacité de la capture par cage dans des populations connues de blaireaux (à Woodchester Park). Il peut sembler surprenant que le nombre de blaireaux capturés dans chaque zone ne diminue pas de façon plus importante malgré les captures répétées plusieurs années consécutives. Cependant, les blaireaux n'étaient pas chassés durant les périodes de reproduction, ce qui a certainement permis aux populations de se reconstituer. De plus, la perturbation de la structure des groupes a dû être favorable à l'immigration accrue de groupes voisins (Carter *et al.*, 2007). A la suite de l'abattage, les déplacements des blaireaux ont augmenté (des animaux ont été abattus jusqu'à plus de cinq kilomètres de leur terrier d'origine), comme l'a révélé l'étude (sur 16 loci) de la diversité génétique des animaux du RBCT, entre le premier et le deuxième abattage (Pope *et al.*, 2007).

Le Tableau 12 rend compte de la baisse de la densité moyenne de blaireaux capturés au cours du temps dans les zones proactive et réactive. A partir de la quatrième année d'abattage, la densité des terriers en activité a chuté de 69% (2,83 terriers actifs en zone d'abattage proactif contre 9,18 en zone témoin), ainsi que la densité des latrines de 73% (2,49 latrines en zone d'abattage proactif contre 9,14 en zone témoin). De plus, la densité moyenne de cadavres retrouvés sur les routes était inférieure de 73% dans les zones d'abattage proactif (0,029/ km²) à celle des zones témoin (0,105/ km²) (Bourne *et al.*, 2007).

Tableau 12 : Densités moyennes de blaireaux capturés
(Source : Bourne *et al.*, 2007)

	Zone (km ²)	1998	1999	2000	2002	2003	2004	2005	Moyenne
Zone d'abattage proactif	113,26	2,34	1,13	2,86	1,83	1,48	1,22	1,06	1,40
Zone d'abattage réactif	116,06	0,00	0,75	0,71	0,81	1,07	-	-	0,95

- *Effet sur la prévalence de la tuberculose chez les blaireaux*

Les taux de prévalence dans les populations de blaireaux n'ont pas diminué suite aux abattages (Tableau 13), ce qui a pour conséquence la persistance de blaireaux infectés, potentiellement excréteurs, à proximité des élevages.

Tableau 13 : Prévalence de la tuberculose chez les blaireaux capturés dans les zones d'abattage proactif (en pourcentage)
(Source : Bourne *et al.*, 2007)

Triplet	Zone (km ²)	1998	1999	2000	2002	2003	2004	2005
A	104		15		30	35	16	6
B	102	5	6	8	20	9	15	17
C	121		2	5	7	19	14	12
D	104				34	22	27	15
E	119			6	10	13	14	15
F	111			3	8	7	7	6
G	114			7	9	8	9	12
H	116			7	11	15	16	19
I	131				37	11	9	23
J	111				15	7	17	34

De plus, le taux de prévalence de tuberculose bovine chez les blaireaux en zone indemne n'étant pas connu, il reste difficile de fixer une limite claire de densité en dessous de laquelle les risques de contamination des bovins seraient nuls

- *Baisse de l'incidence de la tuberculose bovine*

Ainsi qu'il est résumé au tableau 14, à l'intérieur des zones d'abattage proactif, l'incidence de la tuberculose bovine (en termes de troupeaux confirmés infectés) a baissé de 23,2% en moyenne (-32,7 à -12,4%, IC de 95%) par rapport aux zones témoins, entre le début et la fin de l'étude. L'effet s'est renforcé au cours des trois années suivant l'arrêt de l'abattage des blaireaux, avec une baisse de 34,1% de l'incidence de tuberculose bovine (-43,6% à -23% IC de 95%) (Jenkins *et al.*, 2010).

Dans la zone de 2 km en périphérie des zones d'abattage, l'incidence de la tuberculose bovine, mesurée tous les six mois depuis la fin de l'abattage des blaireaux, a d'abord augmenté en moyenne de 24,5% (-0,6 à 56% IC de 95%) pendant la durée de l'étude, mais a baissé de 5,6% (-31 % à 29,1%, IC de 95%) au cours des trois années suivantes (Tableau 14).

Tableau 14 : Réduction de l'incidence de la tuberculose bovine dans les zones d'abattage proactif et dans les zones périphériques durant la période d'abattage, et au cours des années suivantes (Source : Defra, 2010)

	Depuis le premier abattage jusqu'à un an après le dernier abattage	Un an après le dernier abattage jusqu'au 2 juillet 2010	Du premier abattage au 2 juillet 2010
Dans les zones d'abattage proactif de 100 km ²	-23,2% (-32,7% à -12,4%)	-34,1% (-43,6% à -23,0%)	-28,3% (-35,0% à -20,9%)
Dans les zones de 2 km, sans abattage, autour des zones d'abattage	+24,5% (-0,6% à +56,0%)	-5,6% (-31,0% à +29,1%)	+9,0% (-15,5% à +40,7%)

L'augmentation de la tuberculose bovine en marge des zones d'abattage (ainsi que dans les zones d'abattage restreintes à la proximité d'élevages infectés) a été expliquée par un phénomène de perturbation de la structure des groupes de blaireaux, avec une augmentation des mouvements d'animaux potentiellement infectés entre groupes (Carter *et al.*, 2007 ; McDonald *et al.*, 2008) et, par conséquent, un risque accru d'exposition des bovins et des blaireaux. En effet, habituellement, les blaireaux sont fortement territoriaux, avec des territoires aux limites clairement définies et fixes, en particulier lorsque la densité des blaireaux est forte ; l'atteinte de la cohésion des groupes sociaux semble avoir perturbé ce comportement.

✓ *Bilan de l'étude RBCT*

Les conclusions de l'ISG (Independent scientific group) sont qu'un abattage doit être massif (répété sur cinq années, complet sur une zone assez large) pour permettre une baisse significative de l'incidence de la tuberculose bovine. En utilisant la modélisation et en intégrant les données du RBCT, la surface optimale sur laquelle l'abattage des blaireaux permettrait une baisse significative de la tuberculose bovine serait de 141 km² (Jenkins *et al.*, 2010).

Cependant, l'étude économique de l'ISG indique qu'une telle opération serait trop coûteuse si elle était réalisée dans les mêmes conditions que celles du RBCT.

Un rapport d'experts indépendants (King, 2007) a émis une conclusion différente, considérant que l'abattage des blaireaux était une mesure cruciale pour garantir un contrôle du réservoir sauvage blaireau et que les critères économiques présentés par l'ISG étaient secondaires. Des barrières géographiques telles que des fleuves ou des autoroutes devraient être utilisées en bordure des zones d'abattage pour limiter l'effet délétère lié à la perturbation des groupes de blaireaux, comme cela a été montré en Irlande (Four Areas Study). Il considérerait également que d'autres mesures, telles que la vaccination des blaireaux devraient être utilisées dès qu'elles seraient disponibles.

▪ *Stratégie actuelle d'abattage*

La stratégie de contrôle de l'infection à *M. bovis* chez le blaireau est actuellement discutée, et sera décidée au cours de l'année 2011. Aucune mesure n'est encore mise en place.

L'abattage des blaireaux est l'une des options envisagées. Les critères qui seraient proposés pour obtenir un permis d'abattre des blaireaux seraient les suivants :

- ✓ la tuberculose bovine persisterait dans la zone avec une forte incidence (comtés avec tests annuels) et les blaireaux y seraient considérés comme source d'infection chez les bovins ;
- ✓ la superficie de la zone concernée serait d'au moins 150 km² ;

- ✓ au moins 70% du territoire seraient accessibles ;
- ✓ des barrières géographiques autour de la zone d'abattage devraient autant que possible exister pour limiter l'effet de perturbation périphérique ;
- ✓ l'abattage ne serait autorisé que pour des personnes formées, détentrices d'un permis pour tir au fusil, à vue ou en cage ;
- ✓ l'abattage serait coordonné localement, en parallèle avec la possibilité de vacciner les animaux ;
- ✓ l'abattage devrait être pratiqué au minimum une fois par an et répété pendant au moins quatre ans ;
- ✓ des taux d'abattage devraient être calculés par zone (70% des animaux d'une zone, pour reproduire les résultats du RBCT) pour atteindre des densités d'animaux suffisamment basses tout en ne mettant pas l'espèce en danger ;
- ✓ l'abattage ne devrait pas avoir lieu en hiver/printemps pour éviter l'élimination de mères dont les petits seraient encore au terrier ;
- ✓ tous les cadavres devraient être collectés et incinérés ;
- ✓ toutes les mesures nécessaires devraient être mises en place pour maîtriser la tuberculose chez les bovins ;
- ✓ l'impact de la mise en place de l'abattage des blaireaux devrait être mesuré tous les quatre ans.

2.4.1.2. En Irlande

- *Une première étude* a été conduite en Irlande (en East-Offaly, à l'ouest de Dublin) de 1989 à 1994. Les blaireaux étaient éliminés systématiquement sur 738 km² comprenant la zone d'étude proprement dite et une zone tampon de moins de trois kilomètres (Eves, 1999). Les variations de l'incidence de la tuberculose bovine ont été comparées avec celles observées dans une zone témoin périphérique de 1455 km². La proportion de bovins positifs à la tuberculose a diminué de 92% dans la zone d'étude alors qu'elle n'a baissé que de 49% dans la zone témoin (Griffin et al., 1996).

- Le « *Four Areas Study (FAS)* » est une large étude de l'impact de l'abattage de blaireaux qui a été commencée un an avant le RBCT en Grande-Bretagne (Griffin et al., 2005 ; Corner et al., 2008a). Le Tableau 15 résume et compare les deux protocoles mis en place en Angleterre et en Irlande.

**Tableau 15 : Comparaison des protocoles mis en place en Angleterre et en Irlande
(Bourne *et al.*, 2007 ; Griffin *et al.*, 2005)**

	Angleterre (RBCT)	Irlande (FAS)
Période	1998-2005	1997-2002
Superficie totale de l'étude (km²)	≈ 3000	≈ 2000
Zonage	10 x 3 zones de 100 km ² (proactive + réactive+ témoin)	4 x 2 zones de 250 km ² en moyenne incluant une zone d'abattage proactif et une zone d'abattage réactif (référence)
Choix des zones	Au hasard parmi les régions à haut risque de tuberculose bovine (sud-ouest de l'Angleterre)	Sur des critères géographiques dans des régions à haut risque
Présence de barrières naturelles	Parfois	Oui. Zone tampon de 6 km de large si absence de barrière
Fréquence des abattages	1 fois par an environ	2 à 3 fois par an
Nombre de blaireaux abattus	≈ 11 000	2618
Méthode de piégeage des blaireaux	Cage-piège	Collet abdominal ¹
Intensité du piégeage (blaireaux/ km² /an)	1,8	0,38
Diagnostic de tuberculose	Culture bactérienne ² + histologie	Culture bactérienne ³ + histologie

¹ câble en acier de 143 cm de long dont le diamètre de fermeture est limité à 28 cm

² culture bactérienne réalisée sur milieu de Middlebrook 7H11 après décontamination avec CPC

³ culture bactérienne réalisée sur milieu de Stonebrink après décontamination avec acide oxalique

✓ *Protocole*

L'étude FAS a été conduite entre septembre 1997 et août 2002 sur quatre zones situées dans quatre régions d'Irlande (comtés de Cork, Donegal, Kilkenny et Monaghan), choisies en fonction de la prévalence apparente de tuberculose à *M. bovis* chez les bovins, de la représentativité du paysage et de la présence si possible de frontières géographiques naturelles (rivières, reliefs, lacs, etc.). En l'absence de telles barrières, une zone tampon de 6 km de large a été créée autour de la zone d'étude.

Pour chaque comté et chaque zone d'étude, une zone de référence a été définie. Cette zone de référence présentait les mêmes caractéristiques en termes de densité de populations de blaireaux et de bovins, taille des troupeaux, type d'exploitation, prévalence de la maladie et paramètres géographiques, que la zone d'étude correspondante. En l'absence de barrière naturelle, la zone de référence était séparée de la zone d'étude d'au moins six kilomètres (zone tampon).

En moyenne, les zones d'étude et de référence s'étendaient chacune sur 250 km² dans chaque comté. Dans les zones d'étude (et les zones tampons le cas échéant), l'abattage des blaireaux était massif ; le maximum de blaireaux possible était abattu et le nombre de blaireaux présents sur ces zones était maintenu au niveau le plus bas possible (ce qui correspond au protocole « proactif » du Royaume-Uni). Dans les zones de référence, les blaireaux étaient abattus sur et à proximité immédiate des exploitations où les foyers de tuberculose avaient été recensés chez les bovins (ce qui correspond au protocole « réactif » du Royaume-Uni).

Les blaireaux étaient capturés au moyen de collets. L'efficacité de piégeage a été estimée en moyenne à 0,57 blaireaux/ km²/ an dans les zones d'étude et à 0,07 blaireaux/ km²/ an dans les zones de référence pendant les deux premières années.

Les blaireaux abattus ont fait l'objet d'analyses comme suit : en cas de lésions suspectes, tous les tissus concernés étaient examinés en histopathologie et en culture bactérienne. En l'absence de lésion, une culture bactérienne était réalisée sur un pool de tissus incluant les nœuds lymphatiques, les reins et les poumons. Un blaireau était considéré comme positif si l'examen histopathologique et/ou la culture était positif (Griffin *et al.*, 2005).

✓ Résultats

Les résultats montrent, dans le FAS comme pour le RBCT, une baisse de l'incidence de la tuberculose bovine à la suite de l'abattage des blaireaux. Celle-ci a diminué de 26% par rapport à la zone de référence, et de 36% en excluant la première année en East Offaly (Tableau 16).

Lors du FAS, la réduction de l'incidence de la tuberculose bovine a été au minimum de 51% à Cork et au maximum de 68% à Kilkenny (Griffin *et al.*, 2005) et, en excluant la première année, au minimum de 55%, à Monaghan, et au maximum de 76%, à Kilkenny. Ces très fortes différences ont peut-être été accentuées par le fait que la zone de référence était la zone périphérique à la zone d'abattage où des perturbations des groupes de blaireaux, et donc une augmentation locale de l'incidence bovine, ont pu se produire (les chiffres nécessaires pour le confirmer ou l'infirmer ne sont pas publiés). Comme lors du RBCT, la prévalence de l'infection à *M. bovis* chez les blaireaux n'a pas baissé de manière significative à la suite des abattages.

Tableau 16 : Comparaison des résultats obtenus au Royaume-Uni et en Irlande (Bourne *et al.*, 2007 ; Griffin *et al.*, 2005 ; Corner *et al.*, 2008a)

	Royaume-Uni	Irlande
Effet sur les densités de blaireaux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abattage proactif : - 70% ▪ Abattage réactif : - 26% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baisse du taux de capture de 75% dans les zones d'étude (« proactives »). ▪ Pas de tendance significative en zone de référence (« réactives »)
Taux de prévalence d'infection à <i>M. bovis</i> chez les blaireaux	16,6% en zone d'abattage proactif Augmentation au fur et à mesure des abattages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zone d'étude (« proactive ») : 19,5% ▪ Zone de référence (« réactive ») : 26,1%
Effet sur l'incidence de la tuberculose dans les foyers bovins	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En zones d'abattage proactif: -34,1%. ▪ Dans les 2 km autour des zones d'abattage proactif: -5,6% ▪ Dans zones d'abattage réactif : +19% 	-60 à -96% dans les zones proactives par rapport à la zone réactive la dernière année

▪ *Situation actuelle* : en Irlande, une étude épidémiologique est réalisée pour tout élevage nouvellement infecté, afin d'identifier si les blaireaux voisins de l'élevage pourraient être la cause de l'infection. Si les causes d'origine bovine sont écartées, les blaireaux sont capturés à l'aide de collets dans un diamètre de deux kilomètres autour des fermes infectées, et abattus. Il s'agit donc de mesures de type « réactif ». Ces mesures auraient permis une diminution sensible de l'incidence et de la prévalence de la maladie. Pour cet abattage, une autorisation est nécessaire, le blaireau étant protégé par un texte réglementaire irlandais de 1974. La taille des groupes de blaireaux étant de deux à trois animaux par groupe, l'abattage a surtout entraîné une diminution du nombre de ces groupes. Lors de l'élimination des blaireaux, les terriers ne peuvent pas être détruits ni désinfectés, car ils sont protégés, et ce, même s'ils sont très proches, voire dans les élevages infectés. L'objectif de l'abattage des blaireaux est d'aboutir à une densité inférieure à 0,5 blaireau au km² (actuellement les densités de blaireaux en Irlande sont estimées à environ deux à trois

blaireaux par km²). Les abattages sont répétés pendant plusieurs années pour atteindre cet objectif.

2.4.2. Vaccination

2.4.2.1. *En Grande-Bretagne*

L'abattage des blaireaux a été mis en œuvre depuis plus de trente ans en Angleterre avec un succès variable, mais n'a pas permis l'éradication de la maladie chez les bovins ou chez les blaireaux. L'usage d'un vaccin antituberculeux est donc devenu une priorité gouvernementale (Tableau 17).

Tableau 17 : Investissement financier anglais pour le développement d'un vaccin antituberculeux
(source : <http://Defraweb/foodfarm/faranimal/diseases/atoz/tb/index.htm>)

Période	Vaccin pour les blaireaux	Vaccin pour les bovins
1997-1999	0,6 millions de £	
1999-2005	0.8 millions de £	6.5 millions de £
2005-2009	8 millions de £	9,5 millions de £
2009-2012	20 millions de £	
	Fonds supplémentaires pour la vaccination sur le terrain	

- *Etudes expérimentales et de terrain*

Les études sur le développement et l'évaluation d'un vaccin pour les blaireaux sont principalement conduites au VLA, mais également en Irlande (Gormley et Costello, 2003 ; Corner *et al.*, 2008b), en collaboration avec des équipes travaillant pour la vaccination de la faune sauvage contre la tuberculose en Nouvelle-Zélande (Aldwell *et al.*, 2006), en Espagne (Ballesteros *et al.*, 2009) et aux Etats-Unis (Nol *et al.*, 2009).

La démonstration de l'efficacité du BCG chez le blaireau en captivité n'est pas aisée, en raison de la petite taille des groupes de blaireaux sains disponibles (capturés dans la nature ou nés en captivité), du caractère zoonotique de la maladie (toute la partie expérimentale post-infection est effectuée en laboratoire de catégorie 3, y compris les salles où les animaux vivent en petits groupes) et du caractère chronique de la maladie. Les études sont donc très longues et coûteuses (environ 0,5 million de livres sterling par étude).

L'efficacité du BCG, administré par les voies injectable et orale, a été démontrée expérimentalement après inoculation d'une dose importante d'environ 1 000 à 10 000 bactéries viables par la voie intra-bronchique chez des animaux vaccinés et des animaux témoins (Corner *et al.*, 2008b ; Lesellier *et al.*, 2008), cette dose étant considérée comme permettant le développement assez rapide (12 semaines) de lésions visibles chez des animaux naïfs. L'efficacité du BCG est mesurée en termes de réduction de la sévérité des lésions tuberculeuses observées à l'autopsie (macroscopiques et microscopiques), de réduction du nombre de bactéries cultivées par gramme de tissu et de réduction de la diffusion dans l'organisme de *M. bovis* à partir du point d'inoculation (Lesellier *et al.*, 2006 ; Lesellier, 2007 ; Corner *et al.*, 2008b ; Lesellier *et al.*, 2009 ; Corner *et al.*, 2010 ; Lesellier *et al.*, 2011).

Dans les conditions expérimentales utilisées pour tester l'efficacité du BCG (avec inoculation intra-bronchique de 1000 à 10 000 colonies de mycobactéries), le BCG n'empêche pas l'infection des animaux vaccinés. Cependant, le BCG limite et retarde le développement des lésions et l'excrétion de *M. bovis* par les blaireaux infectés (Lesellier *et al.*, 2011 ; Chambers

et al., 2010). La recherche de marqueurs immunologiques témoins de la protection (en particulier, profils de cytokines telles que l'interféron gamma, les interleukines IL-4 ou IL-17, importantes pour la défense immunitaire contre *M. bovis*) est actuellement conduite au VLA.

L'innocuité et l'efficacité du BCG ont également été mesurées sur le terrain dans une population exposée à une pression d'infection naturelle par *M. bovis* (Chambers *et al.*, 2010 ; Defra, 2010). La vaccination dans le Gloucestershire de 63 groupes de blaireaux en 2006, de 81 groupes en 2007 et 2008, et de 91 groupes en 2009 sur 55 km² (844 blaireaux capturés au total) a permis de mettre en évidence une réduction de l'incidence de la tuberculose (mesurée par test sérologique et/ou culture sur excréta) dans la cohorte vaccinée par rapport à la cohorte témoin. Les tests utilisés détectant en priorité les animaux à un stade avancé de la maladie et/ou excrétaient *M. bovis*, ce résultat est encourageant, car il suggère que le BCG peut réduire la pression d'infection par *M. bovis*.

Le VLA a obtenu une autorisation de mise sur le marché pour le vaccin injectable par voie intramusculaire BadgerVac® qui est commercialisé en Angleterre depuis mars 2010. La méthode de vaccination ne nécessitant pas d'anesthésie, elle peut être réalisée par toute personne détentrice d'un permis de vacciner et préalablement formée à la capture de blaireaux par cages.

▪ *Situation actuelle*

La vaccination des blaireaux anglais avec le BadgerVac® a débuté le 5 juillet 2010. Elle est financée par le Defra pour cinq ans sur une zone de 100 km² dans le Gloucestershire afin de tester la faisabilité de la vaccination sur le terrain. La formation des piégeurs/vaccinateurs est assurée par une agence du Defra, le Food and Environment Research Agency (FERA).

Par ailleurs, le vaccin est disponible auprès des vétérinaires praticiens pour les éleveurs qui souhaitent faire effectuer une vaccination autour de leur ferme. L'objectif d'une campagne de vaccination n'est pas de vacciner tous les animaux, mais de mettre en place une immunité de groupe. La vaccination devra être renouvelée tous les ans pour protéger les jeunes de l'année pendant une durée pour l'instant non déterminée.

L'utilisation de la vaccination est envisagée dans plusieurs objectifs :

- ✓ dans les zones de faible prévalence, afin de réduire les risques de diffusion de la maladie depuis les zones à forte incidence ;
- ✓ pour limiter les risques de perturbation suite à un abattage ;
- ✓ pour succéder à un abattage et maintenir des zones « protégées ».

2.4.2.2. En Irlande

▪ *Etudes expérimentales*

L'efficacité du BCG a été testée en Irlande après vaccination par les voies sous-cutanée ou intra-nasale (Corner *et al.*, 2008b). Dans les groupes d'animaux vaccinés, la dispersion anatomique des lésions, la sévérité totale des lésions, le nombre des sites anatomiques avec des lésions histologiques, le nombre de sites extra-thoraciques avec des lésions macroscopiques, le nombre de tissus à partir desquels *M. bovis* a été cultivé, le nombre de sites extra-thoraciques infectés par *M. bovis*, le nombre de bactéries par gramme de tissu dans le lobe pulmonaire le plus sévèrement infecté et le nœud lymphatique le plus sévèrement infecté ont été réduits, parfois de façon statistiquement significative ($p < 0,05$) dans les groupes vaccinés par rapport aux témoins.

Une étude visant à tester l'efficacité du BCG administré par la voie orale à des blaireaux anesthésiés (appât encore en phase de développement) a débuté en 2009 (la phase préalable de mesure de prévalence et de densité des blaireaux a été réalisée en 2008). Il est prévu qu'elle dure de trois à quatre ans. Dans cette étude, les blaireaux sont capturés et vaccinés activement par voie orale (administration d'une formulation lipidique contenant le BCG). L'étude est conduite en aveugle. Lors de la première campagne de capture, 300

animaux ont été vaccinés. La deuxième campagne a permis d'attraper 170 animaux ; parmi eux, 70 avaient déjà été capturés une première fois. A la fin de l'essai, qui devrait durer quatre ans, les blaireaux présents dans la zone et capturés seront abattus et feront l'objet d'un examen *post mortem* pour apprécier l'efficacité vaccinale. Certains sont en outre tués au terme de chaque année de l'essai.

- *Situation actuelle*

Afin de tester l'efficacité, sur le terrain, de la vaccination combinée à l'abattage, une campagne par injection va débuter en 2011 dans trois comtés (sur une superficie d'environ 400 km²) dans lesquels un abattage a déjà été mis en œuvre autour de fermes infectées (Good, communication personnelle). La densité des blaireaux ciblés par la vaccination est estimée à 0,3 blaireau au km². Les blaireaux seront vaccinés pendant une période de quatre ans, mais la vaccination sera stoppée si l'incidence de la tuberculose devient supérieure à celle des zones où les populations de blaireaux sont maintenues, par abattage, en dessous de 0,5 blaireau au km².

2.4.3. Modélisation des différentes méthodes de lutte, seules ou en association

Les prédictions les plus récentes du Defra sur l'efficacité des mesures de contrôle de la tuberculose dans les populations de blaireaux ont montré que l'association vaccination/abattage est plus efficace pour réduire la prévalence de la tuberculose chez les blaireaux ou les bovins que l'abattage ou la vaccination seule, en particulier sur le long terme. Ces modèles se sont basés sur des prévalences chez les bovins et chez les blaireaux similaires à celles observées dans le sud-ouest de l'Angleterre, c'est-à-dire élevées. Un vaccin permettrait également de mettre en place des stratégies de contrôle de la tuberculose adaptées à de relativement faibles prévalences, là où un abattage massif nuirait à l'espèce. La recherche pour la mise au point d'un vaccin oral qui pourrait être délivré dans des appâts est actuellement en cours, avec l'objectif d'aboutir à un produit utilisable en 2015.

2.4.4. Bilan des méthodes de lutte

- Le protocole d'abattage proactif (sur des zones de 100 km²) des blaireaux s'est révélé efficace en Grande-Bretagne, en réduisant l'incidence de la tuberculose bovine, dans un contexte de fortes densités de blaireaux et de forte prévalence de tuberculose à *M. bovis* chez les blaireaux et chez les bovins. Les résultats d'un abattage proactif ont été publiés en Irlande, avec une baisse significative de l'incidence de la tuberculose bovine.
- Le protocole réactif (abattage ciblé autour des foyers bovins) est utilisé actuellement en Irlande, avec apparemment peu d'effets de perturbation mesurables.
- L'abattage des blaireaux, bien qu'appliqué depuis plus de trente ans en Grande-Bretagne et en Irlande, n'a pas permis à lui seul de contrôler la tuberculose dans ce réservoir sauvage, et la vaccination des blaireaux est considérée comme nécessaire dans les deux pays pour permettre une élimination de la tuberculose chez les bovins.
- L'efficacité du BCG chez les blaireaux a été démontrée en conditions expérimentales et sur le terrain.
- Le BCG par voie injectable est actuellement commercialisé (AMM) en Grande-Bretagne, et utilisé depuis juillet 2010 chez les blaireaux.
- L'utilisation du BCG pendant trois années sur une zone d'étude expérimentale a permis de réduire l'incidence de la tuberculose (mesurée par tests immunologiques et culture de mucus trachéal, urine et fèces sur animaux vivants) dans des populations de blaireaux fortement infectées, ainsi que probablement leur niveau d'excrétion de *M. bovis*.

- Sur le long terme, les méthodes de contrôle de la tuberculose chez les blaireaux et chez les bovins, proposées comme les plus efficaces par les Britanniques et les Irlandais, sont celles qui associeraient abattage et vaccination des blaireaux.

2.5. Bilan relatif à la tuberculose à *M. bovis* en Grande-Bretagne et en Irlande

- Les bovins sont les premiers réservoirs de la tuberculose à *M. bovis*, et les actions de contrôle de la maladie doivent concerner les élevages en premier lieu.
- Le blaireau est un réservoir de la maladie dans le sud-ouest de l'Angleterre, le Pays de Galles et l'Irlande. Dans ces zones, les blaireaux infectés peuvent survivre et excréter *M. bovis* dans l'environnement pendant plusieurs années.
- L'épidémiologie de l'infection à *M. bovis* peut être étudiée sur des blaireaux vivants à l'aide de tests immunologiques et par la mesure du taux d'excrétion de *M. bovis* dans le mucus trachéal, l'urine et les selles. Ces techniques ne nécessitant pas d'abattage, elles permettraient d'éviter le risque lié aux déplacements de blaireaux infectés autour des zones d'abattage (« émigration » vers des zones externes et « immigration » pour coloniser des terriers, observés lors d'abattage partiel).
- La maîtrise de la tuberculose chez les blaireaux par abattage a permis une diminution des risques d'infection des bovins dans les zones où les deux espèces cohabitent avec de fortes densités. La réduction de la densité des blaireaux a été obtenue par l'application des mesures d'abattage sur des zones étendues et de manière répétée sur plusieurs années. Le risque lié aux déplacements de blaireaux infectés autour des zones d'abattage doit être limité au maximum et des barrières géographiques semblent nécessaires.
- La vaccination par le BCG permet de limiter le développement des lésions et l'excrétion de *M. bovis* par les blaireaux. Un vaccin oral devrait être disponible en Grande-Bretagne en 2015. Il pourrait être associé à l'abattage, en particulier pour éviter le risque lié au déplacement de blaireaux infectés autour des zones d'abattage, ou en zone tampon autour des zones d'abattage. Le vaccin injectable par voie musculaire est actuellement utilisé sur le terrain en Angleterre et en Irlande. Associée à l'abattage localisé, la vaccination permettrait probablement un contrôle efficace de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage sur le long terme.

3. Tuberculose à *M. bovis* en France

3.1. Chez les bovins

3.1.1. Historique de la situation épidémiologique chez les bovins

Au début de la lutte organisée (1955), la tuberculose bovine concernait environ un élevage sur quatre et, en moyenne, trois ou quatre bovins par élevage infecté. Les conséquences économiques étaient importantes (pertes en lait, viande, veaux), mais notoirement sous-estimées, car insidieuses. Le risque zoonotique était également très sous-estimé : en l'absence de lutte efficace (principalement pasteurisation du lait), la proportion des cas de tuberculose humaine due à *M. bovis* pouvait être de l'ordre de 10 à 30% (Francis, 1958).

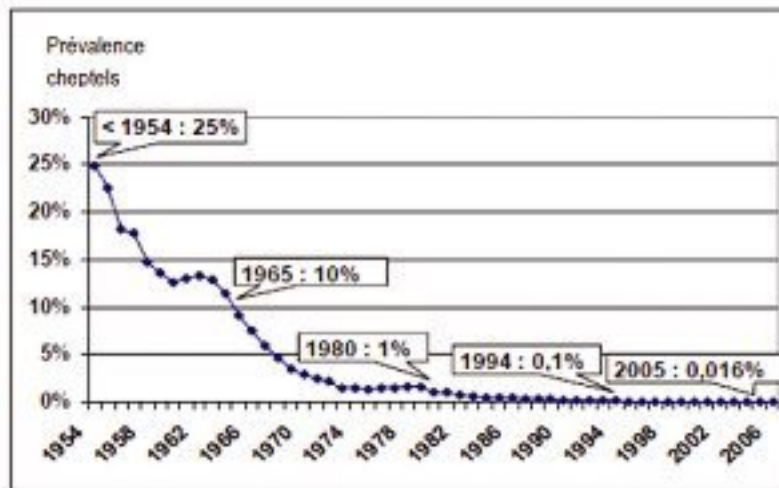


Figure 7 : Evolution du pourcentage d'élevages infectés de tuberculose bovine en France à partir de 1954 (Source : rapports annuels DGAI)

Actuellement, la France est considérée comme un pays officiellement indemne de tuberculose par l'Union Européenne (UE) depuis 2001 (Figure 7), bien qu'un nombre limité de foyers (moins d'une centaine) puisse persister chaque année (officiellement moins d'un pour mille). L'impact actuel de cette maladie est donc essentiellement indirect, en portant atteinte aux échanges commerciaux par la fermeture éventuelle de marchés, qu'il s'agisse de bovins pour engraissement destinés à l'échange au sein de l'UE, ou de reproducteurs (dans l'UE et vers des pays tiers).

La lutte a reposé historiquement (décret du 19 mars 1963, arrêté ministériel [AM] du 14 août 1963) sur le dépistage des animaux infectés, principalement par tuberculination systématique (tous les bovins de tous les élevages) et périodique (annuelle au début), ainsi que par inspection sanitaire des carcasses (inspection ayant pour but de détecter des lésions tuberculeuses éventuelles, afin de révéler une infection tuberculeuse dans l'élevage d'origine) à l'abattoir.

Progressivement, la conception de la lutte a pris en compte la dimension du risque à l'échelle de l'élevage, avec pour conséquence la nécessité de protection des élevages indemnes, par introduction d'animaux en provenance d'élevages indemnes (AM du 15 juin 1978), dont l'attestation était établie par un document sanitaire (« carte verte ») en usage à partir de 1978. Cette mesure de protection des élevages indemnes n'a été accompagnée de mesures de contrainte (à savoir la perte de la qualification indemne en cas de non-respect de la réglementation) qu'en 1990 (AM du 16 mars 1990) : ce retard dans la traduction réglementaire est révélateur de l'importance essentielle accordée au dépistage des élevages infectés comme moyen considéré comme le plus efficace dans la lutte ; il montre également la sous-estimation de l'importance de la maîtrise des facteurs de risque pour réduire l'incidence de l'infection.

Le risque résiduel représenté par les élevages infectés puis assainis par abattage sélectif des animaux reconnus infectés (principalement par tuberculination) avait été identifié dès le début des années 90, ce qui a conduit à la décision réglementaire de l'abattage total des élevages infectés à partir de 1999 (AM du 4 mai 1999), quand la prévalence a été suffisamment basse pour que les mesures de compensation financière soient supportables par l'Etat.

La tuberculose évoluant de façon insidieuse, un élevage peut être infecté pendant un certain temps, mais non reconnu comme tel ; pendant cette période critique, il peut donc être responsable de la contamination occulte d'élevages indemnes, soit par la vente d'animaux d'élevage, soit par contact, de quelque manière que ce soit, avec un élevage indemne. C'est pourquoi, dès la détection d'un élevage infecté, il est indispensable de procéder à une enquête permettant d'identifier tous les élevages en lien avec ce foyer, fournisseurs

(« amont ») et clients (« aval »). Dans ces élevages (appelés « en lien épidémiologique »), un dépistage de l'infection permet la détection éventuelle de nouveaux foyers. Les investigations s'avèrent complexes car elles couvrent une longue période : celle-ci débute au moment présumé de la contamination de l'élevage, et se termine avec le départ du dernier bovin présent lors de l'infection de l'élevage. Ces investigations ont été rendues possibles par une modification de la réglementation en 2003 (AM du 15 septembre 2003).

La conception du dépistage systématique de l'infection tuberculeuse par tuberculination des animaux a rencontré, dès le milieu des années 70, une limite résultant du déséquilibre entre la faible proportion d'élevages fournissant des résultats positifs et réellement infectés, et ceux qui ne l'étaient pas. Dans le courant des années 80, il a été établi que cette proportion d'erreurs par excès ne pouvait pas être compensée par des modifications techniques de la tuberculination, mais qu'il s'agissait d'une limite statistique : plus la fréquence de la maladie est faible, plus la probabilité pour un résultat positif d'un test de dépistage de correspondre à un sujet réellement infecté (valeur prédictive positive) est faible.

Actuellement, 59 départements sont considérés comme indemnes, et ne procèdent plus à un dépistage systématique par tuberculination, en partie pour ne pas être confronté à ce problème d'erreurs par excès. D'autres départements ne procèdent plus à ce dépistage que de façon sporadique (tous les quatre ans pour sept départements, tous les trois ans pour 14 autres, tous les deux ans pour neuf autres, et tous les ans pour trois). Pour tous ces départements, le dépistage repose donc, exclusivement ou majoritairement sur l'inspection des carcasses à l'abattoir, dont l'efficacité dépend de nombreux facteurs : une inspection « standard » durant environ une minute, et ce en l'absence d'incisions systématiques du fait des contraintes d'exploitation de l'abattoir, seules des lésions très développées, ne concernant qu'une très faible proportion des animaux infectés, peuvent être détectées.

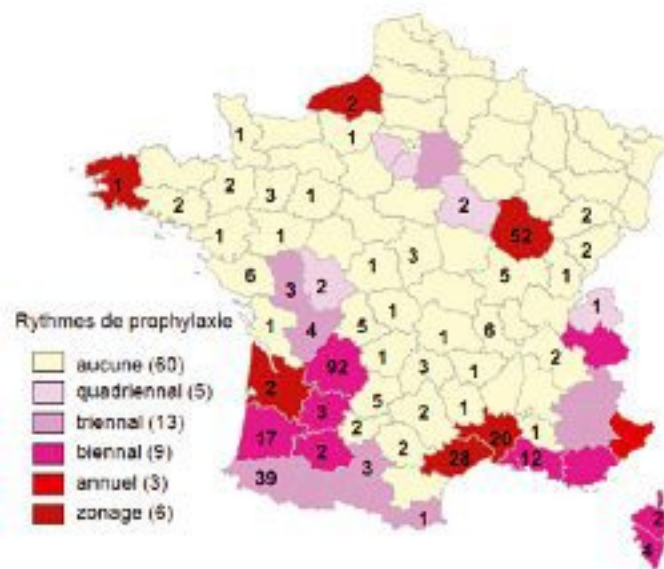


Figure 8 : Foyers incidents de tuberculose bovine de 2005 à 2009 et rythmes de tuberculination en 2008-2009

La mise en relation du cumul du nombre de foyers de tuberculose déclarés au cours de la période 2005-2009 (Figure 8) et du rythme de dépistage par tuberculination (campagne 2008-2009) permet de mettre en évidence un certain nombre de départements où tout dépistage par tuberculination a été abandonné mais pour lesquels la tuberculose a pu être détectée (en l'absence de données disponibles à l'échelle nationale, le plus vraisemblablement à l'abattoir, à moins qu'il ne s'agisse de foyers mis en évidence par une enquête diligentée à partir de foyers apparus dans d'autres départements), soit de façon sporadique (un ou deux foyers), voire plus marquée (trois à six foyers), alors que d'autres

départements qui sont dans une situation similaire ont maintenu une certaine pression de détection (entre tous les quatre ans et tous les deux ans). Au total, dans huit départements où tout dépistage a été arrêté, entre trois et six foyers sont apparus pendant cette période. Un tel constat suggère la nécessité de mise en place de mesures visant à enrayer une dégradation éventuelle à l'exemple des deux départements Dordogne et Côte-d'Or, sans toutefois créer une situation de crise par une accumulation non maîtrisable de réactions faussement positives.

Cet allègement du dépistage est un aboutissement logique à l'évolution favorable de la lutte ayant conduit à la disparition de la tuberculose. Mais l'abandon du dépistage systématique conduit de fait à un changement de stratégie, reposant sur la maîtrise des facteurs de risque, principalement par l'éleveur : celui-ci doit prendre d'une part des mesures générales de contrôle de la qualité sanitaire des animaux introduits et, d'autre part, des mesures de biosécurité pour maîtriser les facteurs de risque susceptibles d'entraîner la contamination de son élevage. La qualité de cette maîtrise doit être contrôlée par un représentant des services sanitaires (vétérinaire sanitaire).

Cette « nouvelle approche » comporte des mesures correctives en cas de découverte d'incidents : les cas éventuels détectés par un système de surveillance doivent faire l'objet d'investigations poussées, à la fois pour en appréhender l'étendue et en comprendre les mécanismes, afin de pouvoir y apporter les solutions adaptées. Cette nouvelle conception de la lutte est très loin d'être suffisamment comprise sur le terrain, ce qui conduit, entre autres, à un retard dans l'application des mesures de biosécurité.

3.1.2. Situation épidémiologique actuelle

La lente amélioration de la situation épidémiologique amorcée depuis le début de la lutte s'est arrêtée à partir de 2004 (Figure 9) et le nombre de foyers fait état d'une recrudescence qui suscite une certaine inquiétude car, si cette augmentation de prévalence devait persister, le statut européen de pays indemne de la France serait perdu.

Cette augmentation est directement liée à la situation particulière d'un nombre limité de départements (Dordogne, Côte-d'Or, Pyrénées-Atlantiques, cf. Tableau 18), qui cumulent une part importante des foyers observés en France chaque année : au début des années 2000, ces départements ne connaissaient qu'un nombre limité de foyers, qui ont progressivement augmenté à la suite d'une sensibilisation des acteurs (vétérinaires, éleveurs) pour un renforcement de la surveillance. Cette augmentation de vigilance a donc probablement permis de révéler des foyers non détectés jusque-là, qui permettaient d'entretenir la circulation de l'infection à bas bruit.

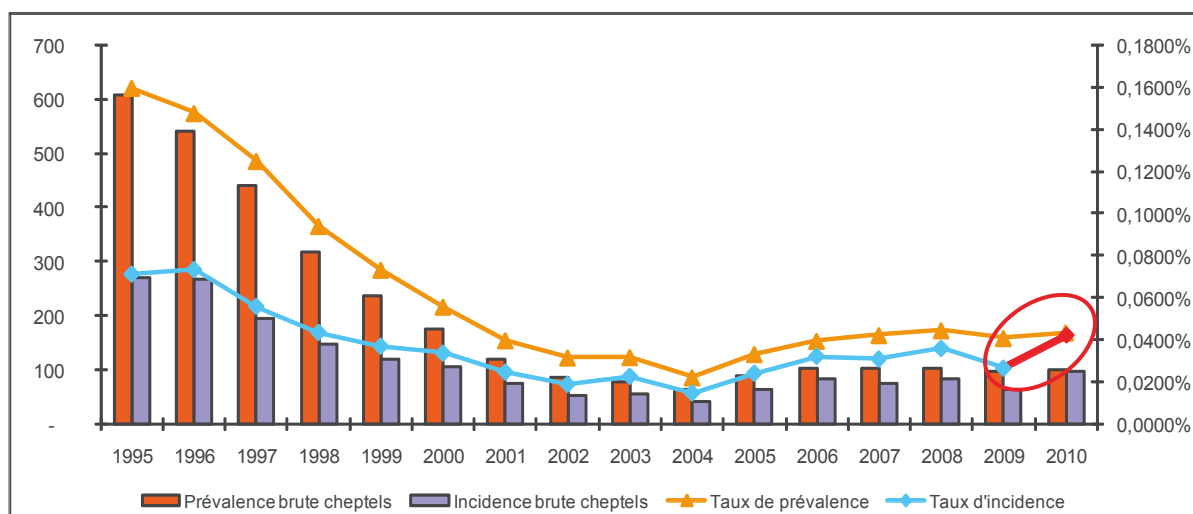


Figure 9 : Evolution des foyers de tuberculose bovine détectés chaque année de 1995 à 2010 (Source : Rapports annuels DGAI et données DGAI).

Tableau 18 : Evolution du nombre de foyers de tuberculose bovine découverts chaque année de 2001 à 2010, en France, en Côte-d'Or, en Dordogne et en Pyrénées-Atlantiques
(Source : DGAI)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010 ⁽¹⁾
France entière	74	52	55	42	64	83	76	77	63	97
Côte-d'Or	0	3	5	5	2	3	11	18	17	43
Dordogne	3	4	3	9	13	29	24	13	13	15
Pyrénées-Atlantiques	10	3	4	4	13	5	8	11	3	ND

⁽¹⁾ au 1/09/10

Dans au moins deux départements (Côte-d'Or, Dordogne), les foyers sont circonscrits à une zone géographique bien délimitée et partagent un même spoligotype, propre à cette zone, soulignant ainsi l'existence d'un facteur local assurant l'entretien et la propagation de l'infection entre élevages : les relations étroites de voisinage (nombre et proximité des pâtures) en constituent certainement la majeure partie. Toutefois, la mise en évidence récente d'animaux sauvages infectés à proximité de certains foyers ne permet pas d'exclure le rôle potentiel de la faune sauvage pour certains d'entre eux.

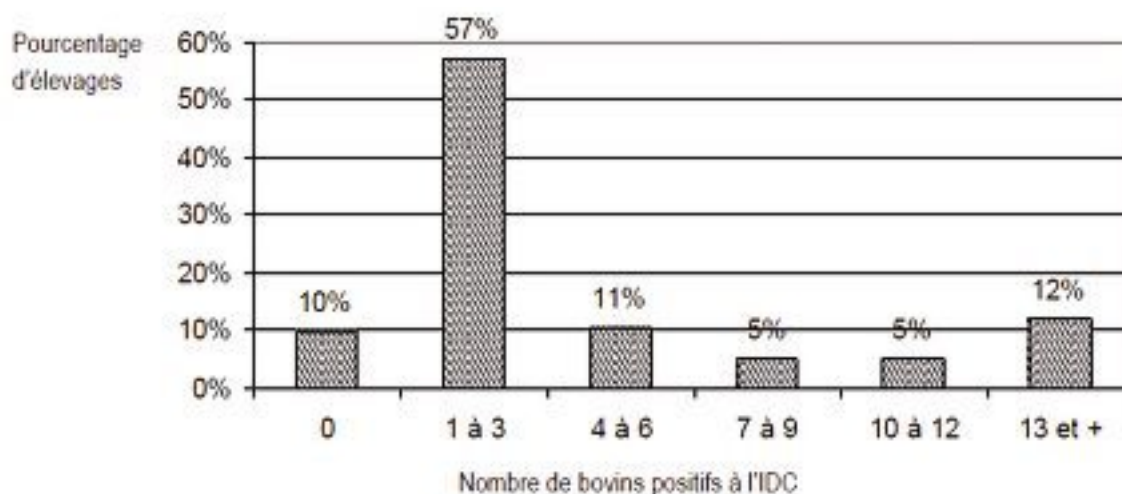


Figure 10 : Distribution des élevages infectés de tuberculose selon le nombre de bovins ayant donné un résultat positif à l'IDC
(Enquête nationale 2005-2007, 133 élevages ; Rapport DGAI, 2010)

La majorité des élevages infectés ne comportent qu'un faible nombre d'animaux réagissant à la tuberculine (Figure 10) : dans deux tiers des cas, il y a au maximum trois animaux ayant donné un résultat positif à l'IDC, voire aucun pour certains élevages où l'IDC mise en œuvre après une découverte de lésions suspectes de tuberculose n'a conduit à aucun résultat positif, alors que la confirmation bactériologique de l'infection a été apportée par la suite à partir des prélèvements réalisés à l'abattoir et que l'abattage total réalisé n'a pas conduit à l'observation d'autres animaux porteurs de lésion tuberculeuse. Cette situation déconcerte les acteurs, et explique la difficulté à détecter les élevages infectés avec une fiabilité suffisante, compte tenu de la sensibilité limitée des méthodes de dépistage utilisées : le dépistage par tuberculination n'est véritablement « significatif » aux yeux des acteurs de terrain que dans un tiers des élevages infectés, mais cette moyenne nationale cache des disparités bien plus importantes dans les départements ayant mis en œuvre un dépistage renforcé.

3.1.3. Evolution des systèmes d'élevage et facteurs de risque de tuberculose à *M. bovis*

Le cheptel bovin comptait environ 25 millions de têtes (dont 11 millions de vaches) en 1975 et 19,3 millions (dont 7,7 millions de vaches) en mai 2010. Ces effectifs sont restés globalement stables ces cinq dernières années (avec un pic de 19 366 millions de bovins, dont 7 981 millions de vaches, en 2008). Cette baisse tendancielle des effectifs bovins est associée à une réduction du nombre des exploitations, leur agrandissement par la superficie et l'augmentation du nombre des animaux élevés. On constate, par ailleurs, que les secteurs laitiers (vaches laitières, VL) et allaitants (vaches allaitantes, VA) n'évoluent pas avec la même dynamique : la répartition entre cheptels laitier et allaitant est ainsi passé, respectivement, de 75/25 % (VL/VA) vers 1975 à une répartition 52/48 % en 2000 et, enfin, 46/54 % en 2010. Pour 210 792 exploitations de bovins recensées en 2007 (281 308 en 2000), on dénombrait 92 792 exploitations de vaches laitières (128 842 en 2000) et 127 572 exploitations de vaches allaitantes (165 482 en 2000), soit un effectif moyen de vaches par exploitation de 41 pour les exploitations laitières (32 en 2000) et 33 pour les allaitantes (26 en 2000). Enfin 29% des exploitations laitières possèdent plus de 50 vaches et regroupent 49% du cheptel laitier, tandis que 24% des exploitations allaitantes possèdent plus de 50 vaches et regroupent 57% du cheptel allaitant. Ces moyennes masquent néanmoins des variations liées aux régions d'élevage.

L'élevage laitier est actuellement concentré dans les régions en périphérie du pays, depuis la Bretagne jusqu'en Rhône-Alpes, en passant par le nord à l'exception de la Champagne–Ardenne (cf. Figure 11). La proportion de vaches laitières de plus de 24 mois dans ces régions varie de 53% (Lorraine) à près de 80% (Bretagne). Les régions Bretagne, Normandie et Pays de Loire réunissent à elles trois 51% des VL (la région Pays de Loire, qui représente 12,4% de l'effectif total des femelles en France, possède un effectif de VL équivalent à celui des VA). Avec un recul régulier des petites exploitations familiales (cessation d'activité), on trouve une majorité d'élevages de taille moyenne ou importante qui ont su largement bénéficier, pour leur développement, des progrès techniques (sélection, insémination artificielle, alimentation animale, conduite du troupeau, etc.). La baisse tendancielle du cheptel laitier observée entre 2009 et 2010 (74 000 VL) est liée à une augmentation des réformes liée aux cours du lait régulièrement bas.

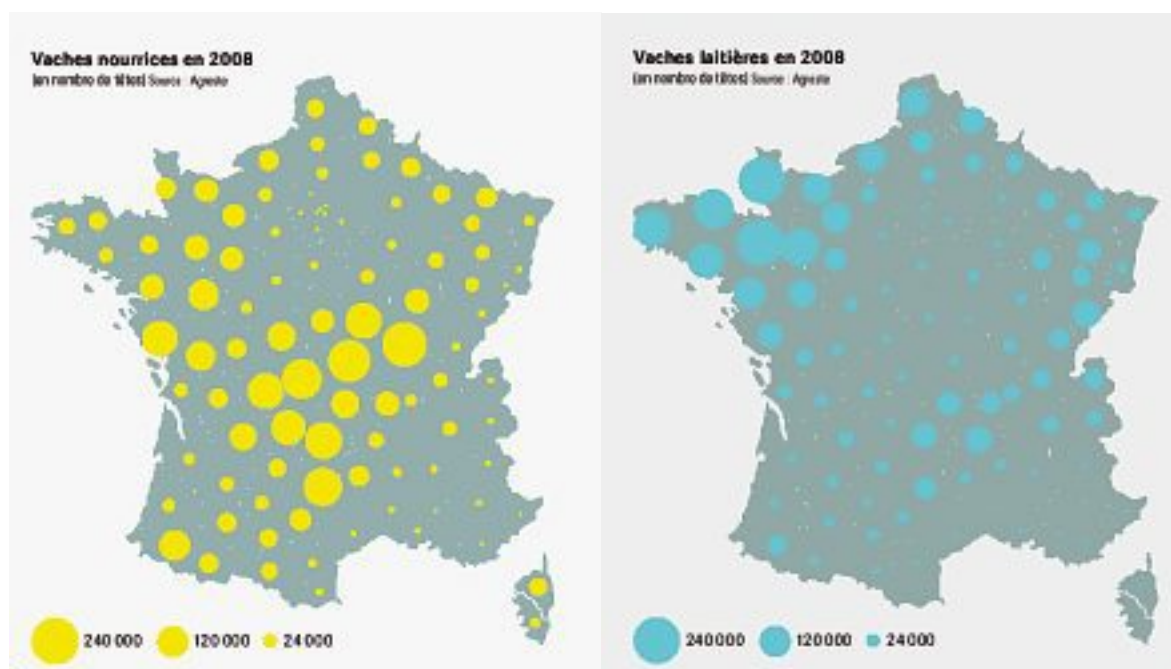


Figure 11 : Répartition des troupeaux laitiers et allaitants en France en 2008 (BIMAGRI chiffres Janvier 2010, évolution des productions agricoles)

Les exploitations ayant une orientation allaitante correspondent globalement, en fonction de l'orientation de leur production, à des élevages naisseurs (80%) ou naisseurs-engraisseurs (20%). L'élevage allaitant, à la différence du secteur laitier, a été marqué par l'accroissement progressif du nombre de vaches nourrices, nombre qui stagne néanmoins depuis 1995. L'effectif de VA (4 189 000 têtes) est actuellement légèrement supérieur à celui des VL (3 512 000 têtes). Bien que 43% des détenteurs possèdent moins de 20 VA, 36% du cheptel se situe dans des élevages de plus de 70 têtes (12 % des élevages). On constate en outre une concentration des effectifs sur certaines régions, notamment dans le centre (en régions Bourgogne, Auvergne et Limousin, où la proportion des femelles allaitantes de plus de 24 mois s'élève respectivement à 87,3%, 63% et 91%) et le sud-ouest (Midi-Pyrénées et Aquitaine). En Pays de Loire, l'effectif de VL équivaut à celui des VA.

L'élevage allaitant, notamment de type naisseur, est marqué par une évolution vers un système fourrager très herbager et plus extensif. Contrairement à l'élevage laitier (dont les vaches sont réformées entre cinq et huit ans), les vaches allaitantes sont conservées plus longtemps dans les élevages, avec un âge de réforme entre sept et quinze ans (globalement, 70% sont réformées à moins de 10 ans d'âge et 30% au delà). Enfin, les élevages allaitants sont plus économes en main d'œuvre, avec l'équivalent de 1,6 personne à plein temps (1,9 en bovins laits et 2,1 en bovins mixtes).

Il est délicat de faire un parallèle entre l'évolution des structures d'élevage et l'évolution de la tuberculose bovine en raison des nombreux autres facteurs susceptibles de jouer un rôle. Toutefois, l'analyse de la répartition et de l'évolution de la tuberculose bovine en France fait apparaître, sur 152 foyers apparus de 2005 à 2007 recensés dans l'étude nationale réalisée, une relation avec l'importance relative des élevages allaitants et laitiers (Figure 12). Ainsi, les huit régions indemnes de tuberculose (Alsace, Basse Normandie, Bretagne, Champagne Ardennes, Lorraine, Nord Pas de Calais, Picardie, Provence) comportaient 41 200 élevages laitiers et 22 900 allaitants soit un rapport VA/VL de 0,56 ; dans les six régions où au maximum trois foyers sont apparus (Auvergne, Centre, Corse, Franche Comté, Haute Normandie, Languedoc Roussillon), les taux d'atteinte ont été de 0,027% dans les 32 900 élevages laitiers et 0,049% dans les 40 800 allaitants (rapport VA/VL de 1,24 ; risque relatif 1,81) ; enfin, pour les six régions comportant plus de trois foyers (Aquitaine, Bourgogne, Limousin, Midi Pyrénées, Pays de Loire, Poitou Charente, Rhône Alpes), les taux ont été de 0,049 % dans les 30 400 élevages laitiers et de 0,226% dans les 50 900 élevages allaitants, soit un rapport VA/VL de 1,67 et un risque relatif de 4,57.

Parmi les facteurs de risque relatifs à la tuberculose, certains peuvent concerner particulièrement les élevages allaitants. On peut citer :

- le *séjour prolongé en pâture*, favorisé par le recours accru aux ressources herbagères, susceptible d'augmenter, d'une part le *risque de voisinage* (notamment lorsque les terrains sont très morcelés, comme en Côte-d'Or ou dans les Pyrénées-Atlantiques), d'autre part le *contact avec la faune sauvage* ;
- la *taille des élevages* qui, souvent associée à une main d'œuvre réduite, rend plus difficile la surveillance des animaux ;
- les *difficultés de contention* des animaux, plus importantes avec les races allaitantes qu'avec les races laitières, et rendant plus délicates les opérations de prophylaxie et la qualité du dépistage ;
- la *longévité des VA* (supérieure à celle des VL), qui augmente le risque, lorsque des animaux ont été contaminés, de passage de la phase de latence à l'infection active génératrice de lésions et d'excrétion.

On pourrait ajouter, bien que ce facteur ne puisse pas être étayé par des données bibliographiques, le risque lié à la *maîtrise insuffisante de l'introduction de bovins*, notamment en cas de recours à des pratiques telles que les prêts de taureaux, le prêt de pâtures et les mises en pension.

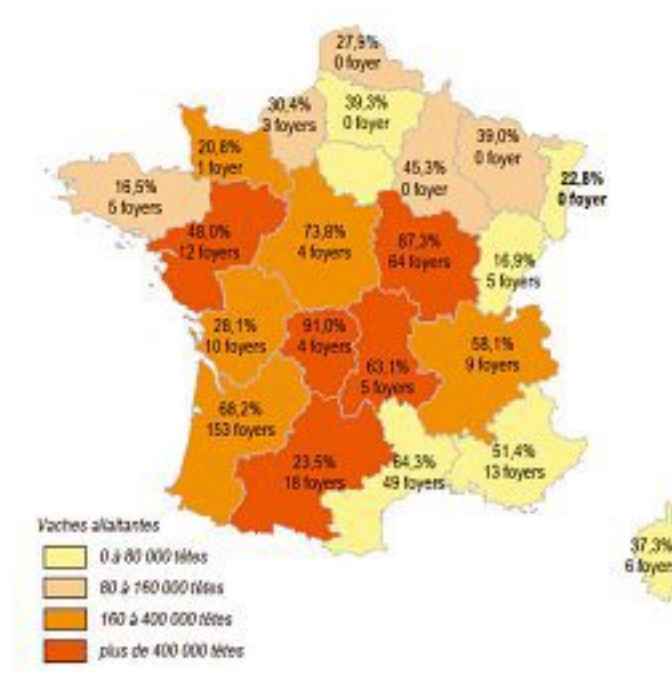


Figure 12 : Nombre des foyers de tuberculose (période 2005-2009) par région et distribution des cheptels allaitants (en % : proportion d'élevages allaitants) (données France AgriMer)

3.2. Dans la faune sauvage

Il faut rappeler qu'aujourd'hui, en France, il n'existe pas encore de surveillance nationale spécifique de la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage.

L'interprétation épidémiologique des cas observés de tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage est complexe car elle dépend étroitement de la densité de population des espèces concernées. Avant de décrire brièvement les résultats des études épidémiologiques conduites dans la faune sauvage, il convient donc de présenter, espèce par espèce, quelques éléments de biologie, les méthodes d'approche des densités de populations et leurs résultats.

3.2.1. Biologie et densités des populations sauvages

Dans ce paragraphe sont présentés les éléments de biologie et de dynamique des populations des cinq espèces sauvages chez lesquelles *M. bovis* a été isolée en France, comprenant les trois espèces majeures sur le plan épidémiologique que sont le cerf, le sanglier et le blaireau et deux espèces, le chevreuil et le renard, qui semblent pour l'instant jouer un rôle mineur.

3.2.1.1. Sanglier (*Sus scrofa*)

▪ *Eléments de biologie*

Le sanglier appartient à la famille des Suidés.

Le sanglier est présent quasiment partout en France ; les densités de population les plus fortes se rencontrent dans les départements du quart nord-est de la France et dans ceux du sud.

Omnivore, le sanglier est opportuniste et s'adapte à une très vaste diversité de sources alimentaires selon leur disponibilité au fil des saisons. L'essentiel de son régime alimentaire (95 à 97 %) est constitué de matières végétales : bulbes, racines et rhizomes, tiges de plantes herbacées, feuillages de graminées, fruits et graines (gland, châtaigne, faine, maïs). La part carnivore de son régime est constituée le plus souvent d'insectes (larves et adultes) et occasionnellement de reptiles, batraciens, oiseaux et mammifères (collectif Gerfault,

2007). Le sanglier peut présenter un comportement charognard, occasionnel mais réel, et consommer des cadavres et des viscères d'animaux tués. Le sanglier fréquente une grande diversité de milieux pourvu qu'il trouve de la nourriture et une végétation assez dense pour se dissimuler : garrigue, lande, marais, forêt ou petit bois, mais également zone de plaine de grande culture à couvert élevé (colza, maïs).

Les sangliers sont sédentaires, et seule une faible proportion, essentiellement des jeunes mâles émigrants, s'éloigne de plus de 15 km du lieu de naissance. Mais ces valeurs peuvent augmenter sensiblement sous l'effet de la chasse pour atteindre 30 à 50 km.

Les laies apparentées se regroupent à deux ou trois et vivent en groupes appelés compagnies avec leurs jeunes. Les mâles quittent les compagnies vers l'âge d'un an pour devenir progressivement solitaires.

La maturité sexuelle chez le sanglier mâle est atteinte vers dix mois, et chez les femelles entre huit et vingt-quatre mois, selon la croissance, car un poids minimal est nécessaire à l'activité reproductrice. La taille moyenne de portée d'une laie adulte en France est de l'ordre de cinq à six marcassins, et deux portées par an sont possibles. La prolificité de l'espèce est donc forte.

- *Statut juridique*

Le sanglier est une espèce gibier qui se chasse à tir, en battue ou à l'approche. Il n'y a pas de plan de chasse national obligatoire pour cette espèce, mais des plans de chasse volontaires ont été mis en place dans 17 départements (parmi les départements les plus concernés par la tuberculose dans la faune sauvage, la Côte-d'Or et la Dordogne sont soumis à un plan de chasse au sanglier, mais pas la Seine-Maritime dans laquelle se trouve la forêt de Brotonne) L'espèce figure également sur la liste nationale des espèces susceptibles d'être classées nuisibles, mais ne peut être détruite par piégeage. Au niveau départemental, son classement est donc défini chaque année par le préfet, après consultation du Conseil départemental de la chasse et de la faune sauvage (CDCFS). Elle peut, à ce titre, faire l'objet de battues administratives, en dehors de la période d'ouverture de la chasse.

- *Méthodes de suivi*

Il existe un suivi annuel des tableaux de chasse départementaux depuis 1973 et communaux depuis 1987 sur l'ensemble du territoire national. Les sociétés de chasse transmettent donc aux fédérations départementales des chasseurs (FDC) le nombre de sangliers tués à la chasse, sous la forme de simples déclarations en fin de saison de chasse, de carnets de battue régulièrement remplis, ou de déclarations immédiates dès qu'un animal est tué. Ces données permettent de suivre l'évolution de l'espèce sur le long terme. Les données sont fournies dans le cadre des enquêtes du réseau « ongulés sauvages ONCFS-FNC-FDC » par les interlocuteurs techniques départementaux ONCFS et FDC.

- *Estimations des densités de population en France*

On ne dispose d'aucune méthode de recensement pour déterminer les effectifs présents, ni à l'échelle de territoire, ni *a fortiori* à l'échelle nationale. Une estimation très sommaire peut être obtenue à partir des « prélèvements » cynégétiques (c'est-à-dire le nombre d'animaux tués à la chasse), en supposant un accroissement annuel entre 1,5 et 1,9, ce qui n'est cependant pas vérifiable. L'effectif national pourrait se situer dans la fourchette 750 000 à 950 000 individus au minimum.

En 2009-2010, comme en 2008-2009, les « prélèvements » les plus importants ont été réalisés dans le quart nord-est de la France (Alsace, Lorraine, Champagne-Ardenne, Nord de la Bourgogne) et dans le sud (Languedoc-Roussillon et Ardèche, Figure 13).

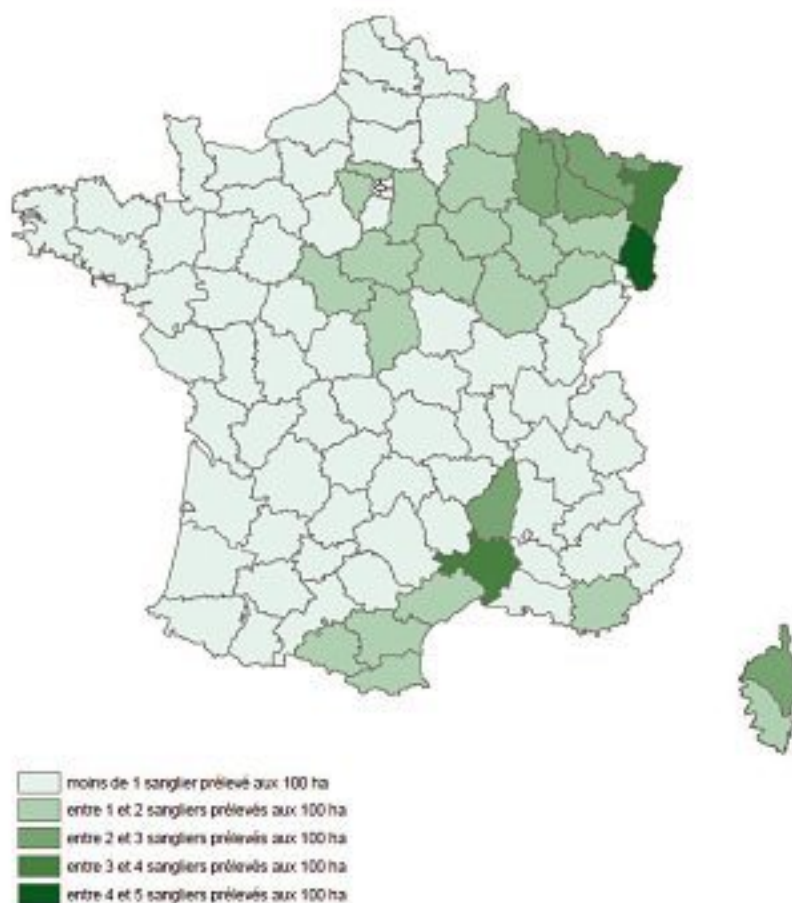


Figure 13 : Densité de « prélèvements » de sangliers estimés aux 100 hectares boisés en 2008-2009 (Saint-Andrieux et Barboiron, 2009)

▪ « Prélèvements » par la chasse

Les « prélèvements » cynégétiques pour la saison de chasse 2008-2009 ont été d'environ 570 000 sangliers hors enclos de chasse (Saint-Andrieux et Barboiron, 2009). En 2008-2009, le « prélèvement » national était de 1,03 sanglier au km² total et de 3,75 sangliers au km² boisé.

▪ *Tendances actuelles et hypothèses explicatives*

L'évolution des « prélèvements » cynégétiques depuis 20 ans confirme la très forte progression des populations, avec un tableau de chasse sanglier multiplié par six durant cette période (Figure 14). L'augmentation des « prélèvements » a été significative dans la majorité des départements. Seule une zone située à l'extrême ouest du pays échappe à cette progression.

Les hypothèses permettant d'expliquer cette forte progression de l'espèce combinent trois éléments :

- ✓ la biologie de l'espèce : la forte prolificité de l'espèce et sa grande capacité d'adaptation en terme de besoins alimentaires ;
- ✓ l'évolution des paysages : l'augmentation de la superficie forestière et le recul de l'agriculture dans de nombreuses régions de France ont provoqué une progression des friches, favorables à l'espèce ;
- ✓ les méthodes de gestion cynégétique appliquées depuis 20 ans qui ont visé à préserver les animaux reproducteurs. La pratique de l'agrainage dissuasif, qui visait initialement à fixer les sangliers en forêt, a parfois dérivé en nourrissage permanent, bien que cette pratique soit souvent actuellement réglementée par les préfets.

Face aux problèmes posés par le sanglier, un plan national de maîtrise du sanglier a été mis en place en juillet 2009, par le ministère en charge de l'écologie (Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 2009). Composé d'un ensemble de mesures, il a vocation à être mis en œuvre sur l'ensemble du territoire national par les préfets de département, en lien avec les partenaires concernés, afin de retenir les mesures les plus adaptées au contexte local et de s'assurer de leur mise en œuvre.



Figure 14 : Evolution annuelle du tableau de chasse national sanglier (Saint –Andrieux et Barboiron, 2009)

Bilan relatif aux densités de sangliers en France

En vingt ans, les tableaux de chasse du sanglier ont été multipliés par six, ce qui traduit une très forte augmentation des effectifs de sangliers

3.2.1.2. Cerf élaphe (Cervus elaphus)

- *Eléments de biologie*

Le cerf élaphe est l'un des représentants les plus connus de la famille des cervidés.

En 2005, le cerf élaphe était présent dans 80 départements et occupait plus de 13 millions d'hectares.

Il s'adapte très bien aux différents habitats. En France, les plus fortes populations se situent dans les massifs forestiers de basse altitude et de plaine. Il colonise aussi la montagne, jusqu'à 3000 m d'altitude.

Espèce de milieu ouvert, il recherche des végétaux poussant à la lumière et adapte son régime alimentaire à la disponibilité, déterminée par le milieu et la saison.

L'organisation de cette espèce sociable est matriarcale. Mâles et femelles vivent séparés la majeure partie de l'année. Les hardes matriarcales sont composées de biches et de leurs faons, de bichettes et, durant une partie de l'année de jeune cerfs. Les mâles de deux ans et plus vivent en hardes dont la cohésion varie au cours des saisons. En été, à l'approche du rut, les groupes se disloquent et la hiérarchie s'affirme (collectif Gerfaut, 2007).

- *Statut juridique*

Le cerf est une espèce gibier qui se chasse à tir, en battue ou à l'approche, ou à courre. Cette espèce est soumise au plan de chasse, obligatoire sur l'ensemble du territoire national depuis 1979. Un plan de chasse consiste en l'attribution, pour un territoire donné, d'un quota d'animaux à tuer, le plus souvent à tir mais aussi à courre, pour une ou plusieurs saisons de

chasse. Le plan de chasse concerne principalement le cerf, le chevreuil, le mouflon (*Ovis aries*), le daim, le chamois (*Rupicapra rupicapra*) et l'isard (*Rupicapra pyrenaica*), pour lesquels il est obligatoire. Il vise à une gestion équilibrée des animaux et indirectement des cultures agricoles ou forestières. La commission départementale de la chasse et de la faune sauvage propose au préfet le nombre maximal et le nombre minimal de têtes de gibier susceptibles d'être chassées selon les territoires considérés. Au vu des propositions de la commission, le préfet arrête l'ensemble des plans de chasse individuels notifié à chaque demandeur.

- *Méthodes de suivi*

En 1985, une enquête a été mise en place par le réseau « Ongulés sauvages ONCFS-FNC-FDC » afin de caractériser les populations de cerfs et de décrire les unités géographiques dans lesquelles ils vivent. Pour rendre compte de l'évolution des populations, il a été choisi un pas de temps de cinq ans entre deux enquêtes. Le travail est réalisé par unité de population ou « zone à cerf ». Pour des raisons administratives, l'inventaire est fait par département. Ainsi, pour une population à cheval sur plusieurs départements, chaque portion départementale constitue une zone. Un département peut abriter plusieurs zones. Dans chaque zone sont récoltées des informations sur le statut et la gestion de cette espèce, ainsi que des estimations sur le nombre d'animaux présents, à dire d'experts. Les zones cartographiées sur la Figure 15 constituent de fait la répartition de l'espèce.

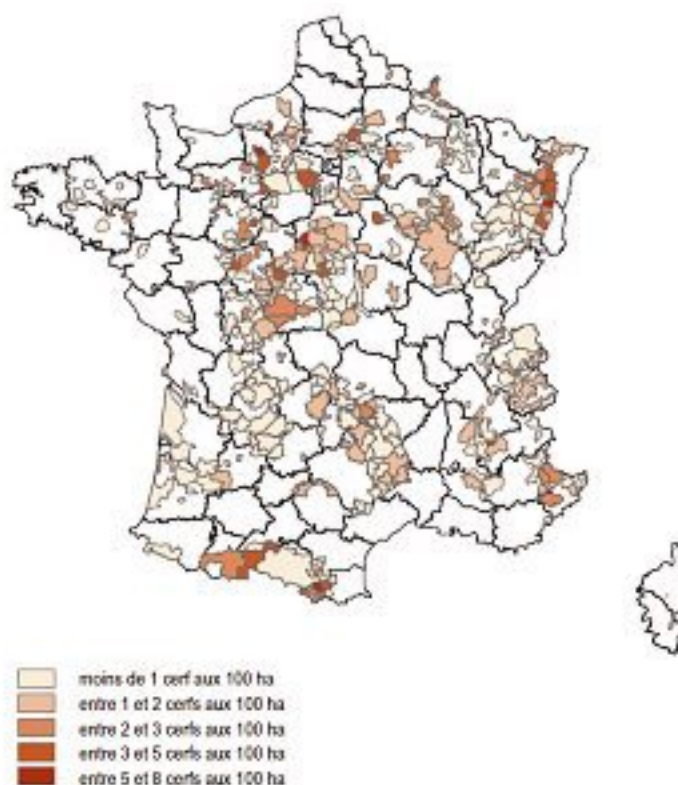


Figure 15 : Densité de population de cerfs élaphe estimés aux 100 ha boisés (Pfaff et al., 2008)

- *Estimations de densités de population*

Depuis 1985, la progression du cerf élaphe en France a été spectaculaire, tant du point de vue de la superficie occupée que des effectifs présents. En 2005, plus de 137 000 km², soit 29 % du territoire national, étaient occupés par le cerf. Cette superficie a été multipliée par 1,9 en 20 ans. Les effectifs estimés au niveau national ont été multipliés par 3,9 au cours de cette même période.

Le nombre de départements sans cerf reste constant depuis 20 ans. Il y a de moins en moins de départements à très faible densité de cerfs (moins d'un cerf au km² de forêts) : 44% des départements étaient dans ce cas en 1985, 22% en 2000 et 16% en 2005 (Figure 16) (Pfaff *et al.*, 2008). Les départements avec plus de quatre cerfs au km² boisé étaient inexistantes en 1985 ; 11% étaient dans ce cas en 2000, et 18% en 2005. Les plus fortes densités sont localisées en région Centre, en Lorraine et en Alsace, dans les Hautes-Pyrénées et Haute-Garonne et dans les Alpes-Maritimes (Figure 15). Dans les départements abritant plus de quatre cerfs/ km², il existe des massifs où la densité peut localement être plus élevée, pouvant aller jusqu'à huit cerfs/ km². Une nouvelle enquête est en cours, dont les résultats seront disponibles en 2011 (Saint-Andrieux, communication personnelle).

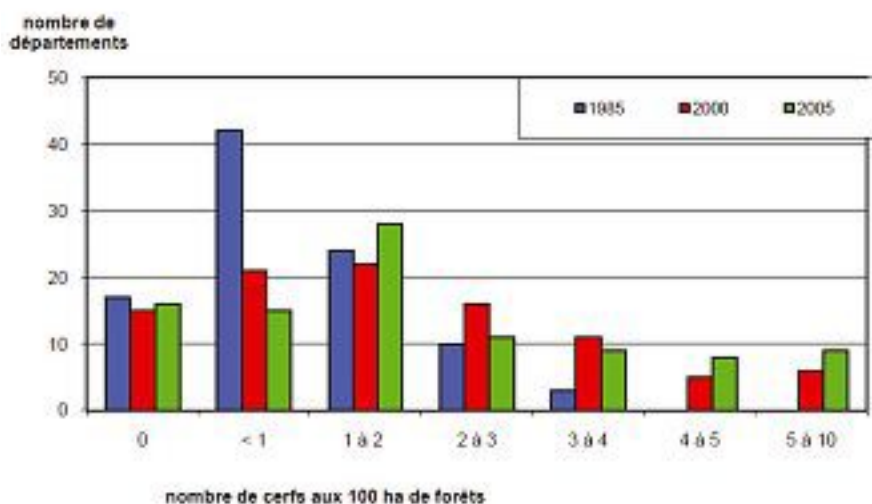


Figure 16 : Evolution des densités départementales de population de cerfs aux 100 hectares de forêts (Pfaff *et al.*, 2008)

- « Prélèvements » par la chasse

Les « prélèvements » cynégétiques pour la saison de chasse 2008-2009 ont été d'environ 64 100 cerfs, hors enclos de chasse (Saint-Andrieux et Barboiron, 2009). Les « prélèvements » ont plus que doublé en treize ans. Le « prélèvement » total au km² boisé était de 0,34 cerf en 2008-2009 (calcul réalisé sur les départements où l'espèce est chassée).

- *Tendances actuelles et hypothèses explicatives*

Le cerf continue sa progression : en 20 ans, la superficie colonisée a doublé et les effectifs ont quadruplé. Cependant, l'évolution récente est moins marquée qu'entre 1995 et 2000. Dans certains départements, les densités ont même diminué depuis 2000, ce qui pourrait signifier que les populations peuvent être contrôlées. L'évolution générale de ces vingt dernières années cache une forte hétérogénéité entre zones à cerfs. C'est dans le sud de la France, et surtout en altitude, que le développement de l'espèce a été le plus spectaculaire. En 2005, plus de 40 % du territoire français situé à plus de 1 500 m d'altitude étaient occupés par le cerf. La mise en place d'une gestion cynégétique, *via* le plan de chasse obligatoire, explique en partie la progression de l'espèce. L'évolution des paysages en France, avec une augmentation des surfaces forestières de près de 25 % en 20 ans,

constitue également un élément favorable à l'augmentation de l'aire de répartition de la population en France. L'augmentation des effectifs de cerfs, voulue par les milieux cynégétiques (comme pour le chevreuil et le sanglier) afin de repeupler des forêts devenues très pauvres en grand gibier dans les années 1960-70, entraîne maintenant des problèmes de dégâts au milieu et aux cultures, ainsi qu'un accroissement des risques sanitaires.

Bilan relatif aux densités de population de cerfs en France

Depuis 1985, la progression du cerf élaphe en France a été spectaculaire tant du point de vue de la superficie occupée que des effectifs présents, en particulier dans le Sud de la France, et surtout, en altitude. Cependant, l'évolution générale cache une forte hétérogénéité entre zones à cerfs : les densités estimées varient de moins d'un cerf / km² (16% des départements en 2005) à plus de 4 cerfs / km² (18% des départements en 2005)

3.2.1.3. *Blaireau (Meles meles)*

- *Éléments de biologie*

Le blaireau est, après le glouton (*Gulo gulo*), la plus grosse espèce de la famille des Mustélidés en Europe. Il est présent partout en France continentale, et jusqu'à 2 000 m d'altitude (Figure 17 a).

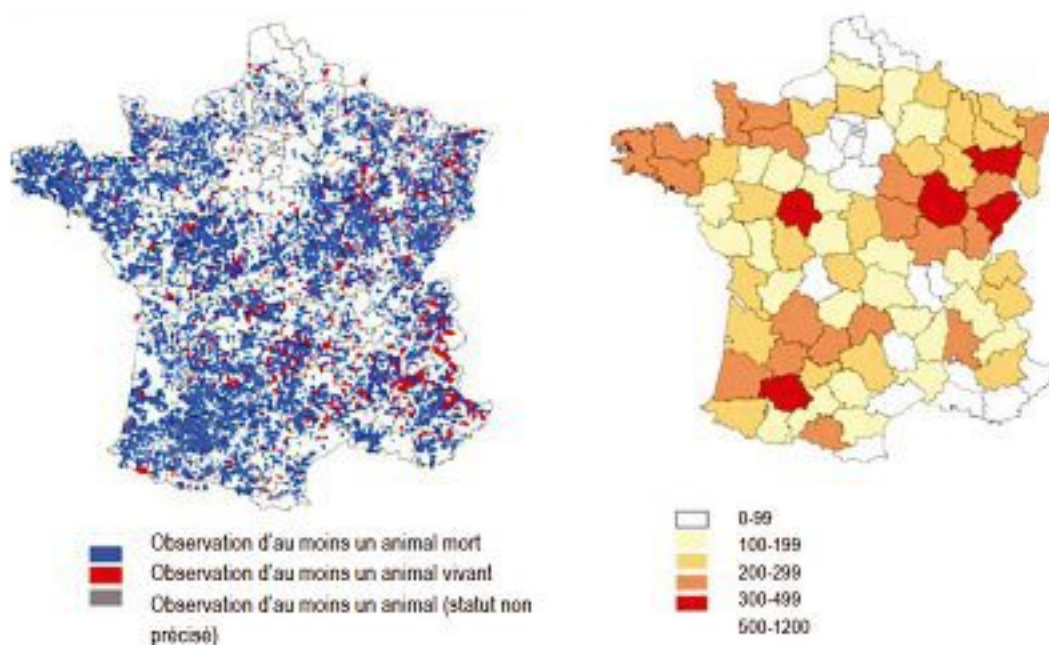


Figure 17 : Nombre de blaireaux, morts ou vivants, d'après les observations recueillies dans les carnets de bord entre 2001 et 2009 par l'ONCFS

17a : Répartition communale

17b : Répartition départementale par l'ONCFS

Le blaireau est un animal nocturne. Il passe sa journée au terrier et sort au crépuscule. Généralement, le blaireau est actif la majeure partie de la nuit et prospecte des zones précises en empruntant des cheminements réguliers dans son domaine. En hiver, l'activité est ralentie voire stoppée pendant plusieurs jours ou semaines lors de grands froids. Ce repos hivernal n'est pas une hibernation.

La plupart de ses aliments sont collectés sur le sol, si nécessaire en fouillant la litière ou l'écorce des bois. Opportuniste et généraliste, son régime alimentaire est varié (insectes, petits mammifères, batraciens, cadavres, fruits, maïs, blé, avoine, vignes, tubercules, etc.) et

dépend des ressources alimentaires locales et saisonnières. La consommation de vers de terre est habituellement prédominante mais varie en fonction de la pluviométrie.

Le blaireau est une espèce qui peut être solitaire ou familiale ou encore communautaire, un nombre plus ou moins important d'individus pouvant cohabiter ensemble. Cette différence d'organisation sociale serait directement liée à la qualité de l'habitat. Le plus souvent, il vit en groupes, les clans familiaux, occupant un terrier principal et fréquentant un territoire commun. Le blaireau fréquente les milieux où il pourra creuser son terrier, s'alimenter et où il sera en sécurité. Si la majorité des terriers sont localisés en forêts de feuillus, il peut également élire domicile dans des milieux ouverts ou semi-ouverts tels que le bocage, les landes ou les prairies. La présence humaine n'est pas un facteur dissuasif s'il peut bénéficier de couvert végétal.

Il aménage un terrier principal, vaste et complexe, constitué de plusieurs chambres reliées entre elles par un réseau de galeries qui peut descendre à plusieurs mètres sous terre et déboucher en surface par trente à quarante sorties, les « gueules » du terrier. Le terrier principal est utilisé en quasi permanence et accueille les jeunes. D'autres terriers à vocation secondaire sont également utilisés : les terriers annexes (à proximité du terrier principal et utilisés notamment lors de la période des naissances), les terriers subsidiaires (utilisés occasionnellement) et les terriers périphériques (simples et disséminés en bordure de territoire). Un terrier peut être utilisé par plusieurs générations de blaireaux et faire cohabiter plusieurs espèces de mammifères (renard, lapin [*Oryctolagus cuniculus*], etc.). Les blaireaux déposent leurs fèces la plupart du temps dans des latrines, trous creusés dans la terre pouvant être utilisés plusieurs fois. Ces latrines se retrouvent soit à proximité des terriers, soit en périphérie des territoires ; elles servent à la communication olfactive entre animaux, avec un pic d'utilisation en période de rut.

La taille des domaines d'activité varie considérablement d'une région à l'autre, notamment en fonction de l'abondance et de la distribution spatiale des ressources alimentaires. Si dans le sud de l'Angleterre un groupe social peut limiter sa fréquentation à vingt hectares, en revanche, dans des régions moins favorables, les individus, quelquefois solitaires, utilisent jusqu'à plusieurs centaines d'hectares (Do Linh San, 2006). Pour un même individu, la taille du domaine varie également selon les saisons, notamment en hiver, où l'activité est plus limitée. La densité varie fortement selon les régions et les milieux. En Europe occidentale, les densités estimées varient de 0,1 à 4-5 individus/ km² voire 6,5 individus/ km² (forêt de Hakel, Allemagne, Hofmann, 1999), mais n'atteignent jamais les densités observées dans certaines régions d'Angleterre (plus de dix individus/ km²). Sur le continent, il semblerait que les densités de population les plus élevées soient observées dans les grands massifs forestiers à essences caducifoliées (chêne, orme, tilleul, aulne, noisetier) ou mixtes. La différence importante de densité entre les populations continentales et britanniques, outre le fait que l'espèce est protégée depuis 1973 au Royaume-Uni, pourrait s'expliquer par le climat plus doux et humide régnant outre-manche (peu de périodes de sécheresse, couverture neigeuse faible en hiver) et par la prédominance des prairies en zone agricole (Johnson *et al.*, 2002). Ces deux facteurs génèrent des conditions idéales pour la croissance des vers de terre, qui constituent la proie principale des blaireaux des îles britanniques et une proie importante en France.

▪ Statut juridique

Le blaireau est une espèce gibier qui peut être chassée à tir (au fusil) ou sous terre (vénerie). Mais, comme il est exclusivement nocturne, les « prélèvements » par tir sont rares. De même que pour le renard, il existe une tradition de vénerie sous terre au blaireau en France. Outre la période normale du 15 septembre au 15 janvier, une période complémentaire pour la vénerie du blaireau peut être autorisée par le préfet à partir du 15 mai et jusqu'au 15 septembre. La chasse sous terre est donc interrompue pendant une période d'au minimum quatre mois, qui correspond approximativement à la mise-bas et l'allaitement au terrier des jeunes. Les naissances pouvant avoir lieu de mi-janvier à mi-

mars, des captures et destructions de jeunes de l'année sont possibles lors d'actions de vénerie sous terre.

Cette espèce ne figure pas sur la liste nationale des espèces susceptibles d'être classées nuisibles. Cependant, en cas de dégâts importants, le préfet peut également autoriser une battue ou chasse administrative au blaireau. Ceci peut conduire à la destruction du blaireau par des lieutenants de louveterie grâce à des moyens que le préfet détermine (les plus fréquents pour le blaireau étant les tirs de nuit ou l'emploi de pièges en sortie de terrier comme les collets à arrêtoirs).

- *Méthodes de suivi des populations*

Le dénombrement des populations de blaireaux n'est pas aisé en raison du comportement nocturne et grégaire de cette espèce, qui vit en groupes familiaux constitués d'un nombre très variable d'individus. Il n'existe pas, à l'échelle nationale, de protocole commun de suivi des populations de blaireaux. Les méthodes les plus couramment utilisées reposent sur la collecte des indices de présence. Des études ont montré qu'il existait une bonne corrélation entre les densités en blaireaux et les densités en indices de présence, en particulier les terriers et les latrines (Henry *et al.*, 1988 ; Tuytens *et al.*, 2001 ; Wilson *et al.*, 2003 ; Sadlier *et al.*, 2004).

Le plus souvent, la méthode utilisée est le dénombrement de terriers principaux « actifs » c'est-à-dire occupés, avec indices de présence frais. Mais la distinction entre terriers principaux et terriers secondaires n'est pas aisée, le nombre de « gueules » étant un critère insuffisant car fonction de l'ancienneté du terrier et de la facilité à creuser.

Plutôt qu'à une densité en individus, l'estimation des densités en terriers principaux est à relier aux densités en groupes familiaux. En effet, il n'y a pas de relation directe simple entre le nombre de terriers principaux et le nombre d'individus : lorsque le milieu est favorable, la taille des groupes familiaux augmente et la taille des territoires des animaux diminue. Pour estimer une densité en individus, il conviendrait donc d'estimer en outre la taille des groupes familiaux (nombre de blaireaux fréquentant un terrier). Cette espèce présentant une grande flexibilité comportementale, ce nombre peut varier du simple au double (en fonction de la quantité de nourriture disponible), et ne dépend pas du nombre de gueules du terrier. Ainsi, les estimations de densités fondées sur les dénombrements de terriers et les comparaisons entre territoires différents doivent être considérées avec précaution, en s'assurant que les méthodologies sont comparables.

- *Estimations de densités de population*

Les données disponibles relatives au dénombrement des indices de présence du blaireau concernent en France des études limitées dans le temps et l'espace, sans véritable plan d'échantillonnage. Une synthèse des études récentes (années 2000) menées en France et dans certains pays limitrophes est proposée dans le Tableau 19.

Même s'il existe de nombreuses limites méthodologiques, les écarts obtenus sont importants, variant de 0,03 à 0,49 terriers/ km² (Tableau 19). Les résultats observés sont dans la fourchette des densités estimées en Europe occidentale, variant entre de 0,02 et 0,88 terriers principaux / km² (Do Linh San, 2006) soit de 0,1 à 4-5 individus / km² (Henry *et al.*, 1988 ; Do Linh San, 2006) mais n'atteignent jamais les densités observées dans certaines régions en Angleterre (plus de dix individus/ km², Cheeseman *et al.*, 1988 ; Cresswell et Harris, 1988). L'Association des déterreurs de France indique qu'il y aurait près de 150 000 blaireaux sur le territoire français, soit une densité moyenne d'environ 0,27 blaireaux/ km² (communiqué de la Fédération Nationale des Chasseurs, 2006 dans Herbillon, 2006).

Les seules autres données disponibles à l'échelle nationale proviennent de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) dans les « carnets de bord petits carnivores ». En effet, depuis 2001, ce système de carnets de bord petits carnivores permet de noter les observations de blaireaux, vivants ou morts, faites lors des déplacements et travaux de terrain effectués par les agents de l'ONCFS (Ruelle *et al.*, 2004). Les informations sont

assez aisées à recueillir du fait de la taille des individus, qui n'échappent pas à la vigilance de l'observateur. Bien que ce système ne permette pas un enregistrement exhaustif des animaux victimes de collisions routières, la carte de répartition des données collectées révèle l'importance de ces collisions (Figure 17a).

Il est difficile d'utiliser le nombre total d'observations de blaireaux collectées comme indice traduisant des différences de densités entre départements (Figure 17b). En effet, la pression d'observation est hétérogène entre départements et ne varie pas seulement en fonction des densités : elle est plus importante autour de l'implantation du Service départemental de l'ONCFS et sur les routes les plus souvent empruntées (trajets habituels) ; des différences interdépartementales existent en termes de moyens en personnel et en véhicules. D'autres biais peuvent être identifiés et concernent la nature des routes (passage rapide de la Direction départementale de l'équipement (DDE) ou des agents des sociétés d'autoroute qui éliminent les cadavres pour éviter tout accident sur les routes très fréquentées, probabilité d'observer un animal plus faible sur les routes de montagne ou accidentées, etc.).

L'importance relative de ces différents biais n'a pas été quantifiée et limite les interprétations en termes de différences de densités. Cependant, il semble que la corrélation entre le nombre d'observations de blaireaux collectés et les estimations de densités de terriers réalisées dans quelques départements (Tableau 19) soit correcte.

- « *Prélèvements* » par la chasse et le piégeage

Les « prélèvements » par tir (chasse de jour au fusil) sont rares car l'espèce est nocturne. Il n'existe pas de synthèse nationale des tableaux de chasse pour cette espèce.

- *Tendance actuelle et hypothèses explicatives*

Le blaireau est une espèce qui a peu motivé les études de population. L'essentiel des données provient du niveau local et laisse supposer une dynamique positive des populations de blaireaux (avec notamment une augmentation des blaireaux morts par collision routière). La situation du blaireau est probablement contrastée : les populations peuvent être importantes localement, mais faibles à absentes dans d'autres régions. La mesure précise de ces différences ne pourra être confirmée que par la mise en place d'une méthodologie standardisée, reposant notamment sur un échantillonnage fiable.

Cependant, le blaireau a été largement détruit lors des campagnes de gazage de renards pour lutter contre la rage (les deux espèces pouvant partager le même terrier). Le gazage étant interdit depuis le début des années 90, les populations de blaireaux, comme celles de renards, se sont reconstituées dans le grand quart nord-est de la France, mais cette reconquête de territoires par les blaireaux est plus lente, compte tenu de la dynamique de population de l'espèce. En effet, chez cette espèce, la maturité sexuelle est atteinte à deux ans et il y a une seule portée par an de deux à trois petits (maximum cinq), entre janvier et mars. Ainsi la dynamique de population de l'espèce est qualifiée de lente et les modèles montrent que la survie de la population est très liée à celle des adultes de plus d'un an (Henry *et al.*, 1988).

L'évolution des paysages en France, avec une augmentation des surfaces forestières de près de 25% en 20 ans, constitue également un élément probablement favorable à l'augmentation des densités de population en France.

Tableau 19 : Exemples d'études récentes menées en France sur les densités de blaireaux

Année	Département et/ou site d'étude	Nombre de terriers 'actifs' recensés / densité en terriers	Pourcentage de communes avec au moins un terrier	Echantillonnage	Estimation de la taille des groupes	Densité en adultes estimée (Ad/ km ²)	Référence bibliographique
1996	Côte-d'Or	2874 ; 0,33 T/ km ² *	83	Non	Non	-	FRC Bourgogne, 1996
	Saône et Loire	1599 ; 0,19 T/ km ²	79	Non	Non	-	
	Nièvre	946 ; 0,14 T/ km ²				-	
	Yonne	1630 ; 0,22 T/ km ²				-	
1998 et 1999	Loir et Cher (réserve naturelle des vallées de la Grande-Pierre et de Vilain)	4 T/ km ²	-	Quasi-exhaustif	Oui (1 à 3)	-	Bézannier, 2000
2002	Jura	2434 ; 0,49 T/ km ²	93	Non	Non	-	FDC Jura, 2003
2003	Somme	-			Non (3,2 à 3,9 blaireaux pour calcul de densité)	0,89 à 0,97	Herbillon, 2006 (enquête FDC 80)
2004	Luxembourg	0,17 TP**/ km ²		Non	Adultes : 2,6 (IC 95 % : 2,1-3,1)	0,38 (95% CI 0,31-0,46)	Schley, 2004
2006 à 2009	Lorraine	1043 ; 0,15 TP/ km ²		Non	Adultes : 3,56 ± 1,48 Avec jeunes : 4,99 ± 2,20	0,53 ± 0,22	Lebecel et GEML (groupe d'étude des mammifères de Lorraine), 2010
2007	Bas-Rhin (Piémont 82 km ²)	0,28 TP/ km ²		Quasi-exhaustif	2 à 4	0,84	Braun, 2007
2007	Loiret	0,03 TP/ km ²	-	Non	Non (3 à 8 pour calcul de densité)	0,08 à 0,22	ONCFS, 2008

*T = terriers

**TP = terriers principaux

Bilan relatif aux densités de population de blaireaux en France

Les données disponibles ne permettent pas de mesurer précisément les tendances d'évolution de la population de blaireaux en France. Il est probable que les populations de blaireaux en France se soient reconstituées au cours des deux dernières décennies dans le grand quart nord-est du pays, après les campagnes de destructions de renards dans le cadre de la lutte contre la rage, et que les densités observées actuellement soient en augmentation, sans atteindre les niveaux de densités mesurés en Grande-Bretagne et en Irlande, nettement plus élevés (dans un rapport de 1 à 5, voire de 1 à 10).

3.2.1.4. Chevreuil (*Capreolus capreolus*)

▪ *Éléments de biologie*

Le chevreuil est présent partout en France continentale. C'est le plus petit représentant européen de la famille des Cervidés.

Espèce de lisière dotée d'une forte plasticité comportementale, le chevreuil occupe tous les milieux. La forêt reste l'habitat privilégié et accueille les plus fortes populations. L'espèce occupe le bocage, les grandes cultures avec des taux de boisement parfois inférieurs à 5% et l'étage montagnard jusqu'à 2500 m. Dans le pourtour méditerranéen, le nombre de chevreuils apparaît limité par la sécheresse estivale.

Le chevreuil est sélectif et recherche une alimentation riche et diversifiée. En milieu forestier, la plus grande partie de son alimentation est fournie par les semi-ligneux, en particulier le lierre et la ronce, la bruyère callune, la myrtille, l'airelle et le framboisier. Les essences ligneuses à feuilles caduques (chêne, charme, érable, cornouiller, etc.) sont surtout utilisées durant la phase végétative (printemps-été). Parmi les résineux, le sapin pectiné et le pin maritime sont particulièrement recherchés. En milieu agricole, le chevreuil se nourrit surtout de céréales d'hiver, colza, luzerne et betteraves. La recherche de nourriture dans les milieux boisés subsistants reste marquée (collectif Gerfault, 2007).

L'organisation sociale repose sur la cellule familiale : chevrette et son (ses) jeune(s) de l'année. En automne-hiver, les mâles et les femelles adultes utilisent des domaines vitaux de taille similaire, de l'ordre de 0,3 à 0,4 km² en milieu forestier et de 1 à 1,5 km² en milieu agricole. Au printemps et en été, le déterminisme de l'occupation de l'espace est plutôt dicté par des facteurs sociaux.

▪ *Statut juridique*

Le chevreuil est une espèce gibier qui se chasse à tir, en battue ou à l'approche. Il est soumis au plan de chasse obligatoire, annuel ou triennal, arrêté par le préfet.

▪ *Méthodes de suivi*

Le suivi annuel des tableaux de chasse départementaux depuis 1973, et communaux tous les cinq ans depuis 1985 sur l'ensemble du territoire national, permet de suivre l'évolution de l'espèce sur le long terme. Les données sont fournies dans le cadre des enquêtes du réseau « ongulés sauvages ONCFS-FNC-FDC » par les interlocuteurs techniques départementaux ONCFS et FDC.

▪ *Estimations des densités de population en France*

L'interprétation des tableaux de chasse à l'échelle nationale en termes d'effectifs est délicate. Les « prélèvements » cynégétiques sont conditionnés par de nombreux facteurs, dont les attributions, c'est-à-dire les quotas d'animaux à chasser, mais aussi les variations des conditions de chasse (nombre de chasseurs, mode de chasse, climat, etc.).

- « Prélèvements » par la chasse

Espèce soumise à des plans de chasse départementaux, le chevreuil est le plus souvent chassé en battue, de septembre à janvier, mais aussi à l'approche ou à poste fixe, en particulier l'été, ou à courre, d'octobre à mars. Les « prélèvements » cynégétiques pour la saison de chasse 2008-2009 ont été d'environ 488 000 chevreuils hors enclos de chasse (Saint-Andrieux et Barboiron, 2009). En 2008-2009, le nombre moyen d'animaux tués à la chasse était de 0,90 chevreuil/ km² total et de 4,80 chevreuils/ km² boisé.

- Tendances actuelles et hypothèses explicatives

L'utilisation des tableaux de chasse en tant qu'indice de l'évolution de la population sur le moyen terme est pertinente (Calenge, communication personnelle). En forte progression pendant des années, les populations de chevreuil connaissent actuellement un ralentissement récent. En France, les effectifs les plus importants se trouvent dans les quarts nord-est et sud-ouest.

En 2009-2010, comme en 2008-2009, les « prélèvements » les plus importants ont été réalisés en Alsace, Lorraine, Aquitaine et partie ouest de Midi-Pyrénées (Figure 18). Les « prélèvements » ont été multipliés par 3,4 en vingt ans (Figure 19) mais semblent stables depuis cinq ans.

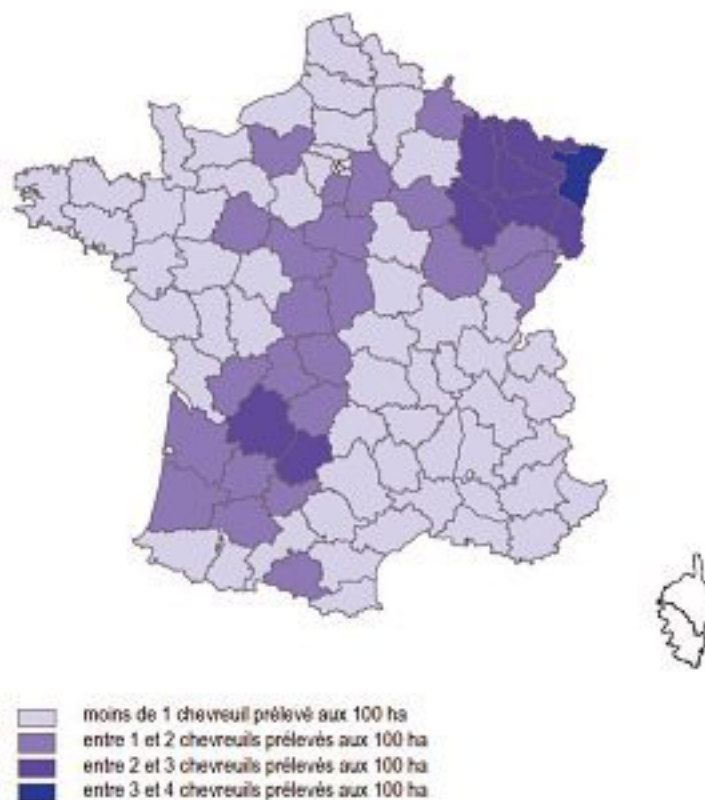


Figure 18 : Densités de « prélèvements » de chevreuils estimés aux 100 hectares boisés selon une enquête réalisée en 2008-2009 (Saint –Andrieux et Barboiron, 2009)



Figure 19 : Evolution annuelle du tableau de chasse national chevreuil (Saint –Andrieux et Barboiron, 2009)

Bilan relatif aux densités de population de chevreuils en France

En vingt ans, les tableaux de chasse chevreuil ont été multipliés par 4,6, ce qui traduit une forte augmentation des effectifs. Les populations de chevreuils semblent connaître actuellement une phase de stabilisation.

3.2.1.5. Renard roux (*Vulpes vulpes*)

- *Éléments de biologie*

De la famille des Canidés, le renard roux est une espèce ubiquiste qui fréquente tous les milieux. Il est présent partout en France jusqu'à une altitude d'environ 2500 m.

Le renard vit aussi bien en milieu ouvert que fermé, dans les zones rurales qu'à proximité des centres urbains et même dans de nombreuses grandes villes (Debuf, 1987). Petit carnivore généraliste, son régime alimentaire extrêmement varié et sa grande flexibilité comportementale lui permettent de s'adapter à tous les milieux (Artois, 1989).

La densité moyenne la plus fréquente est de l'ordre d'un individu/ km². Selon les circonstances et les milieux, le renard peut aussi bien être solitaire que social. L'unité de base de la population semble être le couple avec sa portée mais, dans les zones de grande disponibilité en nourriture, le groupe est plutôt constitué d'un couple dominant et d'une à cinq femelles de rang inférieur, subadultes ou adultes, qui ne se reproduisent pas (Harris, 1981). En zone urbaine, il a été compté jusqu'à cinq groupes familiaux par km². A l'opposé, en Lorraine, après l'épizootie de rage, des densités inférieures à un individu pour six à dix km² ont été observées (Artois, 1989).

- *Statut juridique*

Le renard est une espèce gibier qui peut être chassée à tir (au fusil) ou sous terre (vénerie). Cette espèce figure sur la liste nationale des espèces susceptibles d'être classées nuisibles. Au niveau départemental, son classement est donc défini chaque année par le préfet, après consultation du CDCFS. Elle peut, à ce titre, être détruite, notamment par piégeage ou par tir, en dehors de la période d'ouverture de la chasse.

- *Méthodes de suivi*

Il n'existe pas, à l'échelle nationale, de protocole commun de suivi des populations de renards. A une échelle locale, de nombreux départements disposent de données sur le

renard, grâce à la méthode des comptages nocturnes aux phares, également utilisées pour le lièvre. En effet, les renards sont relativement faciles à observer la nuit. La réalisation de comptages nocturnes à l'aide de phares apparaît simple et bien adaptée lorsque le milieu est ouvert. Cette méthode est utilisée afin d'estimer les tendances évolutives d'une population de renards sur un territoire donné.

Les résultats des comptages nocturnes sont exprimés en nombre de renards observés par kilomètre parcouru et éclairé (indice kilométrique). Les analyses consistent à comparer les indices kilométriques obtenus sur une même zone pendant plusieurs années (Vuillaume *et al.*, 2002). Sous réserve d'un échantillonnage correct de la zone étudiée, la réalisation des mêmes tronçons plusieurs années consécutives peut permettre d'évaluer des tendances évolutives (ONCFS, 2004). Cependant, les variations d'effectifs étant le plus souvent assez faibles, il conviendra de prévoir plusieurs années de suivi (au moins cinq ans) et un grand nombre de répétitions chaque année (cinq à dix).

- *Estimations de densités de population*

Les données récoltées dans différentes régions en France montrent que les densités en renards sont assez contrastées (Ruet *et al.*, 2003a ; Ruet *et al.*, 2003b). Les estimations de densités en milieux ouverts par méthode « line transects » (Ruet *et al.*, 2003a) varient de 0,5 à 2,1 renards/km² dans dix régions de France en hiver. Ces estimations correspondent à des indices kilométriques en hiver de 0,14 à 1,46 renard par km parcouru.

- « Prélèvements » par la chasse et le piégeage

Le recueil des « prélèvements » par piégeage et par la chasse n'est pas systématique tous les ans, mais est réalisé à travers des enquêtes nationales. Pour les « prélèvements » par piégeage, la première enquête a été réalisée en 1997 (Ruet *et al.*, 1999). Cette enquête a permis d'estimer les « prélèvements » par piégeage à environ 66 500 renards au cours de la saison 1996-1997 alors que l'espèce était classée nuisible dans tous les départements ayant répondu. Les biais ont été identifiés et laissent supposer que les résultats sous-estimaient les prises réellement effectuées par piégeage.

Pour les « prélèvements » par le tir, deux enquêtes ont été effectuées : en 1983-84 et en 1998-99. L'enquête nationale sur les tableaux de chasse à tir de la saison 1998-1999 (Stahl et Ruet, 2000) a permis d'estimer les « prélèvements » par tir à 391 730 (+/- 4.2 %) renards avec 12,3 % des chasseurs déclarant chasser au moins un individu au cours de la saison et une médiane de 3 135 « prélèvements » annuels par département. Les « prélèvements » les plus importants ont été observés, comme en 1983-1984, en Bretagne, Haute- et Basse-Normandie (Figure 20). Ils semblent avoir augmenté dans l'est de la France (Lorraine, Bourgogne et une partie de la Picardie et de Champagne-Ardenne), probablement en partie du fait de l'absence de rajeunissement et de la reconstitution des populations. Les « prélèvements » par la chasse sont bien plus importants que les « prélèvements » effectués par le piégeage.

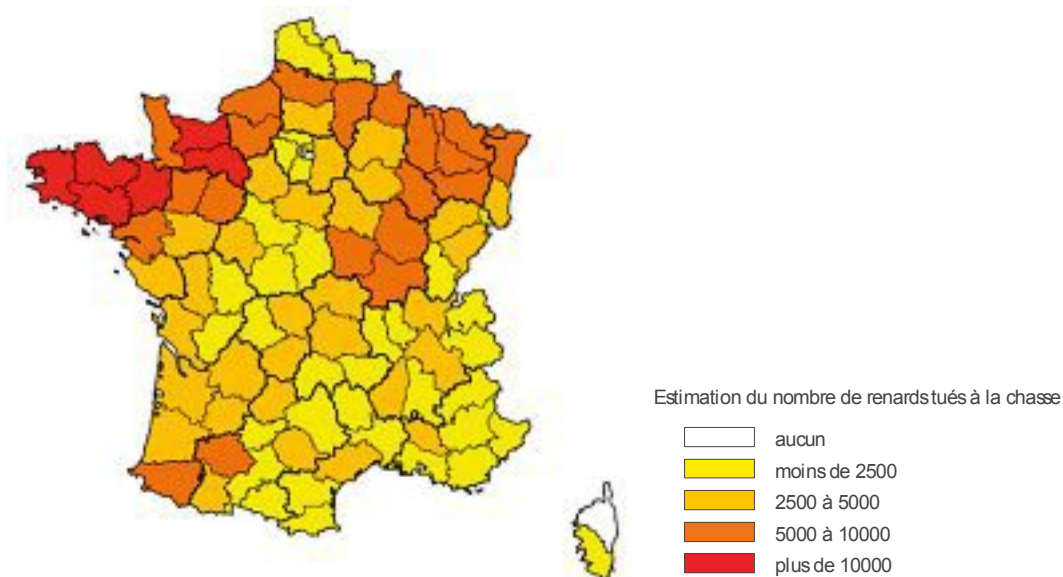


Figure 20 : Importance des « prélèvements » estimés de renards dans les différents départements français durant la saison de chasse 1998-1999 (Stahl et Ruetter, 2000)

▪ *Tendance actuelle et hypothèses explicatives*

La comparaison des indices kilométriques sur les mêmes terrains d'étude à dix ans d'intervalle révèle une augmentation de l'indice sur tous les sites suivis, avec des facteurs multiplicatifs allant de 1,8 à plus de 10 (Figure 21). Même si les modifications apportées au protocole entre 1989-1990 et 2000, en particulier le plan d'échantillonnage, ont pu contribuer à accroître l'indice kilométrique de l'année 2000, il semble raisonnable de conclure à une augmentation des effectifs de renards. Durant cette décennie, différentes causes de mortalité importante du renard ont été supprimées en France, en particulier les destructions massives au terrier par gazage et la rage dans le nord-est de la France, éradiquée grâce à la vaccination orale. Il est très probable que la suppression de ces causes de mortalité importante ait été, au moins en partie, à l'origine de l'augmentation des effectifs sur les sites suivis, tous situés dans le quart nord-est de la France.

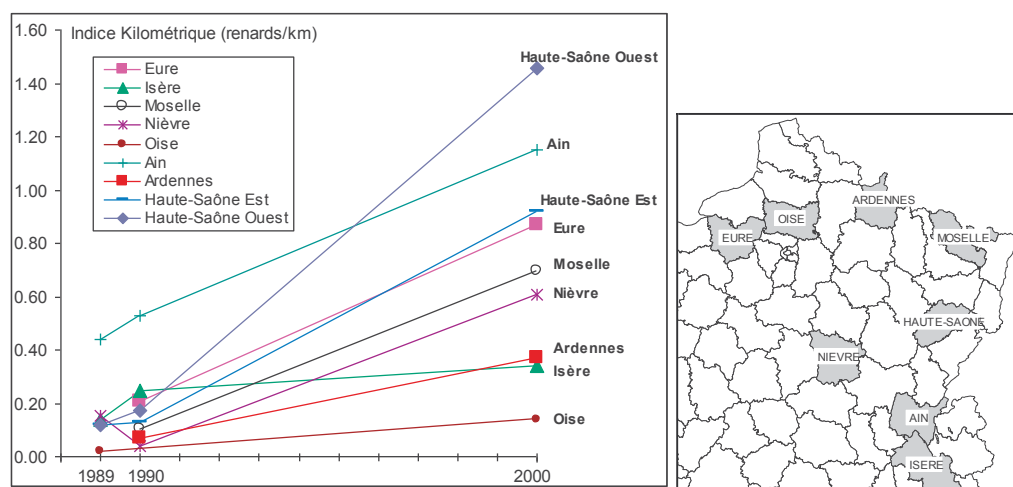


Figure 21 : Comparaison entre les indices kilométriques obtenus au cours des hivers 1989/1990 et 2000 sur neuf sites du nord et de l'est de la France (Ruetter et al., 2003b)

Bilan relatif aux densités de population de renards en France

Les densités de population de renards en France ont augmenté au cours des deux dernières décennies.

3.2.2. Méthode de surveillance de la tuberculose à *M. bovis*

3.2.2.1. Modalités de surveillance

En France, la tuberculose des animaux sauvages est détectée soit sur des animaux morts ou mourants, grâce au réseau SAGIR², soit par la découverte fortuite de lésions évocatrices de tuberculose lors de l'éviscération d'animaux chassés qui suivent en général une procédure de collecte et d'analyses de type SAGIR, soit lors d'enquêtes épidémiologiques mises en œuvre dans des régions où la maladie sévit dans les cheptels bovins. Dans ce cas, un échantillon d'animaux tués à la chasse est examiné et fait l'objet de prélèvements systématiques de nœuds lymphatiques (céphaliques, pulmonaires et mésentériques) et d'organes suspects pour analyses.

3.2.2.2. Méthodes diagnostiques utilisées

La culture bactérienne demeure l'outil diagnostique de référence. Elle permet l'isolement et l'identification de la mycobactérie jusqu'à l'espèce. La méthode alternative pour la détection directe est la PCR (amplification en chaîne par polymérase). Moins sensible que la bactériologie, elle est très spécifique et permet de compléter l'analyse bactériologique, notamment pour les prélèvements détériorés, inexploitable en mycobactériologie classique (Hénault *et al.*, 2006).

Une fois la souche de *M. bovis* isolée, son génotypage permet d'étudier l'origine de l'infection, les profils de transmission et dispersion de la maladie et le lien entre la tuberculose d'espèces domestiques et sauvages. Ainsi, pour des études d'épidémiologie moléculaire, on utilise des marqueurs qui apportent suffisamment de polymorphisme afin de différencier des souches, mais qui sont également assez stables dans le temps (Haddad *et al.*, 2004). La méthode la plus utilisée est le spoligotypage. Il s'agit d'une technique d'hybridation qui assure, en une seule étape, l'identification des bacilles tuberculeux et le typage génomique. Elle est fondée sur la caractérisation de la région de « Direct Repeats » (DR) spécifique du génome des mycobactéries du complexe de *M. tuberculosis* (Kamerbeek *et al.*, 1997). En France, il existe plus de 180 spoligotypes différents de *M. bovis* isolés à partir d'animaux de rente et sauvage. Le typage par « Variable Number Tandem Repeats » (VNTR) permet l'amélioration de la discrimination de souches, notamment quand elles présentent des spoligotypes très répandus (exemples des spoligotypes SB010 ou SB0134 en France). Il consiste en la caractérisation des régions génomiques à minisatellites, contenant des séquences répétées en tandem en nombre variable selon les souches (Skuce *et al.*, 2005).

3.2.3. Situation épidémiologique en France en 2010

3.2.3.1. En Normandie

Le premier foyer de tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage non captive a été découvert en France en 2001 sur des cerfs élaphe tués à la chasse en forêt de Brotonne (Seine-Maritime et Eure, Normandie). L'enquête épidémiologique conduite après cette découverte avait révélé des prévalences d'infection très élevées chez les sangliers et les cerfs (Tableau 20), avec des lésions le plus souvent limitées aux nœuds lymphatiques mésentériques chez le cerf et aux nœuds lymphatiques céphaliques chez le sanglier. La

² Réseau généraliste national de surveillance des maladies de la faune sauvage basé sur l'analyse des causes de mortalité (ONCFS/ FNC/ FDC)

présence de la même souche bactérienne (spoligotype SB 0134-VNTR 7454) que celle des cheptels bovins infectés proches de cette forêt (une dizaine depuis 1986), laissait supposer qu'un lien épidémiologique existait entre les cas domestiques et sauvages. Un programme de lutte a donc été mis en œuvre par les services vétérinaires : réduction des densités d'ongulés sauvages, ramassage et destruction des viscères d'animaux chassés afin de limiter le recyclage du bacille par des espèces omnivores et carnivores charognardes, interdiction de l'agrainage à poste fixe pour éviter les concentrations artificielles d'animaux. Malgré ces mesures, les prévalences apparentes n'ont pas diminué entre 2001 et 2005, à la fois chez les cerfs et les sangliers (Tableau 20), et le tableau lésionnel s'est aggravé, en particulier chez le sanglier où des lésions pulmonaires ouvertes ont été observées chez trois animaux (Hars *et al.*, 2006 ; Zanella *et al.*, 2008a). Face à cette situation, un abattage total de la population de cerfs, considérée comme le réservoir primaire de l'infection, a été décidé en 2006, ainsi qu'une réduction drastique de la population de sangliers, *a priori* réservoir secondaire (Zanella *et al.*, 2008b ; Afssa, 2009). En 2010, il ne reste probablement en forêt de Brotonne qu'une vingtaine de cerfs. Les effectifs de sangliers semblent avoir été réduits et la prévalence d'infection chez cette espèce diminue très significativement et régulièrement (Tableau 20), allant jusqu'à une quasi disparition apparente de l'infection en 2009-2010. La surveillance qui sera maintenue durant plusieurs années permettra de confirmer cette évolution favorable. Aucun foyer bovin n'a été observé depuis 2006. Enfin, depuis 2001, seul un blaireau, un chevreuil et un renard, parmi plusieurs dizaines d'animaux testés pour chaque espèce, ont été trouvés infectés par *M. bovis* dans cette forêt, sans toutefois présenter de lésion visible pouvant laisser craindre une forte excrétion bactérienne.

Tableau 20 : Evolution des prévalences apparentes d'infection (bactériologie) de tuberculose à *M. bovis* chez les cerfs et les sangliers en forêt de Brotonne (Normandie)
(Source : Hars *et al.*, 2010)

	Cerfs	Sangliers
2001-2002	14% [\pm 8%] ¹ (77) ²	28% [\pm 10%] (84)
2005-2006	23% [\pm 7%] (145)	37% [\pm 8%] (155)
2006-2007	10% [\pm 5%] (149)	31% [\pm 5%] (255)
2007-2008	23% [\pm 13%] (44)	19% [\pm 5%] (199)
2008-2009	1 infecté (19)	11% [\pm 6%] (200)
2009-2010	2 infectés (19)	0,66% [0, 017-3,63] (150)

¹ intervalle de confiance à 95%

² nombre d'individus analysés en bactériologie

3.2.3.2. En Bourgogne

A la suite de l'apparition, en Côte-d'Or, d'une épizootie de tuberculose bovine (souche GB35, spoligotype SB0134, profil VNTR 5355) en 2002 dans le massif de l'Ouche (région autour de Pouilly-en-Auxois), puis, à partir de 2003, dans la région de Vénarey-Vitteaux (souche BCG-like, spoligotype SB 0120, profil VNTR 5544), des enquêtes successives ont été menées dans la faune sauvage. Entre 2003 et 2007, seuls un cerf (n = 284) et deux sangliers (n = 160) présentaient des lésions tuberculeuses (mais aucun blaireau [n = 63]).

Toutefois, dans un contexte où la situation bovine s'aggravait, la surveillance de la faune sauvage a été maintenue et a révélé, en 2007-2008, sept sangliers infectés (n = 99), dont un jeune atteint d'une tuberculose évolutive et, en 2008-2009, 23 sangliers infectés (n = 150), dont six jeunes avec des lésions évolutives (Figure 22). A noter que la prévalence apparente chez le sanglier semblait plus élevée dans la zone de Pouilly-en-Auxois (16,5% ;

n = 103) que dans la zone de Vénarey-Vitteaux (6,4% ; n = 47), la première zone étant beaucoup plus dense en sangliers que la seconde.

De plus, au printemps 2009, une campagne de piégeage de blaireaux a permis, sur 274 animaux, de découvrir 19 cas de bactériologie et/ou PCR positives, principalement dans la région de Vénarey-Vitteaux. Tous ces blaireaux infectés vivaient à proximité d'exploitations bovines infectées et hébergeaient la même souche bactérienne. Ces résultats nouveaux (premiers cas multiples de tuberculose décrits en France chez cette espèce) ont amené les autorités préfectorales à envisager un plan de surveillance dans tout le département, et un plan de régulation du blaireau en zone d'infection des troupeaux bovins (massif de l'Ouche et région de Vénarey-Vitteaux). Au printemps 2010, une nouvelle campagne de capture de 300 blaireaux a permis de détecter 19 blaireaux positifs (bactériologie et/ou PCR). Ces résultats indiquent une relative stabilité de l'évolution de la maladie dans les populations de blaireaux de cette zone (prévalences apparentes quasi-identiques [6%] et peu de lésions observées, se limitant aux nœuds lymphatiques céphaliques ou pulmonaires). Par ailleurs, bien qu'à ce jour on observe peu de lésions macroscopiques chez ces blaireaux (seuls sept blaireaux, sur les 38 animaux trouvés infectés, présentaient des lésions ganglionnaires, peu évolutives), l'excrétion de *M. bovis* par ces animaux ne peut être exclue. Il est important de noter qu'aucun blaireau n'a été trouvé infecté dans le reste du département hors de la zone d'infection des troupeaux bovins, ce qui tend à montrer que les cas de tuberculose chez cette espèce sont directement corrélés à la présence d'infections bovines.

L'ensemble de ces résultats est rassemblé dans la Figure 22.

Enfin, deux renards (n=21), piégés accidentellement lors de la campagne de capture de blaireaux autour des foyers bovins, ont aussi été trouvés infectés (bactériologie) dans la zone de Vénarey-Vitteaux. Toutes les souches bactériennes isolées chez les animaux sauvages infectés (sangliers, blaireaux, renards) étaient identiques à celles des foyers bovins à proximité.

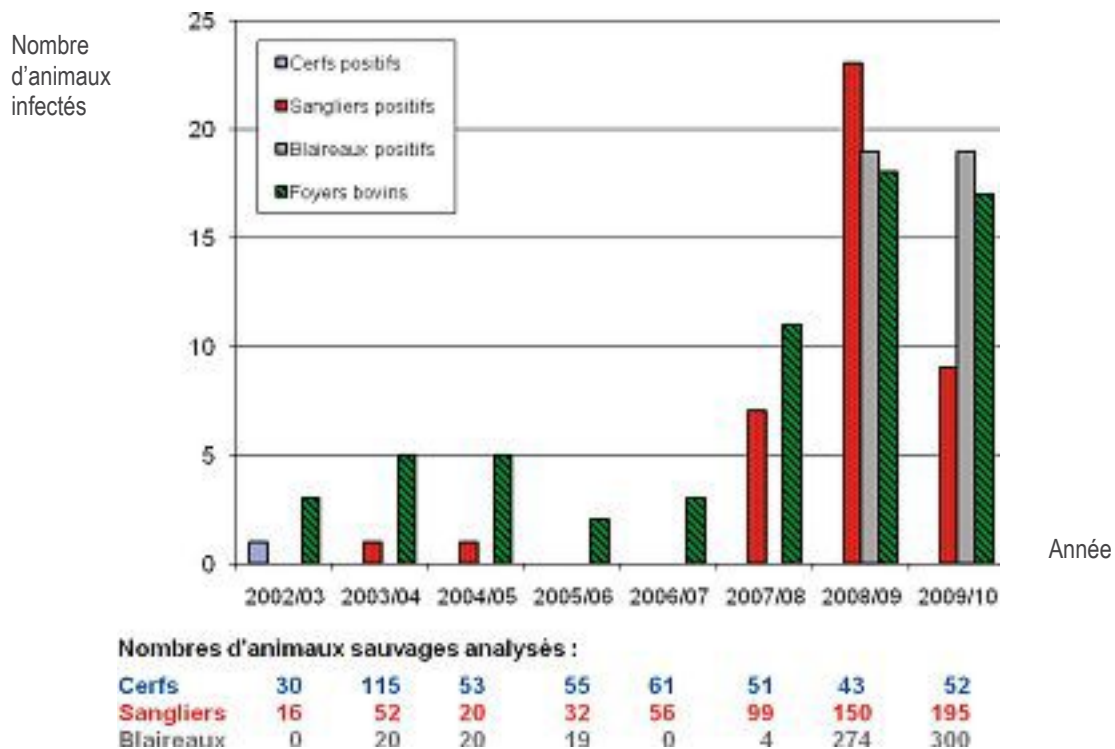


Figure 22 : Evolution des cas de tuberculose à *M. bovis* détectés chez les mammifères sauvages et dans les cheptels bovins en Côte-d'Or entre 2002 et 2010, et nombres d'animaux sauvages analysés par saison

3.2.3.3. En Dordogne et en Charente

En Dordogne, comme en Côte-d'Or, une recrudescence de tuberculose est observée dans les cheptels bovins depuis 2004. *M. bovis* n'avait jamais été isolé sur près de 500 cerfs, chevreuils et sangliers analysés dans le département jusqu'en janvier 2010, où un cerf a été trouvé infecté avec présence de lésions pleurales et mésentériques. De plus, au printemps 2010, dix blaireaux sur 71 échantillonnés en zone d'infection bovine se sont révélés positifs (par PCR et/ou bactériologie). Les premiers résultats de la campagne de surveillance entamée au second semestre 2010 font état de 14 blaireaux positifs par PCR sur 172 testés. Tous les blaireaux infectés provenaient d'une seule zone et vivaient à proximité d'un cheptel infecté par la même souche bactérienne (BCG-like). En outre, en Charente, département voisin de la Dordogne, quatre blaireaux (n=10) ont été trouvés infectés en 2010 autour d'un foyer bovin. La souche du foyer bovin et celle des blaireaux sont une même souche BCG-like.

Parmi les blaireaux infectés en Dordogne et en Charente, quatre animaux présentaient des lésions évolutives de tuberculose, parfois étendues à plusieurs organes et sites ganglionnaires. Ce tableau nécropsique diffère singulièrement de celui observé en Côte-d'Or et induit quelques questionnements : les contaminations des blaireaux en Dordogne sont-elles plus anciennes qu'en Côte-d'Or ? Les lésions « ouvertes » observées en Dordogne augmentent-elles le risque de recontamination des bovins ? Ces observations pourraient-elles être liées aux blaireaux (en raison de différences de sensibilité) ou à la souche bactérienne ?

3.2.3.4. Dans d'autres départements français

Dans les *Pyrénées-Atlantiques*, après la découverte par le réseau SAGIR d'un premier sanglier tuberculeux en 2005, des enquêtes menées durant les deux saisons de chasse suivantes dans ce département et dans le département voisin des Landes ont permis de détecter trois autres cas (n= 227) impliquant des souches bactériennes également isolées dans les récents foyers bovins (SB1005 et SB0821).

En Corse, depuis 2003, neuf sangliers infectés par *M. bovis* ont été identifiés, qui présentaient des souches bactériennes (SB0120 et SB0840) identiques à celles isolées dans les foyers domestiques bovins et porcins des mêmes zones (Richomme *et al.*, 2010). A noter que les systèmes d'élevage en libre parcours, qu'ils soient bovin, caprin, ovin ou porcine, instaurent sur l'île une situation singulière, offrant toutes les possibilités de transmission interspécifiques, mais aussi de constitution de multiples compartiments infectés, tant domestiques que sauvages.

A ce jour, dans la faune sauvage de ces départements, *M. bovis* n'a été détecté que chez le sanglier.

Bilan relatif à la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage en France

- **En France, à ce jour, la tuberculose à *M. bovis* n'a été observée dans la faune sauvage que dans des secteurs où la maladie sévit dans des cheptels bovins, avec la réserve qu'elle a été recherchée de manière plus active dans ces secteurs. L'infection des populations d'animaux sauvages a donc très probablement pour origine une contamination bovine plus ou moins ancienne, comme cela a été observé ailleurs dans le monde (cf. paragraphe sur la tuberculose dans la faune sauvage dans le monde).**
- **Des situations épidémiologiques très différentes sont observées selon les régions. Ces situations sont liées à de multiples facteurs populationnels (espèces présentes au sein du système multi-hôtes dans lequel *M. bovis* circule, densités de populations, intensité des contacts entre espèces sauvages et domestiques, etc.) et environnementaux (paysages, climat, systèmes agro-pastoraux, etc.). A ce jour, il est difficile d'évaluer la capacité des espèces sauvages concernées à devenir des réservoirs pérennes de tuberculose.**

- DéTECTÉE pour partie grâce à l'amélioration des dispositifs d'épidémiologie (réseau cynégétique de surveillance : SAGIR, examen initial des venaisons, plans de surveillance ciblée), l'infection semble mettre du temps à s'installer dans les populations d'animaux sauvages ; elle se développe d'autant mieux dans un contexte de forte augmentation des densités. Cette situation est particulièrement visible en Côte-d'Or où l'apparition de cas multiples chez le sanglier dans la vallée de l'Ouche peut être mise en relation avec une augmentation importante des tableaux de chasse.
- La forêt de Brotonne en Normandie est le seul site où, à ce jour, la présence d'un véritable réservoir sauvage de *M. bovis* a été démontrée en France. Sa constitution a sans doute été favorisée par le contexte géographique très individualisé de cette forêt, qui constitue une entité épidémiologique autonome et qui réduit les possibilités d'extension de l'épizootie (présence de « barrières » naturelles ou physiques : la Seine et l'autoroute A13) et de re-contamination des bovins. Ceci a également permis de prendre une mesure originale et exceptionnelle : l'élimination totale de la population de cerfs, considérée comme le réservoir primaire du fait qu'il développe plus souvent que le sanglier des formes évolutives de tuberculose, laissant supposer une forte excrétion bactérienne (Zanella *et al.*, 2008b). La nette et régulière diminution de la prévalence chez les sangliers, très réceptifs à *M. bovis* mais considérés comme un réservoir secondaire (McInerney *et al.*, 1995 ; Afssa, 2009), tend à démontrer l'efficacité du plan de lutte dans un contexte isolé et de densité de sangliers « raisonnable » (de l'ordre de 10 sangliers/ km² avant chasse).
- La présence de sangliers infectés en Côte-d'Or, mais aussi dans les Pyrénées-Atlantiques et en Corse, confirme la capacité de cette espèce à constituer une sentinelle épidémiologique des infections bovines et de la contamination de l'environnement par *M. bovis* (Nugent *et al.*, 2002).
- Du fait que les sangliers sont susceptibles de devenir des réservoirs de tuberculose à partir d'un certain seuil de densité et dans certaines conditions de concentration d'animaux (Naranjo *et al.*, 2008), les plans de lutte mis en place dans les départements touchés prévoient un certain nombre de mesures de gestion cynégétique (réduction d'effectifs, élimination des viscères des animaux tués à la chasse et modification des pratiques d'agrégation).
- La découverte de blaireaux tuberculeux, présentant les mêmes souches bactériennes que les cheptels bovins récemment infectés à proximité immédiate, que ce soit en Côte-d'Or ou en Dordogne (et en Charente), complique les stratégies de lutte, de par la capacité de cette espèce à entretenir l'infection (*cf.* situation au Royaume Uni). Les paysages de la Côte-d'Or et de Dordogne, mosaïque de prairies et de forêts, avec également un parcellaire de pâtures très morcelé et donc une imbrication des animaux de différents cheptels, augmentent les risques de transmissions interspécifiques et rendent la lutte plus difficile qu'en forêt de Brotonne. A ce jour, bien que l'on n'observe pas de lésion organique évolutive chez les blaireaux en Côte-d'Or, on ne peut exclure l'excrétion de *M. bovis* par ces animaux ; des travaux de recherche sur l'épidémiologie de la tuberculose dans la faune sauvage de ce département devraient permettre de répondre à un certain nombre de questions.

Deuxième partie : réponses aux questions de la saisine

L'Anses a été sollicitée sur une demande d'avis relatif aux risques épidémiologiques, pour les bovins, liés à la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage en France. Les mesures de lutte envisagées par la DGAI sont :

- « la réduction de la densité de faune sauvage (...) ;
- l'incitation à l'adoption de mesures de biosécurité visant à prévenir les contacts entre faune sauvage et faune domestique (...) ;
- le piégeage de blaireaux à proximité des foyers, sous réserve que celui-ci n'augmente pas le risque de dissémination de la maladie. »

En premier lieu, « il est demandé à l'Anses d'expertiser la pertinence de ces pistes au regard de la situation française et de les compléter, le cas échéant par d'autres propositions ».

Au vu des éléments bibliographiques et de surveillance recueillis et présentés dans la première partie du présent rapport, les propositions de la DGAI pour lutter contre la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage paraissent pertinentes. Par conséquent, l'Anses a apporté des réponses aux trois questions précises posées par le gestionnaire de risque.

1 Question n°1 relative aux densités des principales espèces sauvages qui permettraient de limiter les risques de tuberculose bovine

1.1. Rappel de la question n°1

La première question est libellée comme suit : « *Quelles seraient les densités optimales des principales espèces sauvages affectées (sangliers, chevreuil, cerfs, blaireaux) qui permettraient d'atténuer le risque de constitution de cycle épidémiologique de tuberculose bovine dans la faune sauvage sans compromettre l'équilibre démographique des populations ? La réponse à cette question pourra être déclinée suivant une typologie simplifiée des écosystèmes agropastoraux français connaissant des risques avérés de tuberculose.* »

1.2. Moyens d'estimation des densités des populations sauvages

L'évaluation des densités d'animaux sauvages dans un territoire donné est un exercice très délicat car aucun outil ne permet de dénombrer précisément et de manière exhaustive les individus d'une population d'animaux sauvages, *a fortiori* pour des espèces ayant un habitat forestier. Pour les espèces de grand gibier telles que le sanglier et les cervidés, il est très difficile d'évaluer les effectifs réels dans l'absolu (*cf.* paragraphe 3.2.1. de la première partie). Cependant, on peut estimer les tendances grâce à l'évolution annuelle des tableaux de chasse (dont l'interprétation n'est fiable que sur une période de plusieurs années) et grâce à l'évolution de différents indices d'abondance (tels que les indices kilométriques d'abondance ou IKA³). Un autre facteur peut être pris en compte : l'évolution des dégâts occasionnés par le grand gibier (principalement dégâts aux cultures pour les sangliers et dégâts forestiers pour les cervidés) est, à une échelle locale (80% des dégâts de sangliers ne concernent qu'une petite proportion des communes françaises), un bon indicateur de l'évolution des densités. Pour des espèces telles que le blaireau, les estimations sont délicates et varient dans une fourchette assez large ; elles peuvent s'appuyer sur des dénombrements d'indice de présence ou d'animaux accidentés sur les routes (*cf.* paragraphe 3.2.1.3 de la première partie), mais le recueil de ces données n'est pas homogène sur le territoire français : des comparaisons entre différents départements ou différentes régions de France, voire entre pays, ne peuvent se faire que lorsque les estimateurs de taille de population sont les

³ L'IKA est une méthode indiciaire fondée sur des observations répétées d'animaux sur des parcours forestiers standardisés traduisant l'évolution des effectifs de cervidés.

mêmes, ce qui n'est pas toujours le cas. Une des conséquences est que la bibliographie sur la tuberculose de la faune sauvage est très pauvre en données sur les densités « objectives ». Néanmoins, il est possible de s'appuyer sur les quelques données disponibles à l'étranger et sur les différentes connaissances et expériences françaises pour tenter d'appréhender le risque sanitaire induit par le facteur densités en animaux sauvages sensibles à la tuberculose, tout en gardant à l'esprit que le terme de densités « optimales » est inadapté : il est préférable de définir des densités « limitant le risque ».

En l'absence de données permettant d'établir une typologie, même simplifiée, des écosystèmes agropastoraux, l'estimation du risque lié aux densités de population des espèces sauvages proposées ci-dessous ne pourra être déclinée selon une telle typologie, mais sera à mettre en rapport avec les facteurs de risque de tuberculose identifiés en élevage bovin.

1.3. Présentation des facteurs de risque de développement de l'infection à *M. bovis* dans les populations sauvages

- D'une manière générale, les densités de population des cinq espèces étudiées ont significativement augmenté depuis vingt ans comme en atteste l'accroissement des tableaux de chasse (multipliés par 6 chez le sanglier, 4,3 chez le cerf et 3,4 chez le chevreuil) et les indices de suivi pour le blaireau et le renard. Pour chaque espèce, on observe cependant de fortes disparités départementales, voire régionales. Sur le plan épidémiologique, ces augmentations ont eu pour conséquence d'augmenter les risques de contacts interspécifiques, soit entre différentes espèces sauvages réceptives, soit entre espèces sauvages et domestiques. Dans le cas de la tuberculose, les animaux sauvages présentant localement de fortes densités ont eu (ou ont) un risque accru d'entrer en contact avec des bovins infectés qui, comme indiqué en première partie de ce rapport, sont toujours considérés comme le réservoir initial et primaire de *M. bovis*. Le risque d'émergence de cas ou de foyers dans la faune sauvage est donc accru. Par ailleurs, l'augmentation des densités accroît les risques de contacts intra-spécifiques et donc de persistance de la tuberculose chez une espèce sauvage qui peut alors devenir, comme évoqué dans les revues internationale et nationale, un réservoir primaire de la maladie. Ce réservoir devient alors un risque permanent de recontamination des bovins, et ce risque est d'autant plus élevé que le bacille circule au sein d'un système multi-hôtes sauvages et domestiques à forts effectifs, comme on peut l'observer actuellement dans le département de la Côte-d'Or.

- La densité est à l'évidence un facteur majeur de risque de constitution de cycles épidémiologiques pérennes de tuberculose dans la faune sauvage, et justifie les mesures de contrôle démographique prises systématiquement dans les plans de lutte entrepris en France et à l'étranger, mais ce n'est pas le seul facteur. Des facteurs liés aux pratiques cynégétiques (affouragement, agrainage, abreuvement des animaux et manipulation des viscères des animaux tués à la chasse) jouent également un rôle très important et sont actuellement pris en compte dans les mesures de lutte. En particulier, la concentration artificielle des animaux sur des lieux de nourrissage et d'abreuvement, intervient fortement dans le développement et la persistance d'une maladie contagieuse telle que la tuberculose au sein d'une population sauvage.

- Enfin, des facteurs environnementaux, climatiques et agro-pastoraux sont à prendre en compte. Force est de constater que la situation de la forêt de Brotonne est très différente de celle de la Côte-d'Or ou de la Dordogne. En forêt de Brotonne, la tuberculose s'est installée dans les populations de cerfs et de sangliers (dont les densités de population ne sont pourtant pas les plus élevées de France) vivant au sein d'une grande forêt au climat frais et humide, et constituant une entité épidémiologique bien individualisée (populations quasi fermées, dans cette forêt). Le scénario le plus probable est le suivant : les animaux sauvages se sont contaminés à une date inconnue auprès de bovins infectés, puis la maladie s'est développée avec de très fortes prévalences chez le cerf et le sanglier, mais les contacts avec les troupeaux de bovins laitiers, dont seuls certains animaux pâturent à la

lisière de cette grande forêt, ont dû rester limités car, depuis le début des années 2000, il n'y a pas eu d'explosion de tuberculose bovine (une dizaine de foyers en dix ans) et la maîtrise de la tuberculose en élevage laitier a été efficace.

En Côte-d'Or, le système de troupeaux bovins allaitants mis à l'herbe quelquefois dix mois sur douze dans un paysage en mosaïque de pâtures, de haies, de massifs forestiers et de lisières, offre des possibilités de contacts animaux domestiques-sauvages beaucoup plus grandes, permettant à la tuberculose de circuler parmi plusieurs espèces sensibles qui cohabitent localement (bovins, sangliers, blaireaux, cerfs et, dans une moindre mesure, renards). De plus, la maîtrise de la tuberculose en élevage allaitant est beaucoup plus difficile (cf. paragraphe 3.1.3. de la première partie).

Un département d'élevage allaitant présentant un paysage de forêts morcelées, abritant des cheptels bovins infectés, des forts effectifs de bovins et d'animaux sauvages et où se pratique, qui plus est, l'agrainage/affouragement intensif du grand gibier, est donc un département à risque de constitution d'un cycle épidémiologique de tuberculose dans la faune sauvage dont le point de départ serait un foyer bovin.

1.4. Réponse à la question n°1 : estimation du risque lié à la densité par espèce

1.4.1. Pour le sanglier

La bibliographie internationale est très pauvre en données relatives aux densités de sangliers (cf. paragraphe 1 de la première partie). En Australie, des densités de l'ordre de 11 sangliers/ km² n'ont pas permis une persistance de la tuberculose, une fois éliminé le réservoir primaire constitué par les buffles d'eau.

En Espagne, l'existence de la tuberculose est citée dans des populations d'au moins 16 sangliers/ km², et il est admis par les experts locaux que, d'un côté, des densités supérieures à 30 sangliers/ km² entraînent un risque élevé de développement et de persistance de la maladie et, d'un autre côté, des densités inférieures à 10 sangliers/ km² limitent le risque à un niveau faible. Par ailleurs, les expériences néo-zélandaises confirment la très grande réceptivité de l'espèce à *M. bovis*, bactérie que les suidés sont capables de « capter » rapidement dans le milieu extérieur dès qu'un animal par km² est présent, ce qui fait *a priori* du sanglier une très bonne sentinelle épidémiologique.

En France, l'évolution de la tuberculose à *M. bovis* chez les sangliers de la forêt de Brotonne au cours du plan de lutte apporte des informations.

Suite à l'augmentation de la pression de chasse sur le cerf (évolution de l'indice kilométrique d'abondance présenté en Figure 23) qui a évolué vers le plan d'élimination totale entrepris en 2006 (flèche rouge, Figure 25) et à la réduction des densités de sangliers (après un doublement du tableau de chasse dans les années 2006 et 2007 [plus de 700 sangliers abattus] qui apparaît en Figure 24), les chasseurs ont maintenant du mal à réaliser les tableaux de chasse obtenus facilement au début des années 2000 (entre 300 et 400 sangliers), on constate la diminution spectaculaire de la prévalence d'infection chez le sanglier qui devient presque nulle en 2009-2010⁴ (Figure 25). On peut estimer qu'un tableau de chasse de 350 sangliers correspond à une population de 700 à 800 individus avant chasse, soit pour la forêt de Brotonne, à une densité de 9 à 10 sangliers/ km². A ce niveau de densité et dans le contexte environnemental isolé de la forêt de Brotonne, le sanglier s'avère incapable de maintenir la maladie après disparition du réservoir primaire que sont les cerfs (et au départ les bovins).

⁴ Ce résultat nécessite un peu de recul pour être validé et sera à confirmer lors des futures saisons de chasse

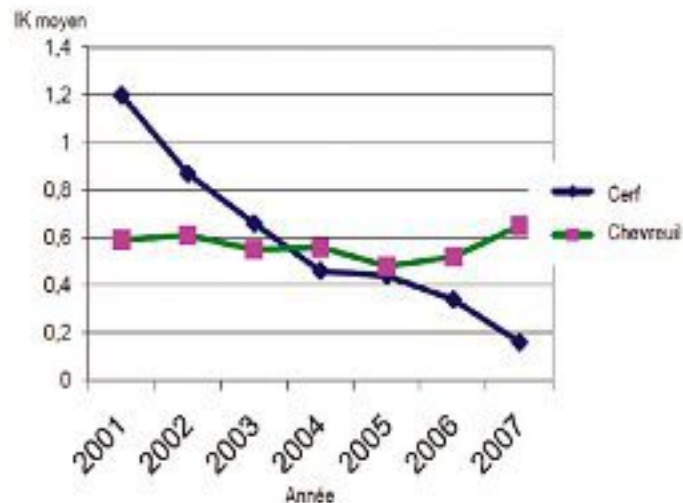


Figure 23 : Evolution des indices kilométriques d'abondance du cerf et du chevreuil dans la forêt de Brotonne (source : ONCFS)

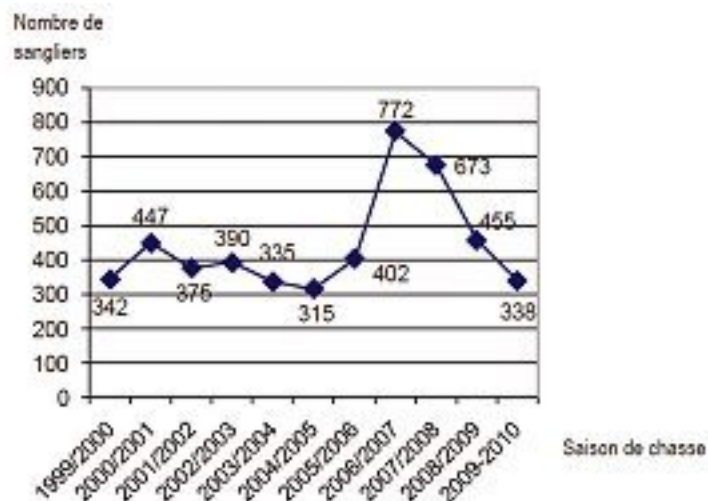


Figure 24 : Evolution des tableaux de chasse du sanglier en forêt de Brotonne (source : ONCFS)

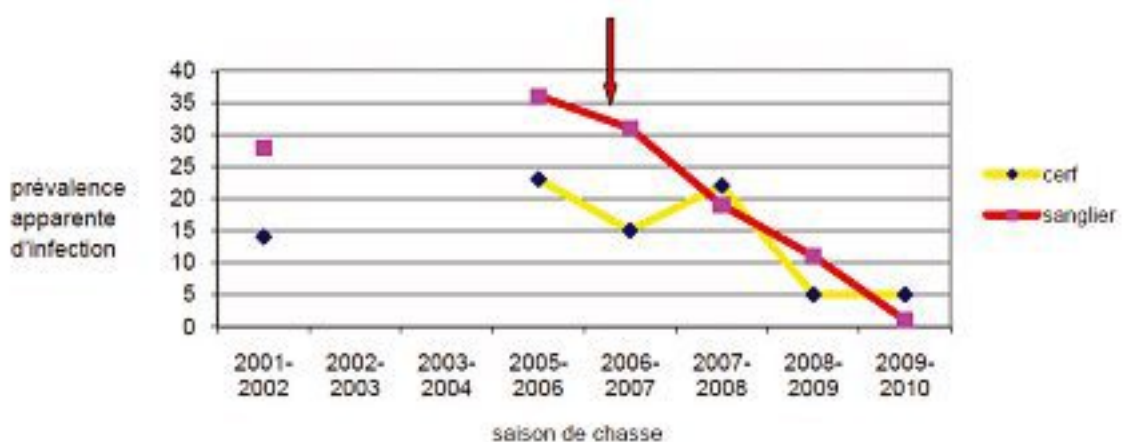
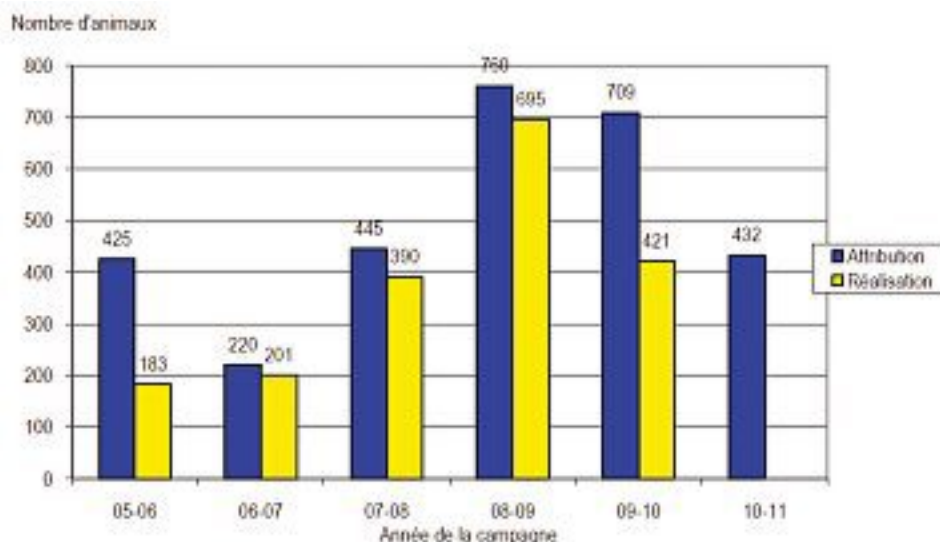


Figure 25 : Evolution des prévalences apparentes d'infection chez le cerf et le sanglier en forêt de Brotonne (la flèche rouge correspond à la mise en œuvre du plan d'élimination totale du cerf) (source : ONCFS)

En Côte-d'Or, dans le massif de l'Ouche, les effectifs de sangliers ont explosé, comme en atteste le triplement des tableaux de chasse entre 2006 et 2008 (Figure 26), et ce à l'inverse du cerf (Figure 27) (cf. infra). La tuberculose a émergé chez le sanglier dans ce massif en 2007-2008, pour atteindre un niveau de prévalence de 16,5% en 2008-2009, année où ont été tués 13 sangliers/ km² (695 sangliers/ 52 km²), ce qui correspond à des densités de l'ordre de 25 à 30 sangliers/ km² (qui ont pu être dépassées dans certains territoires de chasse).



Attributions = nombre de sangliers prévus au plan de chasse
 Réalisations = nombre de sangliers effectivement tués pendant la saison de chasse

Figure 26 : Evolution des tableaux de chasse de sangliers dans le massif de l'Ouche sur une surface boisée de 52 km²

Bilan sur les densités de population de sangliers

Les observations faites en France sont totalement cohérentes avec les expériences et estimations de risque à l'étranger. Le maintien de densités de population de sangliers inférieures à 10 sangliers/ km² avant chasse devrait contribuer *a priori* à limiter le risque de constitution de cycles sauvages pérennes de tuberculose, mais ces préconisations sont à adapter, comme pour les autres espèces, aux contextes environnementaux, démographiques et épidémiologiques locaux.

1.4.2. Pour le cerf

La bibliographie internationale fait état de deux situations où l'infection à *M. bovis* s'est installée dans des populations à fortes densités, de l'ordre de 19 à 24 animaux/ km², chez le cerf de Virginie dans le Michigan (Etats-Unis) et chez le cerf élaphe en Espagne ; il convient cependant d'interpréter ces données avec prudence car elles concernent deux espèces de cervidés différentes, évoluant dans des continents et donc des biotopes différents. En revanche, la maladie est décrite dans des populations de cerfs américains beaucoup moins denses, au Canada (0,7 wapiti/ km²).

En France, on peut se référer au cas de la forêt de Brotonne où les effectifs de cerfs ont été estimés *a posteriori*, au début des années 2000, lors de la découverte du foyer de tuberculose, à 500 à 600 individus occupant une forêt de 80 km², soit environ 7 cerfs/ km², sachant que la densité était certainement parvenue à ce niveau depuis 1995. Dans cette population, la tuberculose s'était largement développée avant 2001 puisque l'enquête épidémiologique réalisée durant la saison de chasse 2001-2002 avait révélé une prévalence apparente de 14 %, prévalence qui a ensuite augmenté jusqu'à plus de 20% en 2005. Par

ailleurs, malgré le plan d'élimination totale de l'espèce entrepris en 2006, la présence d'individus tuberculeux (2/19 examinés) a encore été constatée en 2009-2010 dans la population résiduelle qui ne comprend plus que quelques dizaines d'individus. Ceci montre à quel point la maladie peut persister chez cette espèce, qui s'avère particulièrement sensible, et qui a été considérée à juste titre comme un réservoir primaire d'infection en forêt de Brotonne.

En Côte-d'Or, il est intéressant d'examiner le cas du massif de l'Ouche où un seul cerf a été trouvé infecté en 2003 au début de l'épizootie bovine, puis plus aucun cas n'a été observé sur plus de 400 animaux examinés. La Figure 27 montre l'évolution des tableaux de chasse annuels des cerfs réalisés dans le massif de l'Ouche qui correspond à une surface forestière d'environ 53 km². On constate qu'en 2003, alors que la pression de chasse était très forte afin de réduire les densités qui avaient atteint des niveaux apparemment trop élevés, environ trois cerfs/ km² (165/5300) ont été tués ; en 2009, il s'est tué 0,8 cerf/ km². Bien que l'on admette couramment qu'un tableau de chasse de cerfs compatible avec un maintien de la population représente 20 à 25% de la population (soit trois à quatre cerfs/ km² en 2009), il faut manier ces chiffres avec beaucoup de prudence, car il est en fait impossible de connaître la taille réelle de la population. On peut par contre supposer que le niveau de population du massif de l'Ouche, dans lequel moins de deux cerfs/ km² ont été tués à partir de 2006, n'a pas permis le développement de la tuberculose chez cette espèce, dans le contexte paysager de la Côte-d'Or.

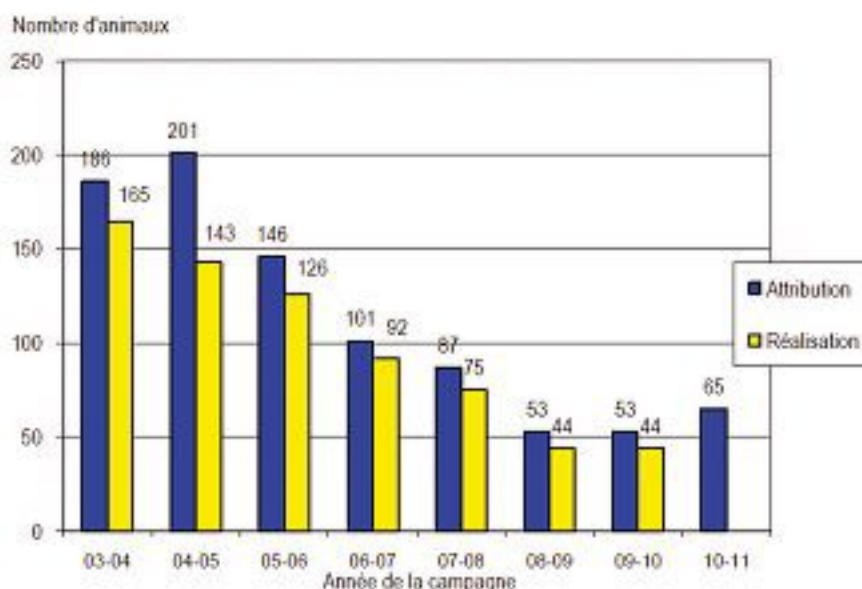


Figure 27 : Evolution du plan de chasse du cerf élaphe dans la vallée de l'Ouche depuis 2003

A l'échelon national, les densités de population de cerfs estimées dans les massifs les plus riches sont de cinq à huit animaux/ km². L'expérience de la forêt de Brotonne montre que, dans le contexte environnemental cloisonné de ce massif, ce niveau de densité peut constituer une situation à risque. En Côte-d'Or, dans un contexte environnemental certes très différent, un niveau de densité sans doute inférieur semble avoir existé à partir de 2005-2006, et cette densité ne paraît pas avoir constitué une situation à risque.

Bilan sur les densités de population de cerfs

Le cerf, espèce très sensible à l'infection à *M. bovis*, est capable de développer et de maintenir la tuberculose à des niveaux de densités de population inférieurs à ceux du sanglier. Les massifs hébergeant les densités de population les plus fortes (cinq à huit animaux/ km², voire seulement trois à cinq animaux/ km²) peuvent constituer des zones à risque, si elles sont situées à proximité de zones d'infection bovine. Toutefois, chaque situation doit être étudiée localement, en fonction du contexte environnemental.

1.4.3. Pour le blaireau

Le blaireau est une espèce particulièrement réceptive à la tuberculose bovine. Son écologie et son éthologie le rendent capable de développer et de maintenir la tuberculose localement au sein de familles et groupes infectés. Les densités de population de blaireaux rencontrées dans les îles britanniques (jusqu'à 20 à 50 blaireaux/ km²) et constituant une situation à haut risque sont en moyenne cinq à dix fois supérieures à celles rencontrées en France.

En France, depuis vingt ans, une tendance générale à l'augmentation des densités de population de blaireaux est observée, avec de fortes disparités entre les régions et départements. La Côte-d'Or, à titre d'exemple, fait probablement partie des départements les plus riches en blaireaux, avec 0,33 terriers/ km² et 83% des communes abritant des terriers (cf. Tableau 19 et Figures 17a et 17b), même s'il est difficile d'avancer une densité de blaireaux/ km²; des études supplémentaires seraient nécessaires pour préciser ce point.

Sur le plan épidémiologique, on constate que dans des zones où la surveillance effective de la tuberculose a révélé la présence de foyers bovins (Côte-d'Or, Dordogne, Charente), des cas groupés de tuberculose chez le blaireau ont été détectés, et que des blaireaux ont pu recontaminer des cheptels bovins entre-temps assainis. Toutefois, aucun élément ne permet aujourd'hui d'avancer que, dans ces zones, les populations de blaireaux constituent des réservoirs pérennes de tuberculose. Il est nécessaire de mener des études sur cette espèce assez mal connue afin de mieux appréhender les notions de densités, de nombre et de taille de groupes présents dans un territoire donné, de contacts intra- et intergroupes, de modes de transmission de la tuberculose, de contacts interspécifiques (en particulier avec les bovins).

Bilan sur les densités de population de blaireaux

A l'heure actuelle, en France, un chiffre de densité de population à risque chez le blaireau ne peut être avancé. Dans l'attente d'études complémentaires, les situations devraient être gérées au cas par cas en appliquant, par précaution, une régulation des populations vivant à proximité de cheptels bovins infectés ou en cours d'assainissement, afin de ne pas laisser s'installer une situation difficilement contrôlable comme celle observée dans les îles britanniques.

1.4.4. Pour le chevreuil et le renard

Ces deux espèces ne sont pas décrites dans la bibliographie étrangère comme de potentiels réservoirs pérennes de tuberculose. Elles semblent intervenir pour l'instant de manière très marginale dans l'épidémiologie de la tuberculose bovine en France. Comme pour les autres espèces étudiées, une nette augmentation des densités de population a été observée depuis une vingtaine d'années. Le chevreuil et le renard devront continuer à faire l'objet d'une surveillance épidémiologique dans les zones « à risque ». Si elle révélait une évolution défavorable, il conviendrait de réfléchir sur les niveaux de densités et les modes de gestion de ces espèces.

2. Question n°2 relative aux mesures envisageables pour réduire les risques d'interaction entre bovins et faune sauvage

2.1. Rappel de la question n°2

La deuxième question posée par la DGAI est la suivante : « *Quelles mesures de maîtrise de facteurs de risque seraient les plus efficaces pour réduire les risques d'interactions infectantes entre bovins et faune sauvage (sangliers, cerfs, blaireaux) ?* »

2.2. Relations entre faune domestique et faune sauvage

Toutes les souches de *M. bovis* isolées sur la faune sauvage ont fait l'objet d'un génotypage permettant l'identification du spoligotype et, la plupart du temps, du profil VNTR. Les résultats de ce génotypage montrent que les spoligotypes et les profils VNTR (loci ETR A-D) identifiés dans la faune sauvage sont toujours les mêmes que ceux identifiés dans les foyers domestiques, bovins ou porcins, à proximité. Il existe donc des associations entre des espèces sauvages et domestiques hébergeant la même souche de *M. bovis*, témoignant de l'existence d'une transmission interspécifique au sein d'un système multi-hôtes. Différentes souches peuvent être présentes dans un même département, comme c'est le cas en Côte-d'Or, dans les Pyrénées-Atlantiques ou en Corse. A l'origine, ces souches sont les plus répandues dans les cheptels domestiques. De plus, une même espèce peut être infectée par plusieurs souches dans une seule et même région (par exemple, chez les sangliers et les blaireaux). Il ne semble donc pas y avoir d'adaptation des souches à une espèce particulière (Figure 28 et Tableau 21).



Figure 28 : Répartition des cas groupés d'animaux infectés par *M. bovis* dans la faune sauvage en France : espèces infectées, génotypes de souches

Les génotypes correspondent à ceux détectés dans la faune domestique locale
(Source : LNR Anses)

Tableau 21 : Souches identifiées de *M. bovis* dans la faune sauvage en France
 (espèces infectées et génotypage des souches)
 (Source : LNR Anses)

Région	Espèce	Génotype souches
Normandie	Cerf	spoligotype SB 0134 – VNTR 7 4 5 4
	Sanglier	spoligotype SB 0134 – VNTR 7 4 5 4
	Chevreuril*	spoligotype SB 0134 – VNTR 7 4 5 4
	Renard*	spoligotype SB 0134 – VNTR 7 4 5 4
	Blaireau*	spoligotype SB 0134 – VNTR 7 4 5 4
Bourgogne	Cerf*	spoligotype SB 0134 - VNTR 6 4 5 4
	Sanglier	spoligotype SB 0134, - VNTR 6 4 5 4 spoligotype SB 0120 – VNTR 5 5 4 4
	Blaireau	spoligotype SB 0134 – VNTR 6 4 5 4 spoligotype SB 0120- VNTR 5 5 4 4
	Renard	spoligotype SB 0120 – VNTR 5 5 4 4
Dordogne- Charente	Cerf	spoligotype SB 0120 – VNTR 5 3 5 4
	Blaireau	spoligotype SB0120 – VNTR 5 3 5 4
Pyrénées- Atlantiques	Sanglier	spoligotype SB 1005 - VNTR inconnu spoligotype SB 0821 VNTR 6 5 5 4
Corse	Sanglier	spoligotype SB 0120 - VNTR 4 5 5 4 spoligotype SB 0840 - VNTR 7 5 8 4

* : cas non groupés : un à deux cas maximum

2.3. Facteurs de risque de transmission de *M. bovis* entre bovins et populations sauvages

Les populations d'hôtes sauvages et domestiques sont liées au plan épidémiologique et forment un système multi-hôtes au sein duquel *M. bovis* circule. Les mécanismes précis de transmission entre les différentes populations hôtes sont méconnus. Cependant, comme d'autres agents infectieux, la transmissibilité de *M. bovis* dépend des paramètres suivants :

- le taux d'infection dans les populations sensibles ;
- le niveau d'excrétion des populations infectées ;
- la survie de l'agent pathogène dans l'environnement ;

- le niveau d'interaction potentiellement contaminant entre hôtes sensibles et hôtes excréteurs (Corner, 2006).

Dans un système multi-hôtes complexe, comme c'est le cas pour *M. bovis* en France, il est difficile de quantifier des niveaux d'infection, d'excrétion ou d'interaction pouvant donc conduire à l'émergence et à la pérennisation de l'infection. La première étape consiste à mieux connaître et caractériser ces paramètres, et à identifier les facteurs de risque qui pourraient les influencer.

2.3.1. Taux d'infection dans les populations sensibles

Le taux d'infection est le premier indicateur de la présence de la maladie dans une population. Il doit cependant être interprété en fonction de la sensibilité de la méthode de détection de l'infection, qui tient compte de l'échantillonnage et du test diagnostique. Le dépistage de la tuberculose à *M. bovis* repose sur différentes méthodes nécropsiques, immunologiques, bactériologiques, moléculaires dont la sensibilité est variable, tout comme l'intensité de la surveillance, particulièrement dans la faune sauvage pour laquelle seuls certains départements ont mis en place une surveillance active.

Mais, si le taux d'infection dans une population peut être un indicateur du risque de transmission à une autre population, avec une augmentation du risque associée à une augmentation de la prévalence, cette condition n'est pas suffisante. Si les populations sont infectées mais non excrétrices (« cul-de-sac épidémiologique »), elles seront incapables de transmettre le bacille et ne représenteront pas un risque majeur sauf si des pratiques cynégétiques permettent la transmission de la bactérie (par exemple si les viscères ne sont pas ramassés et éliminés). En outre, le risque pour les bovins d'être contaminés par des populations sauvages n'est envisageable que si ces deux populations interagissent de façon efficace pour la transmission de *M. bovis*.

2.3.2. Niveau d'excrétion des populations infectées

2.3.2.1. Excrétion des animaux présentant des lésions

M. bovis a rarement été mis en évidence dans les excréments des animaux sauvages, sauf en conditions expérimentales, et sa recherche dans l'environnement est difficile. Les voies et les niveaux d'excrétion chez les espèces sauvages sont donc déduits du tableau lésionnel. Plus les lésions sont étendues et généralisées et plus elles sont ouvertes et non stabilisées (lésions caséuses), plus les niveaux d'excrétion sont considérés comme élevés.

- Les lésions observées chez le cerf en France, principalement en forêt de Brotonne, sont fréquemment généralisées et ouvertes avec une localisation préférentielle aux appareils respiratoire et digestif. Ce type de lésion peut traduire une excrétion importante de *M. bovis* par voie respiratoire ou fécale (Zanella *et al.*, 2008a). Le contexte géographique particulier de la forêt de Brotonne et des facteurs génétiques ont été évoqués pour expliquer la grande sensibilité de cette population de cerfs à la tuberculose bovine (Hars *et al.*, 2010).

- Chez le sanglier, les lésions observées en France sont davantage localisées aux nœuds lymphatiques céphaliques et plus stabilisées que chez le cerf, sauf sur certains individus jeunes. En corollaire, l'excrétion, et donc la dissémination de *M. bovis*, seraient limitées chez les populations de sangliers étudiées en France (Zanella *et al.*, 2008a ; Hars *et al.*, 2010). Cependant, en Espagne, dans des conditions de forte densité, le sanglier présente des lésions plus étendues et plus sévères touchant majoritairement les poumons. *M. bovis* a également été isolé dans les canaux des glandes salivaires. Dans ce cas, l'excrétion *via* les aérosols, la salive mais aussi potentiellement *via* les fèces, est possible (Naranjo *et al.*, 2008 ; Martin-Hernando *et al.*, 2007). En outre, il a été montré que des facteurs génétiques interviennent dans la sensibilité des populations de sangliers à *M. bovis* (Acevedo *et al.*, 2005), et donc probablement influent sur le niveau d'excrétion.

- Les blaireaux étudiés au Royaume-Uni peuvent excréter *via* les aérosols, les fèces, la salive, l'urine ou *via* le pus de blessures infectées. Des blaireaux présentant des lésions

miliaires peuvent excréter 200 000 bactéries par ml de sécrétions bronchiques ou par ml d'urine quand les reins sont touchés. Lorsque les lésions ont atteint ce stade, l'excrétion est continue et intense, on parle de blaireaux « super excréteurs » (Gallagher et Clifton-Hadley, 2000).

La réceptivité, la sensibilité et donc, le niveau d'excrétion, dépendent de facteurs d'hôte de nature génétique et/ou immunologique, ainsi que de facteurs démographiques et environnementaux, et doivent par conséquent être envisagés au niveau de la population, définie par un ensemble d'individus de la même espèce partageant l'ensemble de ces facteurs dans une même zone géographique.

2.3.2.2. Excrétion des animaux ne présentant pas de lésions visibles

Chez les bovins, il existe différentes observations d'excrétion par des animaux ne présentant pas ou très peu de lésions visibles, notamment celle de Mc Corry *et al.* (2005). Ainsi, dans les années 60, le cas de vaches sans lésion mammaire ni atteinte des nœuds lymphatiques rétro-mammaires, mais excrétrices de *M. bovis* dans le lait avait été rapporté (Bénet, communication personnelle).

Chez les blaireaux, au Royaume-Uni, la propagation de la tuberculose ne peut pas s'expliquer uniquement par les individus « super excréteurs » présentant une tuberculose généralisée, car ils sont minoritaires. Les blaireaux sans lésions macroscopiques excrètent aussi, plus faiblement, mais sont plus nombreux (Jenkins *et al.*, 2008).

On doit donc admettre que les animaux infectés sans lésion visible peuvent excréter *M. bovis*.

2.3.3. Survie de *M. bovis* dans l'environnement

Différents travaux ont montré que *M. bovis* pouvait survivre dans la terre pendant six à quinze mois selon les études et, dans les pâtures, de 7 à 28 jours selon les conditions de température, d'humidité et de rayonnement solaire. La bactérie est en effet détruite après 12 heures de rayonnements UV directs et après 30 jours si le rayonnement est diffus. L'humidité et la température (température optimale pour la survie de *M. bovis* : 37°C) sont aussi des facteurs déterminants. Lorsque les conditions sont optimales, à savoir un temps humide, chaud et couvert, *M. bovis* peut survivre un mois à la surface des pâtures (Jackson *et al.*, 1995b).

Dans les bouses de bovins contaminés, *M. bovis* peut survivre jusqu'à six mois pendant l'hiver et deux mois pendant l'été, selon la température et la concentration initiale des agents pathogènes. Dans l'eau courante, qui peut être contaminée par les excréments d'animaux infectés, sa survie peut aller jusqu'à 400 jours (Phillips *et al.*, 2003).

Dans une ferme irlandaise avec des antécédents de tuberculose à *M. bovis* et où la population de blaireaux avait été supprimée, *M. bovis* a été détecté par PCR dans la terre à proximité des terriers des blaireaux près d'un an après l'épisode infectieux et dans les champs avoisinants jusqu'à 21 mois après cet épisode (Young *et al.*, 2005).

La présence et la résistance de *M. bovis* à l'intérieur même des terriers n'ont jamais été recherchées. Les conditions semblent pourtant idéales pour la survie du bacille (absence de lumière, humidité, faible amplitude thermique) et il est possible que les terriers constituent un relais épidémiologique dans la transmission de la tuberculose chez le blaireau et pour toutes les autres espèces sensibles à la tuberculose, susceptibles de les utiliser (autres mustélidés, renard).

La transmission peut avoir lieu lors de contacts indirects, lors d'ingestion ou d'inhalation d'aérosols, d'eau, de nourriture ou de substrats contaminés.

2.3.4. Niveau d'interaction potentiellement contaminant entre hôtes excréteurs et hôtes sensibles

Pour que la transmission directe ou indirecte ait lieu entre hôtes sauvages et domestiques, il faut qu'il y ait un recouvrement des domaines vitaux des deux populations. Ce recouvrement est déterminé par l'écologie des espèces sauvages réceptives et excrétrices et par les

pratiques d'élevage des espèces domestiques. Tout facteur augmentant la durée et la fréquence d'utilisation commune des domaines vitaux, favorisant et multipliant ainsi les contacts contaminants, pourra accroître le risque de transmission.

De nombreux mammifères ont été trouvés infectés. A ce jour, en France, seuls le cerf, le sanglier et le blaireau semblent jouer un rôle épidémiologique, plus ou moins important selon les zones géographiques, dans le maintien de la maladie.

2.3.4.1. Influence de la présence et de la densité des hôtes

En premier lieu, le recouvrement des domaines vitaux dépend des différentes populations hôtes présentes au sein d'une même unité géographique.

Ensuite, la capacité d'une population à maintenir et à transmettre l'infection dépend de la présence et de l'abondance de la population d'hôtes réservoirs, qui peuvent influencer sur le taux de contacts intraspécifiques et interspécifiques, avec une augmentation du risque de transmission associée à une élévation de la densité (Haydon *et al.*, 2002 ; Gortazar *et al.*, 2006 ; White *et al.*, 2008).

La distribution des hôtes impliqués dans le maintien de l'infection : cerf, sanglier, blaireaux, mais aussi celle des hôtes domestiques, peut donc être interprétée comme une indication du niveau de risque pour le maintien et la transmission de *M. bovis*.

2.3.4.2. Influence de l'éco-éthologie des espèces

- Le blaireau est présent en forêt et en milieu ouvert ou semi-ouvert tel que le bocage, les landes ou les prairies, avec un domaine vital de 0,5 à 1 km². Le grégarisme de cette espèce vivant en groupes familiaux partageant un même terrier et les comportements sociaux (léchage et épouillage mutuels, jeux) favorisent les contacts directs et ainsi la transmission intra spécifique.

Les pâtures de bovins peuvent constituer une partie, voire la majorité de son domaine vital (Hutchings et Harris, 1999) et certains de ses comportements peuvent y entraîner une excrétion de *M. bovis*. La défécation se fait dans des latrines qui se trouvent fréquemment en prairie. Espèce territoriale, le blaireau délimite son territoire par du marquage fécal et urinaire, qu'il dépose préférentiellement au niveau de bordures et frontières naturelles ou artificielles. Les clôtures, les limites entre champs sont ainsi des sites particulièrement propices au marquage (White *et al.*, 1993). Enfin, le régime alimentaire du blaireau est largement constitué de lombrics, qu'il prélève notamment dans les pâtures (Tolhurst *et al.*, 2009). L'investigation par l'odorat et la consommation par les bovins de l'herbe contaminée par les fèces, l'urine ou la salive de blaireau sont considérées comme les modes de contamination dominantes, en pâture, entre blaireaux et bovins (Hutchings et Harris, 1999).

- Les ongulés occupent des milieux très divers, privilégiant les couverts forestiers pendant la journée et fréquentant les milieux ouverts pendant la nuit. Leurs domaines vitaux sont plus ou moins étendus (environ 30 km² pour le sanglier selon le sexe, l'âge et la pression de chasse et 0,5 à 2 km² pour le cerf). Les champs et les pâtures sont régulièrement fréquentés par ces espèces pour la recherche de nourriture, particulièrement pendant la nuit (Janeau et Spitz, 1984 ; Georgii, 1980).

Des études ont mis en évidence que les points d'abreuvement, d'alimentation et les pierres à lécher pouvaient constituer des points de transmission indirects potentiels de pathogènes (Richomme *et al.*, 2006 ; Vicente *et al.*, 2007 ; Castillo *et al.*, 2011).

2.3.4.3. Influence des pratiques d'élevage

De nombreux contacts avec les espèces sauvages sont possibles lorsque les bovins sont à l'herbe, en fonction du recouvrement des domaines vitaux des différentes espèces. La durée de mise à l'herbe peut donc être un facteur influençant l'intensité des contacts entre la faune sauvage et les bovins. Plus la durée de mise à l'herbe est longue, plus le risque de contact est élevé. En cela, l'élevage allaitant où les bovins sont laissés huit mois en pâture, voire

toute l'année pour certaines races, constitue une pratique nécessaire à l'élevage, mais à risque vis-à-vis de la transmission de *M. bovis* entre espèces sauvages et domestiques.

La charge de bovins à l'hectare et l'utilisation alternée des pâtures peuvent également jouer un rôle vis-à-vis des contacts potentiellement contaminants avec les blaireaux. Il a en effet été montré que les latrines actives étaient évitées le plus possible par les bovins et que ceux-ci n'y broutaient l'herbe que lorsqu'ils n'avaient pas d'autre alternative. En cas de surpâturage, soit pour cause de surdensité, soit pour cause de manque de rotation entre pâtures, la consommation d'herbe souillée par les déjections de blaireaux va ainsi augmenter. De plus, lorsque l'herbe est rase, les bovins vont ingérer plus de terre dans laquelle les bacilles résistants sont susceptibles de se trouver. La hiérarchie dans le troupeau intervient aussi car ce sont souvent les vaches de plus bas rang hiérarchique qui vont consommer les parties de pâtures rejetées par leurs congénères (Hutching et Harris, 1997).

Enfin, comme indiqué précédemment, l'accessibilité aux espèces sauvages, et particulièrement aux blaireaux, des points d'alimentation et d'abreuvement des bovins, contribue au renforcement du risque. Différentes études conduites en Angleterre ont montré que les blaireaux fréquentaient les mangeoires dans les pâtures et les bâtiments d'élevage. Les réserves d'aliments comme les silos, l'ensilage ou les granges à foin sont particulièrement visités pendant la nuit pour la recherche de nourriture, et les blaireaux peuvent y déféquer ou y uriner. Des contacts directs entre blaireaux et bovins ont également été observés en pâture comme dans les bâtiments (Garnett *et al.*, 2002 ; Garnett *et al.*, 2003 ; Tolhurst *et al.*, 2009 ; Bohm *et al.*, 2009 ; Ward *et al.*, 2010). Aux Etats-Unis, dans le Michigan, il a été montré que les cerfs de Virginie, qui constituent un réservoir sauvage de la tuberculose à *M. bovis*, fréquentent également les bâtiments d'élevage (Bertentsen *et al.*, 2010).

2.3.4.4. Influence de la saison

La saison intervient sur la disponibilité alimentaire et va ainsi influencer l'utilisation par les espèces sauvages des sources de nourriture disponibles dans les exploitations.

- Pour le blaireau, la fréquentation des pâtures pour la recherche de lombrics augmente en période de pluie lorsque ces derniers sont plus facilement accessibles. Par temps sec, ils se tournent vers les aliments destinés aux bovins et fréquentent davantage les bâtiments et les mangeoires. En hiver, l'activité des blaireaux étant ralentie, il se déplacent moins et sont moins présents sur les exploitations (Tolhurst *et al.*, 2009).

- Le sanglier étant une espèce opportuniste, sa fréquentation des pâtures va dépendre de la présence et de la disponibilité des autres sources alimentaires, comme les glands en forêt ou les céréales des champs cultivés. Différentes études montrent que la fréquentation des prairies et des champs cultivés a lieu principalement au printemps et en été (Janeau et Spitz, 1984 ; Gérard et Campan, 1988).

- Chez le cerf, des études menées en Norvège ont montré qu'il fréquentait davantage les pâtures au printemps et à l'automne (Godvik *et al.*, 2009). Aux Etats-Unis, le pic de visites du cerf de Virginie dans les exploitations bovines a lieu au printemps et en période de mise-bas (Bertentsen *et al.*, 2010).

- Chez les bovins, la saison à risque correspond à la période de mise à l'herbe, c'est-à-dire du printemps à l'automne.

De plus, en cas de sécheresse, la disponibilité des points d'eau destinés aux bovins les rend attractifs pour toutes les espèces sauvages (Vicente *et al.*, 2007 ; Castillo *et al.*, 2011).

Par ailleurs, les conditions climatiques favorisant la survie de *M. bovis* dans l'environnement vont augmenter la probabilité de transmission indirecte de la tuberculose bovine. La bactérie étant sensible à la sécheresse et aux rayonnements UV, sa survie sera favorisée en période

automnale et hivernale, ainsi que dans les terriers (Jackson *et al.*, 1995b ; Gallagher et Clifton-Hadley, 2000 ; Phillips *et al.*, 2003).

2.3.4.5. Influence de la structure paysagère

Selon les régions, les habitats des populations sauvages se superposent plus ou moins aux zones d'élevage. Les paysages de type bocager avec des mosaïques prairie-forêt, comme c'est le cas en Côte-d'Or où les pâtures se trouvent très souvent en lisière de forêt, favorisent les contacts entre populations sauvages et domestiques. Ce type de paysage est particulièrement à risque pour l'émergence de pathogènes multi-hôtes (Vourc'h *et al.*, 2008). D'autre part, l'hétérogénéité de l'habitat et l'abondance des lisières favorisent :

- la présence des cervidés, en augmentant leur sédentarité et leur densité (Georgii, 1980 ; Saïd *et al.*, 2005) ;
- le comportement de marquage territorial des blaireaux, augmentant ainsi leur excrétion potentielle de bacilles dans les pâtures (White *et al.* 1993).

En Angleterre, des études cas-témoins visant à identifier les facteurs de risque de contamination en élevages ont montré que la présence de forêts sur la surface de l'exploitation constituait un facteur de risque (Bourne *et al.*, 2007).

Bilan relatif aux facteurs de risque de transmission de *M. bovis* entre populations sauvages et domestiques

La prise en compte conjointe des différents facteurs démographiques, écologiques, éthologiques, géographiques, et des pratiques d'élevage fournit autant d'éléments de l'évaluation du risque de transmission de la tuberculose à *M. bovis* entre populations domestiques et sauvages. Associés à la connaissance de la prévalence de l'infection, ils peuvent être utilisés pour identifier des zones et des saisons potentiellement à risque pour la transmission de *M. bovis* entre les populations sauvages et domestiques (« hot spots »). Cette approche reste cependant qualitative et hypothétique car les types d'interactions entre bovins et populations sauvages les plus propices à transmettre le bacille ne sont pas connus avec précision. Il est d'autre part difficile de hiérarchiser l'importance des facteurs de risque. Pour cela, une meilleure connaissance de l'excrétion bactérienne par les animaux infectés ainsi qu'une caractérisation fine des interactions permettant de quantifier les taux de contact entre animaux d'espèces sensibles seraient nécessaires et devraient faire l'objet d'un travail de recherche.

2.4. Réponse à la question n°2 : mesures de maîtrise des facteurs de risque les plus efficaces pour réduire les risques d'interaction entre faune sauvage et faune domestique

L'objectif, à terme, est l'éradication de la tuberculose chez les bovins et la maîtrise de *M. bovis* dans la faune sauvage. Lorsque les espèces sauvages constituent un réservoir, une action de lutte doit être entreprise.

En France, comme dans tous les pays où sévit la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage, il semble que les populations sauvages aient été, au départ, contaminées par des bovins.

Afin de rompre le cycle épidémiologique de la tuberculose bovine entre les populations hôtes sauvages et domestiques, les méthodes de lutte doivent comprendre :

- l'éradication de l'infection dans la population hôte domestique (non traitée ici) ;
- la limitation de la transmission entre populations sauvage et domestique en limitant leurs interactions (Haydon *et al.*, 2002) ;
- la maîtrise de l'infection dans la population hôte sauvage, soit en diminuant le nombre d'individus infectés et en limitant le recyclage des matières dangereuses

par une baisse de la densité (abattage), soit en limitant l'infection et donc l'excrétion (vaccination).

2.4.1. Limitation des interactions entre bovins et populations sauvages

Les interactions entre bovins et population sauvage peuvent être limitées par la mise en place de systèmes empêchant la faune sauvage d'accéder à l'habitat des bovins. Si ces systèmes peuvent être installés et être efficaces dans les bâtiments, il est toutefois beaucoup plus difficile de contrôler les pâtures et l'accès de la faune sauvage à ces pâtures, ce qui peut poser problème en élevage allaitant où la durée de mise à l'herbe peut difficilement être réduite.

Les systèmes consistent le plus souvent en des clôtures entourant les éléments des exploitations particulièrement attractifs pour les espèces sauvages et où des contacts contaminants peuvent survenir. C'est le cas aux Etats-Unis où le département de l'Agriculture du Michigan a initié un programme visant à améliorer la biosécurité dans les élevages bovins en mettant en place des clôtures autour des lieux de stockage des aliments, mesure gratuite pour les éleveurs volontaires. Une étude cas-témoins a en effet montré que l'absence de foyer bovin était significativement liée à la présence de dispositifs limitant l'accès des cerfs aux zones d'élevage (O'Brien *et al.*, 2006).

Des clôtures ont également été mises en place au Canada autour des granges à foin pour la prévention des interactions entre wapitis, cerfs et bovins (Wobeser *et al.*, 2009).

En Angleterre, le Defra préconise une série de mesures à destination des éleveurs afin de diminuer les contacts potentiellement contaminants entre bovins et blaireaux :

- dans les fermes, limiter l'accès aux aliments dans les lieux de stockage et de distribution ;
- dans les pâtures, limiter l'accès des blaireaux à toute forme d'aliment (éviter de nourrir les bovins au sol, suspendre les blocs de sels minéraux) ; surveiller les indices de présence des blaireaux, comme les terriers ou les latrines ou les signes de contamination des mangeoires par la faune sauvage ; retirer tout cadavre de blaireaux des pâtures ;
- bien séparer les pâtures de la forêt, limiter au maximum le surpâturage et mettre en place des clôtures empêchant le plus possible les contacts directs et indirects entre bovins et blaireaux (Source : <http://www.defra.gov.uk/foodfarm/farmanimal/diseases/atoz/tb/abouttb/protect.htm>).

L'effet de clôtures électriques sur la fréquentation par les blaireaux des bâtiments d'élevage a été testé. Ces clôtures se montrent efficaces pour exclure les blaireaux des sites clôturés, mais également des autres lieux de l'exploitation non clôturés et auparavant visités par les blaireaux, ceux-ci se détournant vers d'autres sources de nourriture que la ferme. Certains des blaireaux expérimentent le choc électrique tandis que d'autres sont repoussés par la clôture sans la toucher, attestant d'un comportement d'apprentissage social. En revanche, les exploitations sont de nouveau visitées un jour après le retrait des clôtures ; il n'y aurait donc pas d'effet à long-terme. La question se pose également de la contrainte de telles clôtures qui doivent, suivant les installations des fermes, être parfois posées et enlevées chaque jour pour permettre l'accès des bovins et des éleveurs (Tolhurst *et al.*, 2008). En outre, la végétation doit être maintenue suffisamment rase pour ne pas interférer avec le système électrique.

Bilan sur la limitation des interactions entre bovins et faune sauvage

Les interactions entre populations sauvages et populations domestiques peuvent être diminuées :

- en limitant l'attractivité et l'accès des lieux de stockage des aliments et de nourrissage du bétail dans les bâtiments et dans les pâtures ;
- en mettant en place des clôtures efficaces contre l'intrusion des animaux sauvages ;
- en évitant le surpâturage et les pâtures en bordure de forêt.

2.4.2. Maîtrise de l'infection dans la population-hôte sauvage

2.4.2.1. Action sur la densité

▪ *Limiter les facteurs d'agrégation*

Les facteurs d'agrégation tels que l'agrainage, l'affouragement des cervidés, les points d'eau en milieu aride ou encore les sels minéraux, augmentent non seulement la densité locale des populations sauvages mais permettent également d'entretenir l'infection en favorisant les contacts directs et indirects par la contamination de l'eau ou des aliments. Ces facteurs de risque ont été démontrés aux Etats-Unis et en Espagne. L'interdiction de l'affouragement aux Etats-Unis, associée à la réduction de la densité, a conduit à une baisse de la prévalence chez les cerfs de Virginie (Miller *et al.*, 2003 ; O'Brien *et al.*, 2006 ; Vicente *et al.*, 2007 ; Castillo *et al.*, 2011).

En France, le plan national de maîtrise du sanglier préconise l'interdiction de l'agrainage des sangliers, excepté dans le but de protéger les cultures ; l'agrainage participe directement ou indirectement à l'entretien de fortes densités voire à l'accroissement des populations (fiche 4 du Plan national de maîtrise du sanglier). Pour la maîtrise de toute maladie contagieuse, l'agrainage à poste fixe pour les sangliers et l'affouragement sur râtelier des cerfs sont à proscrire à une échelle départementale, voire régionale, et tout particulièrement dans de grandes zones à risque. Une interdiction de l'agrainage mise en œuvre uniquement au niveau local pourrait avoir comme effet de déplacer les populations vers les zones où l'agrainage est autorisé et ainsi de propager l'infection.

▪ *Réduction des densités*

La réduction de la densité dans une population a pour but de diminuer les contacts intraspécifiques et interspécifiques en abaissant la probabilité de transmission de l'infection et en contribuant ainsi à la disparition naturelle de la maladie. Cette méthode est utilisée dans les populations réservoirs primaires lorsque leur éradication n'est pas applicable pour des raisons éthiques, politiques ou écologiques. C'est la méthode de choix pour maîtriser la tuberculose à *M. bovis* dans les populations réservoirs secondaires. Cette méthode est traitée dans la réponse à la question 1.

Cette stratégie a été mise en œuvre chez le blaireau en Angleterre et en Irlande et chez le cerf de Virginie dans le Michigan. Dans chacun de ces cas, les populations visées par l'abattage présentaient des densités élevées, étaient considérées comme réservoir primaire de l'infection et comme responsables de recontamination des bovins mais ne pouvaient pas être totalement éradiquées, notamment pour des raisons éthiques et politiques.

Les résultats de ces mesures peuvent être évalués directement par la baisse de la densité dans les populations concernées par l'abattage et indirectement par l'évolution de la prévalence et de l'incidence de la tuberculose dans ces populations et chez les bovins.

Pour le blaireau, en Grande-Bretagne, les résultats de cette mesure n'ont pas fait baisser la prévalence de l'infection à *M. bovis* chez les blaireaux mais ont été globalement bénéfiques sur l'incidence de la tuberculose bovine (*cf.* paragraphes 2.4. et 2.5.) bien que, dans certains contextes, l'effet ait été délétère, suite à la perturbation sociale provoquée par cette méthode dans les groupes de blaireaux. Dans ces cas, l'abattage massif a eu pour effet de perturber la structure sociale des groupes, augmentant le comportement exploratoire et la taille du

domaine vital des populations de blaireaux, favorisant ainsi les contacts intergroupes et augmentant potentiellement les contacts avec des troupeaux bovins. La baisse de la densité résultant d'abattage proactif (réalisé en continu sur de longues périodes, sur des surfaces supérieures à 100 km²) a compensé ces effets en réduisant le nombre d'individus pouvant rentrer en contact. Dans les zones d'abattage réactif (mis en œuvre de manière localisée et épisodiquement autour des foyers bovins), en revanche, les déplacements des blaireaux infectés ont eu pour effet, d'augmenter la probabilité de contact entre bovins et blaireaux. (Donnelly *et al.*, 2007, Bourne *et al.*, 2007, Woodroffe *et al.*, 2006, Woodroffe *et al.*, 2009).

- *Eradication des populations hôtes*

Cette méthode radicale, consistant en l'élimination totale d'une population, est la méthode la plus efficace lorsqu'elle est applicable. Elle est cependant délicate à mettre en œuvre dans la faune sauvage pour des raisons éthiques, pratiques et écologiques. Elle a déjà été appliquée dans des cas bien précis, avec l'objectif d'éliminer une population hôte jouant le rôle de réservoir primaire de l'infection. Cette stratégie n'est en revanche pas nécessaire sur des populations considérées comme réservoirs secondaires. Elle a été utilisée dans différentes populations à travers le monde :

- ✓ En Australie sur le buffle d'eau, espèce introduite dans les années 1800, ayant une faible valeur économique et un impact écologique délétère sur certains écosystèmes australiens. Le choix de l'éradication pour contrôler la tuberculose enzootique dans cette population était donc justifié (Corner, 2006) ;

- ✓ En Nouvelle-Zélande, l'éradication du possum est mise en œuvre actuellement pour endiguer le réservoir sauvage de la tuberculose à *M. bovis* dans ce pays (Ryan *et al.*, 2006) ;

- ✓ En France, en forêt de Brotonne, la décision d'éradiquer la population de cerfs a été prise sur la base de son rôle de réservoir primaire de la maladie, de la situation géographique particulière de ce massif forestier correspondant à une entité épidémiologique autonome, les populations ayant très peu d'échanges avec d'autres massifs, et sur le fait que le cerf n'est pas un espèce menacée (Hars *et al.*, 2010).

2.4.2.2. Limitation du recyclage des matières virulentes

Il s'agit de limiter l'exposition accrue des animaux aux matières contaminantes, susceptibles d'entretenir le cycle épidémiologique de *M. bovis* dans la faune sauvage. Cette méthode s'applique aux pratiques cynégétiques en préconisant le ramassage systématique de tous les viscères des animaux chassés. Associée à d'autres méthodes de maîtrise de l'infection, elle a montré son efficacité sur les populations de cerfs de Virginie dans le Michigan (O'Brien *et al.*, 2006), et en forêt de Brotonne, dans la population de cerfs et de sangliers (Hars *et al.*, 2010).

Etant donnée la survie probable de *M. bovis* dans les terriers de blaireaux infectés, la destruction ou l'assainissement de ces terriers contribuerait très probablement à la maîtrise de la tuberculose chez cette espèce.

2.4.2.3. Vaccination

La vaccination peut être une mesure intéressante lorsque l'éradication ou la réduction de densité des populations cibles ne peuvent être mis en œuvre pour des raisons éthiques, réglementaires (protection des espèces), de conservation (espèces menacées) ou lorsque le rapport coût-bénéfice de l'éradication n'est pas favorable. La vaccination des populations sauvages a déjà montré son efficacité par le passé pour la rage chez le renard par exemple.

Des stratégies vaccinales sont déjà envisagées dans plusieurs populations sauvages infectées par la tuberculose à *M. bovis* dans le monde. Tous les vaccins sont développés à partir de la souche BCG.

- *Chez le blaireau* : un vaccin injectable par voie intramusculaire disposant d'une autorisation de mise sur le marché existe en Grande-Bretagne. Il réduit la sévérité des

lésions et l'excrétion, mais n'empêche pas complètement l'infection, contrairement au vaccin contre la rage utilisé chez le renard. Par conséquent, la vaccination est envisagée en complément de l'abattage des blaireaux, dans les zones de faible prévalence, autour des zones d'abattage pour éviter la diffusion liée à la perturbation sociale puis pour succéder à un abattage et maintenir des zones « protégées ». Il s'agit d'obtenir une immunité de groupe, particulièrement justifiée chez cette espèce présentant un tel comportement social. Les travaux de modélisation réalisés en Grande-Bretagne montrent que l'association vaccination et abattage des blaireaux serait la plus efficace à long-terme pour lutter contre la tuberculose à *M. bovis* dans cette espèce. Le vaccin est actuellement en phase de déploiement sur le terrain en Angleterre et les premiers résultats sont encourageants (cf. première partie, paragraphe 2.4.2).

En France, la situation en termes de densité de population de blaireaux et de prévalence de l'infection à *M. bovis* est différente de celle de la Grande-Bretagne. Compte tenu du manque de recul sur le rôle épidémiologique du blaireau, il serait prématuré de recommander la vaccination comme mesure de gestion de la tuberculose chez cette espèce. En revanche, elle pourrait s'inscrire dans le cadre d'une stratégie complémentaire à l'abattage, à la périphérie des zones d'élimination des blaireaux si les mesures proposées dans la réponse à la question n°3 s'avéraient insuffisantes.

- Chez le sanglier, un vaccin est actuellement en développement en Espagne, où il est encore en phase expérimentale. Les résultats obtenus à l'issue de la mise en œuvre de la vaccination chez cette espèce seront à suivre. Cependant, tant que les populations de sangliers ne jouent pas, en France, le rôle de réservoir primaire, la mise en œuvre d'une stratégie vaccinale n'est pas justifiée.

- Chez le cerf de Virginie, un vaccin est en cours d'élaboration aux Etats-Unis. En France, le rôle de réservoir du cerf n'a été mis en évidence qu'en forêt de Brotonne où les mesures actuelles de lutte visant à éliminer ce réservoir ne font pas appel à la vaccination. Par conséquent, la vaccination du cerf n'est pas à envisager en France actuellement. La question pourrait se poser ultérieurement, au moment de la réintroduction de cerfs en forêt de Brotonne, à titre de précaution.

3. Question n°3 relative aux modalités de piégeage et/ou de destruction de terriers de blaireaux

3.1. Rappel de la question n°3

La troisième question de la DGAI porte plus spécifiquement sur les mesures de lutte contre les blaireaux. Elle est libellée ainsi : « *si des opérations de piégeage ou de destruction des terriers de blaireaux sont retenues en réponse à la question précédente, quelles seraient les conditions en terme de couverture géographique et d'intensité de piégeage pour que ces actions soient efficaces ? La réponse à cette question pourra notamment intégrer le retour d'expérience des Britanniques, ayant conduit à la conclusion que l'élimination des animaux infectés ne permettait pas le contrôle de la maladie et qu'elle pouvait favoriser la diffusion de la maladie* (Final Report of the Independent Scientific Group on Cattle TB).

3.2. Enseignements tirés des situations et études britanniques

Le blaireau est un hôte privilégié pour *M. bovis*. Il est très probable que l'infection des blaireaux, sans doute initialement acquise dans quelques foyers originaux à partir de bovins infectés, a diffusé dans tout le sud-ouest de l'Angleterre et le Pays de Galles, ainsi qu'en Irlande du Nord et République d'Irlande.

Il y a donc un risque que les foyers locaux de tuberculose existant chez les blaireaux français diffusent géographiquement, à moins qu'une action appropriée ne soit prise rapidement pour les contrôler.

La démonstration du rôle de réservoir joué par le blaireau a été difficile à établir et peut dépendre de l'épidémiologie locale de la maladie. Suite aux conclusions du RBCT et du « Four areas study » au cours desquels l'abattage des blaireaux a été associé à une baisse de l'incidence de la tuberculose bovine plus importante que dans les zones sans abattage, ce rôle de réservoir est à présent admis dans le sud-ouest de l'Angleterre, au Pays de Galles et en Irlande, malgré des prévalences et des densités de blaireaux variables. En Irlande du nord, où les blaireaux ne sont pas soumis à une pression d'abattage, la question reste encore ouverte, quoique l'hypothèse que les blaireaux contribuent à l'augmentation de l'incidence de la tuberculose bovine soit forte.

Il est démontré que le blaireau a la capacité d'être un réservoir primaire de tuberculose dans les îles britanniques.

Les densités minimales de blaireaux, en dessous desquelles le risque de transmission de *M. bovis* aux bovins est suffisamment réduit, sont difficiles à définir et sont peut-être des indicateurs incorrects de risque pour les bovins.

En Grande-Bretagne, lors du RBCT, une baisse de densité définie par le nombre de blaireaux capturés par km², le nombre de terriers actifs par km² et le nombre de latrines par km², a été observée dans certaines zones de l'étude. Seules deux zones soumises à l'abattage proactif et une zone avec abattage réactif ont permis d'atteindre des densités inférieures à 0,5 blaireaux par km² lors de la dernière campagne d'abattage. Une baisse significative de l'incidence de la tuberculose bovine a été observée dans la région d'abattage proactif des blaireaux par rapport à la région témoin. Toutefois, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre ces trois zones d'abattage.

En Irlande, l'objectif des abattages est d'abaisser la densité des blaireaux à moins de 0,5 blaireau au km².

Dans les îles britanniques, l'objectif de réduction de densités des blaireaux a en général été fixé à moins de 0,5 blaireau/ km².

L'abattage détruit la structure des groupes de blaireaux et favorise l'immigration de nouveaux groupes sur les territoires vacants et la fuite des membres restants vers d'autres groupes. Ces mouvements d'animaux sont propices à l'augmentation des contacts infectants entre groupes. Cet effet de perturbation a été utilisé pour expliquer l'augmentation de la tuberculose à *M. bovis* en bordure des zones d'abattages réactifs. Il a également été observé en marge de l'abattage proactif du RBCT (zone d'étude de 2 km).

Lors du « Four areas study » irlandais, les zones d'abattage étaient délimitées par des barrières naturelles ou des zones tampons de 6 km.

Des barrières naturelles ou des zones tampons en marge des zones d'abattage sont nécessaires pour limiter l'effet de perturbation. Une zone tampon où n'est pas pratiqué l'abattage intensif, mais seulement un échantillonnage destiné à la surveillance épidémiologique, devrait être au minimum égale à la distance parcourue par des blaireaux dans le cadre de cette perturbation (5 km).

L'unité épidémiologique pour le maintien de la tuberculose chez les blaireaux est le groupe social.

L'abattage, quand il est préconisé, doit donc concerner tous les membres des groupes ciblés par cette mesure.

Un abattage répété de groupes de blaireaux sur une large surface permet de réduire la pression d'infection par *M. bovis* et les risques de transmission des blaireaux aux bovins, en situation de forte prévalence de *M. bovis* chez les blaireaux, comme cela a été observé en Angleterre et en Irlande.

D'après les données collectées lors du RBCT, une surface minimale d'abattage de blaireaux de 100 km² a été nécessaire pour permettre la réduction de l'incidence de la tuberculose bovine observée en Angleterre (pays qui se trouve cependant dans une situation très différente de la situation française avec notamment une densité des populations de blaireaux et des taux d'infection des bovins et des blaireaux très supérieurs à ceux estimés actuellement en France).

Le taux de capture et d'abattage doit être le plus élevé possible afin d'éliminer tous les blaireaux excréteurs à proximité des élevages et limiter l'effet de perturbation conduisant à "l'émigration" d'individus infectés ciblés par les abattages. L'utilisation des cages-pièges n'a permis en Angleterre de capturer qu'environ 70% des blaireaux.

L'utilisation de collets abdominaux avec freins (collets à arrêtoir) tels que ceux utilisés en Irlande est recommandée car elle offre un meilleur rendement que la capture par cage.

La recolonisation par les groupes voisins des zones sur lesquelles les blaireaux ont été capturés a été assez lente.

Un abattage annuel ou bisannuel semble suffisant (procédure mise en place dans les mesures d'abattage actuelles et passées en Angleterre et en Irlande) pour aboutir à une diminution significative des populations de blaireaux.

L'abattage massif des blaireaux peut avoir des conséquences écologiques, sanitaires, et sociales. Il devrait donc être limité aux zones dans lesquelles la présence de *M. bovis* dans les populations de blaireaux constitue un risque sanitaire pour les troupeaux bovins, ou comme méthode de mesure ponctuelle de prévalence.

L'abattage ne se justifie pas comme mesure préventive dans les populations de blaireaux encore indemnes de tuberculose.

La vaccination des blaireaux par le BCG permet de ralentir le développement des lésions tuberculeuses et l'excrétion de *M. bovis* par les animaux infectés, et limiterait donc la diffusion de *M. bovis* entre groupes et à l'intérieur des groupes, ainsi que les risques de contamination des bovins.

La mise en place d'une zone de vaccination en périphérie des zones d'abattage permettrait de pallier les risques de diffusion de l'infection liés à l'effet de perturbation et de limiter la diffusion de la tuberculose dans les groupes de blaireaux non concernés par l'abattage.

Pour ce faire, la vaccination devrait être mise en place sur une zone tampon d'au moins 5 km autour des zones d'abattage.

La réalisation pratique de la vaccination par voie injectable (seule utilisable à ce jour) nécessite des efforts identiques à ceux mis en œuvre pour l'abattage avec usage de collets, avec l'objectif de capturer et vacciner tous les membres d'un même groupe social.

La vaccination avec le vaccin actuellement disponible (BCG souche danoise par injection intramusculaire) semble donc adaptée en Grande-Bretagne à l'objectif de contrôle de la tuberculose pour les groupes de blaireaux encore sains mais exposés (à proximité de groupes de blaireaux infectés ou de fermes avec des cas de tuberculose).

Bilan des expériences de lutte britanniques

Différents protocoles de lutte prévoyant des abattages de blaireaux ont été testés et appliqués dans les îles britanniques. Les résultats de l'abattage « réactif » dans des zones restreintes d'infection bovine ont été très controversés car responsables de perturbation sociale des groupes familiaux pouvant entraîner une diffusion de la maladie. Toutefois, après plusieurs années de recul et un constat d'échec des mesures prises jusqu'alors, les autorités sanitaires britanniques envisagent de fonder maintenant leur stratégie sur un protocole d'abattage « proactif » intense (objectif d'élimination de 70% des animaux), large (sur des superficies minimales de 150 km² et sur au moins 70% de la zone concernée, en s'appuyant autant que possible sur des barrières géographiques limitant les effets de perturbation des groupes), et durable (pratiqué au moins une fois par an pendant 4 ans). Cet abattage permettant de réduire les densités de populations serait associé à des campagnes de vaccination par voie intramusculaire (dans l'attente de l'agrément d'un vaccin oral) qui sont conseillées à la périphérie des zones d'abattages afin de prévenir une éventuelle extension centrifuge de la maladie.

3.3. Réponse à la question n° 3

3.3.1. Situation actuelle en France

La situation française est très différente de la situation britannique tant en termes de densité de blaireaux qui, comme indiqué *supra*, peut être estimée quatre à cinq fois inférieure aux densités britanniques, qu'en termes d'infection (les taux d'infection chez les blaireaux enregistrés dans les îles britanniques atteignent 15 à 30 % alors qu'ils ont été de 6% en 2009 et en 2010 dans la zone d'infection bovine de Côte-d'Or et inférieurs à 8% en Dordogne d'après les résultats provisoires de 2010). Par ailleurs, il est important de rappeler qu'aucun blaireau infecté par *M. bovis* n'a été identifié en France hors des zones d'infection de troupeaux bovins.

Tous ces éléments sont en faveur d'une infection récente de l'espèce blaireau en France, acquise à partir du réservoir domestique bovin, et il est probable que la situation française actuelle s'apparente plutôt à la situation britannique du début des années 1970 qu'à celle d'aujourd'hui.

3.3.2. Objectifs de la lutte

Dans ces conditions, les objectifs de la lutte contre la tuberculose à *M. bovis* dans la faune sauvage en France, en particulier concernant les blaireaux seraient :

- d'éviter la diffusion et l'intensification de la contamination de cette espèce en France afin de limiter le risque qu'elle devienne un réservoir primaire à l'instar de ce qui a été observé dans les îles britanniques ;
- d'éviter la contamination des troupeaux bovins à partir de blaireaux infectés. Ainsi, la persistance locale de *M. bovis* chez les blaireaux dans des zones rurales où l'objectif de la lutte contre la tuberculose bovine est l'éradication, est à éviter absolument.

3.3.3. Rappel des mesures mises en place actuellement

En France, sont actuellement mises en œuvre des mesures de surveillance et des mesures de régulation des densités (abattage) de blaireaux dans certaines zones.

3.3.3.1. Mesures de surveillance

Elles ont tout d'abord été mises en place en Côte-d'Or et Dordogne, départements considérés « à haut risque »⁵ de contamination de la faune sauvage du fait du développement d'une épizootie bovine. En Côte-d'Or, la surveillance a été menée en 2009 sur 274 blaireaux capturés en zone infectée bovine et en 2010 sur 300 blaireaux capturés en zone infectée ainsi que sur 253 blaireaux capturés dans le reste du département en zone indemne de tuberculose bovine (tous négatifs). Pour 2011, le schéma de 2010 sera reconduit (300 blaireaux testés respectivement en zones infectée et indemne). En Dordogne, où la tuberculose a été détectée pour la première fois chez le blaireau au printemps 2010, conformément au protocole de Côte-d'Or, il a été prévu de réaliser un échantillonnage de 250 blaireaux en zone infectée et le même nombre en zone indemne. En résumé, dans les départements « à haut risque », la surveillance est effectuée sur un échantillon équivalent de blaireaux en zone infectée et en zone indemne, et est capable de détecter une prévalence d'environ 1%.

Dans un certain nombre de départements « à risque »⁶ où la tuberculose a été identifiée sur des espèces sauvages ou sur des bovins (Charente, Yonne, Corrèze, Ariège), un échantillon

⁵ On peut définir les départements « à haut risque » comme ceux dans lesquels on assiste à une forte recrudescence ou une persistance de la tuberculose à *M. bovis* (Côte-d'Or, Dordogne et, en fonction de l'évolution à court terme, Pyrénées-Atlantiques, Landes et départements camarguais) et dans lesquels l'infection dans la faune sauvage a été formellement identifiée (forêt de Brotonne dans l'Eure).

⁶ On peut définir les départements « à risque » comme ceux dans lesquels on observe de manière régulière, depuis plusieurs années des cas sporadiques de tuberculose à *M. bovis* et les départements limitrophes de départements ou de zones départementales à haut risque.

limité de blaireaux (20 à 100 individus) prélevés à proximité de cheptels bovins infectés a pour l'instant été testé pour vérifier une éventuelle contamination de l'espèce. La taille de cet échantillon, non standardisé car aucun protocole national n'a encore été établi, dépendait de facteurs techniques, humains et économiques et du nombre de foyers bovins présents dans la zone d'étude.

Dans tous les départements, il est préconisé, en zone infectée, de tester en priorité des blaireaux capturés dans un rayon de 1 km autour des cheptels bovins infectés.

3.3.3.2. Mesures de régulation des densités de population de blaireaux

Ces mesures se limitent aujourd'hui aux départements de la Côte-d'Or et de la Dordogne, considérés à haut risque.

En Côte-d'Or, il a été préconisé dès 2009 d'éradiquer les familles de blaireaux recensées dans un rayon d'un kilomètre autour des sources d'infection récentes afin de tenter d'« étouffer » au plus vite ou de prévenir le développement de la maladie dans cette espèce. Cette mesure, qui ne concerne donc que la zone infectée bovine, a été reconduite en 2010.

En Dordogne, le même type de préconisation a été fait et il a été retenu d'éliminer le plus complètement possible les familles vivant dans un périmètre d'un kilomètre autour des foyers bovins répertoriés depuis cinq ans (soit depuis 2005), sans négliger toutes les pâtures utilisées par les bovins des exploitations infectées.

Dans les deux départements, l'élimination des blaireaux peut se faire par tous moyens (collet à arrêtoir, déterrage, cage-piège, tir de nuit).

Le bilan des opérations conduites en 2010 est en cours, mais il est probable que la pression de régulation et de surveillance ne soit pas homogène, ceci étant lié à des facteurs techniques et humains.

3.3.4. Propositions de mesures de surveillance et de lutte

Les propositions de mesures de lutte sont à distinguer en fonction des secteurs (un secteur étant défini comme entité géographique de relativement grande taille [plusieurs centaines de km carrés] ayant un statut épidémiologique et un écosystème naturel définis) :

3.3.4.1. Dans les secteurs où aucun signe d'alerte de tuberculose domestique ou sauvage n'a pour l'instant été détecté, une surveillance de la faune sauvage, impliquant éventuellement le blaireau, pourrait être entreprise dans le cadre du programme national de surveillance de la tuberculose de la faune sauvage qui est à l'étude à la DGAI. Cette surveillance aurait pour objectif de détecter d'éventuelles zones de foyers bovins insoupçonnés jusqu'alors pour lesquels la faune sauvage pourrait jouer un rôle de sentinelle.

3.3.4.2. Les secteurs où quelques cas sporadiques de cheptels bovins infectés sont détectés ou les secteurs limitrophes de départements à haut risque, qui seront considérés comme des secteurs à risque sans pour autant que des blaireaux aient été reconnus infectés par M. bovis : une surveillance épidémiologique impliquant le blaireau devrait être entreprise selon un protocole qui sera défini dans le cadre du programme national cité plus haut, mais qui devrait prévoir au moins la capture de la ou des familles de blaireaux vivant à proximité de chaque foyer bovin (rayon de 1 km), en vue du dépistage de l'infection à M. bovis.

3.3.4.3. Dans les secteurs où des foyers de tuberculose sont identifiés régulièrement chez les bovins (situation enzootique) et où des blaireaux ont déjà été reconnus infectés par M. bovis (dès le premier blaireau trouvé infecté dans ce secteur), plusieurs zones devraient être créées :

- Une zone d'abattage intensif ou zone de régulation
 - ✓ Un abattage intensif (à visée d'éradication de tous les blaireaux) devrait être entrepris dans un rayon de 1 km autour des foyers bovins identifiés de tuberculose comme cela a été le cas en Irlande. La taille de ce rayon

correspond globalement à l'activité moyenne de l'espèce, mais elle pourrait être ajustée selon le contexte local jusqu'à 2 km.

- ✓ Si plusieurs foyers bovins de tuberculose sont situés à moins de 7 km les uns des autres (égal à 1 km autour de chaque foyer plus 5 km de zone tampon, *cf. infra*), une seule zone englobant tous les foyers pourrait être délimitée. Dans la mesure du possible, cette zone devrait s'appuyer sur des « frontières » naturelles (rivières, grandes routes, *etc.*) afin de limiter, autant que faire se peut, les évasions de blaireaux hors de cette zone. Dans cette zone infectée élargie, l'abattage d'autant plus intensif que les terriers se trouvent proches des exploitations bovines devrait être entrepris. Si les études en cours mettaient en évidence la persistance de *M. bovis* dans les terriers, la destruction ou l'assainissement de ces terriers pourrait être envisagée.
 - ✓ Cette pression d'abattage intensif devrait être maintenue annuellement pendant 4 ans de manière à éliminer le plus complètement les familles de blaireaux infectées et à éviter toute recontamination par des animaux ayant recolonisé les terriers infectés dans lesquels il est très probable que les mycobactéries persistent longtemps.
 - ✓ L'abattage des blaireaux dans les zones d'abattage intensif devrait être réalisé préférentiellement en fin d'hiver, avant la période des naissances.
 - ✓ La surveillance de l'infection des blaireaux devra être poursuivie dans cette zone. Pour optimiser cette surveillance il serait souhaitable d'effectuer des recherches de mycobactéries par de nouvelles méthodes de cultures permettant d'augmenter la capacité analytique des laboratoires, sur un échantillon représentatif de blaireaux tués dans cette zone. Dans tous les cas, l'analyse de plus d'un blaireau par terrier (donc par groupe) n'est pas souhaitable et il conviendrait de cibler pour les analyses les animaux adultes car ils présentent le plus de risque d'avoir été infectés.
- *Une zone tampon*
 - ✓ Une zone "tampon" de 5 km de rayon devrait être créée autour de la zone d'abattage intensif. Dans cette zone, il est indispensable de s'assurer que les perturbations provoquées par l'élimination des blaireaux dans la zone d'abattage intensif ne conduisent pas à des mouvements d'animaux vers l'extérieur. En effet, ces mouvements seraient de nature à étendre l'infection dans des zones encore saines comme ce fut observé en Grande Bretagne, où il faut cependant rappeler que la prévalence de l'infection et la densité des blaireaux sont très supérieures à celles observées en France.
 - ✓ Dans cette zone tampon, il ne sera pas pratiqué d'abattage intensif de blaireaux afin de ne pas étendre les perturbations occasionnées par l'abattage en zone infectée et afin de ne pas créer une zone de vide favorisant l'installation de blaireaux « évadés » de la zone infectée. Par contre, une surveillance de l'absence d'infection des blaireaux de cette zone tampon devrait être mise en place sur un échantillonnage représentatif mais se limitant à la capture et aux analyses d'au maximum un animal adulte par groupe (si possible des adultes).
 - ✓ Dans des zones particulières à plus forte densité de blaireaux, à prévalence élevée d'infection dans les élevages bovins et à fortes interactions reconnues ou soupçonnées entre espèces domestiques et sauvages, comme la Côte-d'Or, un programme expérimental de vaccination des blaireaux par le BCG injectable tel que celui mis en œuvre en Grande-Bretagne devrait être entrepris dans et immédiatement autour de la zone tampon, si la surveillance révélait dans cette zone une diffusion de l'infection à *M. bovis* par les blaireaux. Il s'agirait donc de créer un anneau d'immunité vaccinale autour de la zone d'abattage intensif.

Compte tenu des difficultés matérielles et administratives d'une telle campagne, il conviendrait de s'y préparer dès à présent en cas de nécessité après la prochaine campagne de surveillance.

D'une manière générale, lors des opérations de régulation et de surveillance des blaireaux, il conviendrait d'enregistrer systématiquement les opérations de prélèvements réalisées (nombre d'individus, date, lieu précis, etc.), de manière à produire régulièrement des rapports complets et précis. En effet, pour exploiter au mieux les données de piégeage sur le plan épidémiologique, il est nécessaire de connaître la localisation précise des animaux prélevés jusqu'au niveau du terrier (appartenance ou non au même groupe) afin de déterminer le niveau d'extension de l'infection (intra-groupe ou intergroupe) et d'apporter des informations sur les écosystèmes et la proximité avec les autres hôtes potentiels (bovins, sangliers, cerfs).

Enfin, et bien que le vaccin BCG n'ait pas l'efficacité d'autres vaccins utilisés antérieurement contre d'autres agents pathogènes dans la faune sauvage (vaccin contre la rage des renards notamment), il est possible que cet outil, en complément de l'abattage des blaireaux, devienne nécessaire afin d'éradiquer *M. bovis* dans les populations de blaireaux français. Il convient donc, dès maintenant d'entreprendre les démarches nécessaires à l'importation de ce vaccin, et de se préparer à son utilisation en initiant des collaborations immédiates sur des travaux expérimentaux avec les équipes britanniques en pointe sur ce sujet.

1. Contexte – situation épidémiologique

1.1. Situation épidémiologique de la tuberculose à *M. bovis* des animaux sauvages dans le monde (hors GB et Irlande)

Les données bibliographiques relatives à la tuberculose dans la faune sauvage dans le monde mettent en lumière les éléments suivants :

- la tuberculose de la faune sauvage a toujours eu au départ une origine bovine ;
- la tuberculose à *M. bovis* peut mettre du temps à se développer dans la faune sauvage mais une fois qu'elle est installée, elle est très difficile, voire impossible à éradiquer ;
- les situations épidémiologiques sont très différentes suivant les pays ou les régions d'un même pays, y compris quand les mêmes espèces sont impliquées, car elles dépendent de multiples facteurs populationnels, environnementaux et propres aux espèces suivant leur comportement et leur écologie (régime alimentaire, etc.) ;
- les ongulés sauvages sont plus susceptibles d'être des réservoirs primaires de tuberculose, et les omnivores et carnivores des réservoirs secondaires ou des culs-de-sac épidémiologiques (hormis le blaireau dans les îles britanniques) ;
- bien qu'il n'existe que très peu de chiffres objectifs reflétant les densités d'espèces sauvages dans la bibliographie (des niveaux de densités « critiques » chez le cerf et le sanglier n'ont été évoqués qu'en Espagne, en Australie et aux Etats-Unis), il est démontré que les fortes densités et les concentrations artificielles (par agrainage, affouragement ou abreuvement) d'animaux sauvages augmentent les risques d'émergence puis de persistance de la tuberculose au sein des populations.

Les mesures de lutte mises en œuvre dans les pays où des espèces sauvages ont été trouvées infectées de *M. bovis* nécessitent la rupture de la chaîne de transmission de l'infection par :

- la suppression ou la réduction de l'alimentation artificielle des animaux sauvages ;
- la réduction des densités des espèces sauvages concernées qui peut aller jusqu'à l'élimination totale de la population-réservoir locale lorsque cela a été possible ;
- l'isolement des populations infectées par des clôtures quand cela est possible ;
- l'utilisation de la vaccination BCG par voie intramusculaire (dans l'attente de la disponibilité de vaccins administrables par voie orale) dans les pays où la tuberculose de la faune sauvage est devenue enzootique et semble incontrôlable par d'autres méthodes.

1.2. La tuberculose à *M. bovis* en France

1.2.1. Situation épidémiologique en élevage

La lente et régulière décroissance amorcée depuis le début de la lutte contre la tuberculose bovine, entreprise dans les années 1950, s'est arrêtée à partir de 2004, et le nombre de foyers a même entamé une recrudescence, qui suscite une certaine inquiétude car, si cette augmentation devait persister, la France perdrait alors son statut officiellement indemne. Cette augmentation est directement liée à la situation particulière d'un nombre limité de zones (Dordogne, Côte-d'Or, Pyrénées-Atlantiques, Camargue), qui cumulent la majorité des foyers observés en France chaque année.

Dans au moins deux départements (Côte-d'Or et Dordogne), les foyers sont circonscrits à des zones géographiques bien délimitées et partagent un seul et même spoligotype (profil

caractéristique de la souche de *M. bovis*), propre à cette zone, soulignant ainsi l'existence d'un facteur local assurant l'entretien et la propagation de l'infection, entre élevages : les relations étroites de voisinage (nombre et proximité des pâtures) en constituent certainement l'explication majeure. Toutefois, la mise en évidence récente d'animaux sauvages infectés à proximité de certains foyers ne permet pas d'exclure le rôle potentiel de la faune sauvage dans la transmission de l'infection.

1.2.2. Densités d'animaux sauvages en France

D'une manière générale, les densités des espèces sauvages qui ont été trouvées infectées par *M. bovis* en France ont très significativement augmenté depuis une vingtaine d'années.

- Sangliers

En vingt ans, les tableaux de chasse du sanglier ont été multipliés par six, ce qui traduit une très forte augmentation des effectifs de sangliers. La gestion cynégétique de l'espèce fait l'objet d'une réflexion nationale.

- Cerfs

Depuis 1985, la progression du cerf élaphe en France a été spectaculaire, tant du point de vue de la superficie occupée que des effectifs présents, en particulier dans le sud de la France, et surtout en altitude. Cependant, l'évolution générale cache une forte hétérogénéité : les densités estimées varient de moins d'un cerf/ km² (16% des départements en 2005) à plus de quatre cerfs/ km² (18% des départements en 2005).

- Blaireaux

Les données disponibles ne permettent pas de mesurer précisément les tendances d'évolution de la population de blaireaux en France. Il est probable que les populations de blaireaux en France se soient reconstituées au cours des deux dernières décennies dans le grand quart nord-est du pays, et que les densités observées actuellement soient en augmentation, sans cependant atteindre les niveaux de densité mesurés en Grande-Bretagne et en Irlande, nettement plus élevés (rapport de 1 à 5, voire de 1 à 10 entre les densités relevées en France et en Grande-Bretagne ou Irlande).

- Chevreaux

En vingt ans, les tableaux de chasse du chevreuil ont été multipliés par 4,6, ce qui traduit une forte augmentation des effectifs. Les populations de chevreuil semblent connaître actuellement une phase de stabilisation. La mise en œuvre du plan de chasse explique ces évolutions.

- Renards

Les densités de populations de renards en France ont augmenté au cours des deux dernières décennies.

1.2.3. Situation épidémiologique de la tuberculose à *M. bovis* des animaux sauvages en France

En France, à ce jour, l'infection à *M. bovis* n'a été observée dans la faune sauvage que dans des secteurs où elle sévit dans des cheptels bovins, avec la réserve qu'elle a été recherchée de manière plus active dans ces secteurs. L'infection des populations d'animaux sauvages a donc très probablement pour origine une contamination bovine plus ou moins ancienne, comme cela a été observé ailleurs dans le monde.

Des situations épidémiologiques très différentes sont observées selon les régions. Ces situations sont liées à de multiples facteurs populationnels (espèces présentes au sein du système multi-hôtes dans lequel *M. bovis* circule, densités de populations, intensité des contacts entre espèces sauvages et domestiques, etc.) et environnementaux (paysages, climat, systèmes agro-pastoraux, etc.). A ce jour, il est difficile d'évaluer la capacité des

espèces sauvages concernées à devenir des réservoirs pérennes de tuberculose en France, en dehors de la forêt de Brotonne, en Normandie, qui correspond au seul site où, à ce jour, la présence d'un véritable réservoir sauvage de *M. bovis* a été démontrée en France (cerf élaphe).

Détectée pour partie grâce à l'amélioration des dispositifs d'épidémiosurveillance (réseau cynégétique de surveillance : SAGIR, examen initial des venaisons, plans de surveillance ciblée), l'infection semble mettre du temps à s'installer dans les populations d'animaux sauvages, et profiter de contextes locaux de fortes densités pour se développer.

La présence de sangliers infectés en Côte-d'Or, mais aussi dans les Pyrénées-Atlantiques et en Corse, confirme la capacité de cette espèce à constituer une sentinelle épidémiologique des infections bovines et de la contamination de l'environnement par *M. bovis*.

Les sangliers sont également susceptibles de devenir des réservoirs de tuberculose à partir d'un certain seuil de densité et dans certaines conditions de concentration d'animaux comme cela a été montré en Espagne. Cependant, en forêt de Brotonne, l'élimination du réservoir primaire (cerf élaphe) a permis de réduire considérablement l'infection des sangliers prouvant ainsi que, malgré un taux d'infection relativement élevé, cette espèce n'était pas encore devenue réservoir primaire dans ce massif forestier.

A ce jour, des blaireaux ont été trouvés infectés à proximité de foyers de tuberculose bovine en élevage dans plusieurs départements français ; bien que les premiers taux de prévalence relevés soient actuellement assez faibles (6 % en Côte-d'Or) et que l'on n'ait pas observé fréquemment de lésion organique évolutive, on ne peut exclure l'excrétion de *M. bovis* par ces animaux.

1.3. Situation épidémiologique de la tuberculose à *M. bovis* des animaux sauvages dans les îles britanniques

1.3.1. En Grande-Bretagne

La situation épidémiologique de la tuberculose bovine en élevage en Grande-Bretagne est hétérogène mais, dans le sud-ouest, la prévalence des cheptels infectés atteint 14%. Des études ont montré que des facteurs de risque importants (associés de cette situation) étaient liés à la gestion sanitaire des exploitations agricoles. Les bovins constituent donc bien, dans ce pays également, le premier réservoir de la tuberculose bovine, ce qui a conduit les autorités sanitaires à préconiser un meilleur contrôle des mouvements de bovins pour limiter les risques d'infection entre élevages.

Cependant, l'efficacité des mesures de diagnostic et d'éradication de la tuberculose bovine mises en place est limitée par la présence du réservoir sauvage identifié qu'est le blaireau, qui peut excréter *M. bovis* dans l'environnement pendant plusieurs années.

La prévalence de la tuberculose chez les blaireaux est élevée (17% environ en moyenne, mais les chiffres rapportés sont probablement souvent sous-estimés, la détection de l'infection étant limitée pour des raisons techniques) et hétérogènes (de 2 à 35%) dans les zones d'infection bovine. Des blaireaux trouvés infectés en dehors de ces zones confirment le rôle de réservoir joué par cette espèce dans ce pays. Il faut plutôt raisonner en termes de clans ou familles de blaireaux qu'en termes d'individus.

La densité des blaireaux en Grande-Bretagne est beaucoup plus élevée qu'en France en raison d'écosystèmes favorables et de la protection de l'espèce ; des densités maximales de 20 à 50 blaireaux au km² peuvent être observées dans certaines zones.

1.3.2. En Irlande

La situation épidémiologique de la tuberculose bovine dans les élevages irlandais n'est pas évaluée exactement de la même manière qu'en France (tous les foyers ne sont pas

systématiquement confirmés par mise en évidence de la mycobactérie) mais le taux de prévalence de la tuberculose est d'environ 5 à 6 % des troupeaux bovins.

La prévalence de la tuberculose chez les blaireaux, qui jouent également un rôle de réservoir de *M. bovis* dans ce pays, est de 20 à 26% dans les zones d'élevages infectés (sachant que des taux d'infection de 35 à 45% ont été relevés dans certaines enquêtes).

La densité moyenne des blaireaux en Irlande est d'environ trois animaux/ km² (Smal, 1995).

1.4. Méthodes de lutte contre la tuberculose à *M. bovis* chez le blaireau dans les îles britanniques

1.4.1. Réduction de densité de population des blaireaux

Depuis plusieurs années, les Britanniques et les Irlandais ont mis en place des essais contrôlés de réduction de population des blaireaux (RBCT en Grande-Bretagne et "Four Areas Study" en Irlande). Ces essais avaient pour objectif de comparer les résultats d'abattages intensifs sur de larges zones à ceux d'abattages plus ciblés autour des foyers bovins.

Le protocole d'abattage large, intensif ("proactif") et répété sur plusieurs années, des blaireaux a été efficace en Grande-Bretagne dans un contexte de fortes densités de blaireaux et de forte prévalence d'infection par *M. bovis* chez les blaireaux et chez les bovins.

Les résultats d'un abattage large et intensif ont également été publiés en Irlande, avec une baisse significative de l'incidence de la tuberculose bovine.

Ainsi, cette méthode d'abattage intensif a permis une diminution des risques d'infection des bovins dans les zones où les deux espèces cohabitent à de fortes densités. Pour cela, les surfaces concernées doivent être importantes (au moins 150 km²) et l'abattage répété sur plusieurs années pour diminuer de façon efficace la densité des blaireaux.

Cependant, à la frontière de ces larges zones, des phénomènes de perturbation (mouvements de blaireaux hors de la zone notamment) ont été observés, risquant d'étendre les zones d'infection. Pour minimiser ces effets de "perturbation", les zones d'abattage doivent être autant que possible limitées par des barrières géographiques naturelles, ou, si elles n'existent pas, par des zones "tampons" où l'abattage intensif n'est pas pratiqué, mais où la surveillance épidémiologique est effectuée mais.

Actuellement en Irlande, où la densité et les taux d'infection des blaireaux sont moins élevés qu'en Grande-Bretagne, un protocole d'abattage plus ciblé (autour des exploitations bovines infectées) est utilisé ; avec ce protocole, les effets de "perturbation" semblent réduits.

Cependant, le seul abattage des blaireaux, bien qu'appliqué depuis plus de 30 ans en Grande-Bretagne et en Irlande, n'a pas permis de maîtriser la tuberculose chez ce réservoir sauvage, et la vaccination des blaireaux (associée à une réduction des effectifs) est aujourd'hui considérée comme un nouvel outil nécessaire dans les deux pays pour permettre une élimination de la tuberculose chez les bovins en complément de l'abattage des blaireaux.

1.4.2. Essais de vaccination

L'efficacité du BCG a été testée en conditions expérimentales et sur le terrain avec des résultats encourageants chez le blaireau.

L'utilisation expérimentale du BCG sur trois années a suffi à réduire l'incidence de la tuberculose (mesurée par sérologie) dans des populations de blaireaux avec un haut niveau de prévalence, ainsi que probablement leur niveau d'excrétion de *M. bovis*. En effet, la vaccination par le BCG permet de limiter le développement des lésions (résultats d'études expérimentales).

Le BCG est actuellement commercialisé en Grande-Bretagne, et utilisé par la voie injectable depuis juillet 2010. Des essais de vaccination des blaireaux par cette voie ont donc été conduits depuis déjà trois ans en Angleterre et en Irlande.

Il pourrait être associé à l'abattage, en particulier pour éviter l'effet de "perturbation", dans les zones tampon autour des zones d'abattage, ce qui pourrait permettre un meilleur contrôle de la tuberculose dans la faune sauvage sur le long terme.

Un vaccin oral devrait être disponible en Grande-Bretagne en 2015.

2. Réponses aux questions de la saisine

2.1. Question n° 1

« Quelles seraient les densités optimales des principales espèces sauvages affectées (sangliers, chevreuil, cerfs, blaireaux) qui permettraient d'atténuer le risque de constitution de cycle épidémiologique de tuberculose bovine dans la faune sauvage sans compromettre l'équilibre démographique des populations ? »

Les observations faites en France sont totalement cohérentes avec les données acquises et les estimations de risque faites à l'étranger. Le maintien de densités de sangliers inférieures à 10 sangliers/ km² avant la saison de chasse devrait contribuer *a priori* à limiter le risque de constitution de cycles sauvages de tuberculose, mais ces préconisations sont à adapter, comme pour les autres espèces, aux contextes environnementaux, démographiques et épidémiologiques locaux.

Le cerf, espèce très sensible à l'infection à *M. bovis*, est capable de développer et de maintenir la tuberculose à des niveaux de densité de population inférieurs à ceux du sanglier. Les massifs hébergeant les densités les plus fortes (cinq à huit animaux/ km², voire seulement trois à cinq animaux/ km²) peuvent constituer des zones à risque, s'ils sont situés à proximité de zones d'infection bovine, mais chaque situation doit être étudiée localement, en fonction du contexte environnemental.

Il n'est pas possible aujourd'hui d'avancer un chiffre de densité à risque chez le blaireau et, dans l'attente d'études complémentaires, les situations devraient être gérées au cas par cas en appliquant, par précaution, une régulation des populations vivant à proximité de cheptels bovins infectés ou en cours d'assainissement afin de ne pas laisser s'installer un schéma incontrôlable comme celui observé dans les îles britanniques.

Les notions de densités ne sont pas abordées pour les espèces chevreuil et renard qui, pour l'instant, jouent un rôle marginal dans l'épidémiologie de la tuberculose.

2.2. Question n° 2

« Quelles mesures de maîtrise de facteurs de risque seraient les plus efficaces pour réduire les risques d'interactions infectantes entre bovins et faune sauvage (sangliers, cerfs, blaireaux) ? »

Afin de rompre le cycle épidémiologique de la tuberculose à *M. bovis* entre les populations sauvages et domestiques, les méthodes de lutte devraient comprendre plusieurs types de mesures :

- la poursuite de l'éradication et du contrôle de l'infection dans la population domestique ;
- la réduction de la transmission entre populations sauvages et domestiques en limitant leurs interactions. Ainsi, dans les fermes, il convient notamment de limiter l'accès des lieux de stockage et de distribution de l'aliment à la faune sauvage. Dans les pâtures et bien que ce soit beaucoup plus difficile à réaliser, il convient de limiter l'accès des blaireaux, sangliers et cervidés à toute source d'aliment ou d'abreuvement (éviter de

nourrir les bovins au sol, suspendre les blocs de sels minéraux), de surveiller toute trace d'activité des blaireaux (passage fréquent, latrines), sangliers et cervidés pour limiter l'usage de certaines pâtures, de retirer tout cadavre de blaireau, de bien séparer les pâtures de la forêt, de limiter au maximum le surpâturage et de mettre en place des clôtures empêchant le plus possible les contacts directs et indirects entre bovins et faune sauvage sensible. Ceci peut réduire également les risques de mouvements non prévus de bovins entre pâtures ;

- la maîtrise de l'infection dans les populations d'animaux sauvages en :
 - ✓ limitant les facteurs d'agrégation tels que l'agraineage à poste fixe des sangliers et l'affouragement des cervidés, qui devraient être proscrits ;
 - ✓ réduisant les densités d'espèces sauvages concernées pour diminuer les contacts intra et interspécifiques, jusqu'à des niveaux indiqués dans la réponse à la question n°1 ;
 - ✓ limitant le recyclage des matières virulentes, notamment par le ramassage systématique de tous les viscères d'animaux chassés.

L'éradication du réservoir sauvage primaire, quand il existe (comme le cerf en forêt de Brotonne par exemple), et quand cette éradication est possible, constitue également une méthode de choix.

Une réflexion adaptée sur la gestion cynégétique des ongulés s'impose.

Enfin, la mise en œuvre d'une vaccination dans des zones et avec un protocole adaptés, peut venir compléter et améliorer l'efficacité des mesures précédemment citées.

2.3. Question n° 3

« *Si des opérations de piégeage ou de destruction des terriers de blaireaux sont retenues en réponse à la question précédente, quelles seraient les conditions en terme de couverture géographique et d'intensité de piégeage pour que ces actions soient efficaces ?* »

Plusieurs types de secteurs géographiques, conduisant à la mise en œuvre de mesures différentes, méritent d'être distingués :

- Les secteurs où l'infection par *M. bovis* dans la population sauvage ou domestique ne semble pas présente, et où certaines mesures de surveillance de la faune sauvage pourraient être cependant mises en place ;
- Les secteurs où quelques cas sporadiques de cheptels bovins infectés ont été détectés (ou secteurs limitrophes de départements à haut risque) **sans** que des blaireaux aient été reconnus infectés par *M. bovis*. Dans ces secteurs une surveillance épidémiologique régulière des blaireaux devrait être entreprise ;
- Les secteurs où des foyers de tuberculose bovine sont identifiés régulièrement chez les bovins (situation enzootique) **et** où des blaireaux ont déjà été reconnus infectés par *M. bovis*. Dans ces secteurs, plusieurs zones avec des mesures différenciées devraient être créées :
 - ✓ une zone d'abattage intensif (zone de régulation) et durable (au moins quatre années de suite) de tous les blaireaux dans un rayon d'un kilomètre autour des foyers bovins identifiés. Cette zone pourrait être étendue en cas de foyers coalescents (distance entre les foyers inférieure à sept kilomètres) et dans ce cas, les limites de cette zone étendue devraient, autant que faire se peut, s'appuyer sur des barrières naturelles. La surveillance de l'infection des blaireaux devrait être poursuivie dans cette zone étendue, sur un échantillon représentatif de blaireaux tués en ciblant les analyses sur les animaux adultes ;

- ✓ une zone "tampon" de 5 km de rayon devrait être créée autour de la zone d'abattage intensif. Dans cette zone, il est indispensable de s'assurer par une surveillance de l'absence d'infection des blaireaux (échantillonnage représentatif) que les perturbations provoquées par l'élimination des blaireaux dans la zone d'abattage intensif ne conduisent pas à des mouvements d'animaux vers l'extérieur provoquant, de ce fait, une extension des zones d'infection ;
- ✓ dans des zones particulières à plus forte densité de blaireaux, à prévalence élevée d'infection dans les élevages bovins et à fortes interactions reconnues ou soupçonnées entre espèces domestiques et sauvages, un programme de vaccination des blaireaux par le BCG injectable devrait être entrepris dans et immédiatement autour de la zone tampon, si la surveillance révélait dans cette zone une diffusion de l'infection à *M. bovis* par les blaireaux.

L'ensemble de ces opérations de surveillance et de régulation devraient être suivies de manière détaillée afin d'en tirer les meilleurs enseignements pour l'adaptation des stratégies ultérieures.

Enfin, il convient d'envisager dès aujourd'hui l'éventualité d'un recours à la vaccination des blaireaux (en complément des mesures d'abattage) en entreprenant les démarches indispensables à l'importation du vaccin BCG britannique et en initiant des travaux expérimentaux en collaboration avec les équipes britanniques en pointe sur ce sujet.

Conclusion

En France, la tuberculose bovine, maladie importante en santé animale et en santé publique, connaît, depuis quelques années et dans certaines zones, une recrudescence. Les foyers en élevage bovin apparaissent donc plus nombreux sans qu'il soit possible de toujours bien identifier la part prise par une réémergence vraie et celle liée à une meilleure détection de l'infection. Dans ces zones, l'infection par *M. bovis* de certaines espèces sauvages a également été mise en évidence au cours des dernières années.

Cette situation est très inquiétante si on se réfère à celle observée dans certains pays européens (îles britanniques) qui, bien qu'ayant été très proches de l'éradication, ont actuellement une situation épidémiologique (en élevage et dans la faune sauvage) très dégradée. Si, en France, une évolution semblable devait survenir, elle remettrait en question les efforts entrepris depuis plus de 50 ans pour lutter contre la tuberculose bovine.

Il est important de souligner qu'actuellement, en France, les bovins domestiques demeurent le réservoir primaire de l'infection à *M. bovis* (exception faite des cervidés en forêt de Brotonne). Par conséquent, l'éradication la plus rapide possible de l'infection en élevage reste le meilleur moyen de lutter contre cette maladie. Néanmoins, dans les zones où la faune sauvage a été trouvée infectée, le risque que les bovins contractent la tuberculose à partir de cette faune sauvage n'est pas nul. Ces risques, pour les bovins de contracter la tuberculose à *M. bovis* à partir de la faune sauvage sont actuellement, en France métropolitaine, liés à l'infection de trois espèces sauvages : le sanglier, le blaireau et le cerf. Ces animaux sauvages n'ont, pour l'instant, été trouvés infectés que dans des zones géographiques où des foyers de tuberculose bovine persistaient. Il est donc très probable, à l'instar de ce qui a pu être observé à l'étranger, que la faune sauvage en France se soit initialement contaminée auprès des bovins.

Les modalités, les circonstances et l'importance des contaminations entre animaux domestiques et sauvages sont complexes et dépendent de nombreux facteurs : l'importance de la prévalence de l'infection des différentes espèces, la densité des espèces sauvages, leur éco-éthologie, la structure paysagère locale, mais également la densité des espèces domestiques présentes sur les mêmes biotopes et les pratiques d'élevage. Ces éléments sont de nature à expliquer la diversité des situations épidémiologiques rencontrées en France actuellement.

Compte tenu des taux d'infection encore relativement peu élevés de la faune sauvage en France et du caractère localisé de ces infections, la priorité est d'éviter que l'infection ne se pérennise dans les populations de sangliers ou de blaireaux en conduisant à la création d'un réservoir primaire comme cela a pu être observé dans d'autres pays (par exemple, le blaireau en Grande-Bretagne et le sanglier en Espagne).

Dans ce but, il est important, en complément des mesures d'éradication de la tuberculose dans les cheptels bovins, de :

- réguler les densités de population des cerfs et des sangliers qui sont clairement en forte augmentation depuis quelques années, en supprimant l'agraineage à poste fixe, en respectant le plan national de maîtrise du sanglier et en adaptant les plans de chasse ;
- limiter les risques d'infection entre blaireaux et bovins en préconisant des mesures d'abattage ciblé des blaireaux (cf. réponse à la question 3), des modalités de surveillance permettant de mesurer l'efficacité de cet abattage, et en augmentant les mesures de biosécurité des élevages dans les zones d'infection ;
- prendre en compte le risque de diffusion de l'infection par les blaireaux hors des zones actuelles d'infection, en réalisant une surveillance de l'absence d'infection par

la mise en place de prélèvements sur un échantillonnage représentatif de blaireaux dans les zones périfocales aux abattages ;

- se préparer dès maintenant, à la possibilité d'engager une vaccination des blaireaux par le BCG en cas de diffusion de l'infection des blaireaux autour des zones d'abattage.

Enfin, il faut souligner que des travaux de recherche devraient être entrepris :

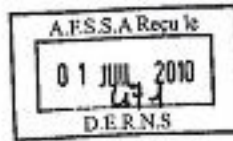
- pour améliorer la connaissance de l'infection à *M. bovis* dans la faune sauvage et les systèmes multi-hôtes constitués, afin de pouvoir mieux adapter les méthodes de lutte. Dans le cas des blaireaux, il conviendrait notamment de mieux connaître :
 - ✓ les densités de blaireaux existant en France dans les différents types de biotopes, notamment les caractéristiques (taille, nombre et stabilité) des groupes ;
 - ✓ les modalités de contacts intra et intergroupes de blaireaux ;
 - ✓ la persistance de *M. bovis* dans l'environnement, là où les blaireaux infectés sont susceptibles d'excréter, y compris dans les terriers ;
 - ✓ les modalités et la fréquence des contacts entre blaireaux et bovins ;
 - ✓ la virulence spécifique des souches isolées dans ce contexte ;
- pour se préparer dès aujourd'hui à la nécessité possible d'avoir recours à la vaccination de blaireaux, il conviendrait d'entreprendre des travaux de recherche en collaboration avec les équipes britanniques afin de se familiariser avec les techniques de vaccination et de participer à l'évaluation de l'efficacité de cet outil complémentaire à la régulation de l'espèce.

Maisons-Alfort, le 8 avril 2011

Le directeur général

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Mortureux', written over a horizontal line.

Marc MORTUREUX



2010-SA-0154

MINISTÈRE DE L'ALIMENTATION, DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

Direction générale de l'alimentation
Service de la prévention des risques sanitaires de la
production primaire
Sous-direction de la santé et de la protection
animales
Bureau de la santé animale
Adresse : 251, rue de Vaugirard
75732 Paris cedex
Dossier suivi par : A. Fediaevsky
Tél. : 01.49.55.84.57 / Fax : 01.49.55.43.98
Réf. Interne : 1008031

2010-SA-0154

COURRIER ARRIVÉ
29 JUIN 2010
DIRECTION GÉNÉRALE
10-632

Monsieur le Directeur général de l'Agence française
de sécurité sanitaire des aliments
27-31 avenue du Général Leclerc
BP 1894701 Maisons-Alfort Cedex

Paris, le **28 JUIN 2010**

Objet : Saisine sur la maîtrise du risque de tuberculose bovine dans la faune sauvage

Monsieur le Directeur général,

Avec l'intensification de la surveillance de la tuberculose bovine (TB) dans la faune sauvage, des cas ont été détectés chez diverses espèces animales à proximité de foyers bovins, et plus particulièrement des cervidés, des sangliers et des blaireaux. Un renforcement au plan national de la surveillance de la tuberculose chez les sangliers abattus dans le cadre de la chasse est en cours de réflexion.

Des éleveurs auraient observé à plusieurs occasions des blaireaux ou des sangliers en promiscuité avec les animaux ou les installations d'élevages infectés. Certains de ces animaux ont été piégés et ont présenté des résultats d'analyse positifs en PCR vis à vis de *Mycobacterium bovis*. De plus, les campagnes de piégeage et de prélèvements des blaireaux en périphérie des foyers de TB pratiqués en Côte d'Or ont mis en évidence un pourcentage non négligeable d'animaux infectés, de l'ordre de 5%. Ces informations sont préoccupantes compte tenu du rôle avéré du blaireau comme réservoir de TB dans certaines conditions, notamment en Grande Bretagne.

Par ailleurs, dans son avis du 11 mai 2010 relatif à une réévaluation des mesures vis-à-vis de la TB de la faune sauvage dans le massif de Brotonne-Mauny et dans le rapport de convention de l'ONCFS sur la surveillance de la TB dans la faune sauvage, il est fait référence aux rôles épidémiologiques que la faune sauvage peut jouer dans la révélation, l'entretien ou la diffusion de la TB. Ces rôles dépendent d'interactions complexes qui varient notamment avec l'écosystème et les densités spécifiques des différentes faunes.

Conformément aux dispositions de l'article L.261-2 du code rural, j'ai l'honneur de solliciter l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) sur les risques épidémiologiques pour les bovins représentés par la tuberculose bovine dans la faune sauvage au niveau national et les options de contrôle envisageables, compte tenu des données de surveillance/piégeage disponibles et de la bibliographie existante.

Les pistes actuellement envisagées par la DGAI sont :

- i) la réduction de la densité de faune sauvage afin d'atténuer le risque de constitution de réservoirs sauvages dans les zones à risque,
- ii) l'incitation à l'adoption de mesures de biosécurité visant à prévenir les contacts entre faune sauvage et faune domestique (interdiction des postes d'agrainage à proximité des exploitations, clôtures enfoncées, protection des silos) et
- iii) le piégeage de blaireaux à proximité des foyers sous réserve que celui-ci n'augmente pas le risque de dissémination de la maladie.

Il est demandé à l'AFSSA d'expertiser la pertinence de ces pistes au regard de la situation française, de les compléter le cas échéant par d'autres propositions, et dans la mesure où les pistes proposées semblent pertinentes, de répondre aux questions spécifiques suivantes :

1. Quelles seraient les densités optimales des principales espèces sauvages affectées (sangliers, chevreuil, cerfs, blaireaux) qui permettraient d'atténuer le risque de constitution de cycle épidémiologique de TB dans la faune sauvage sans compromettre l'équilibre démographique des populations ? La réponse à cette question pourra être déclinée suivant une typologie simplifiée des écosystèmes agropastoraux français connaissant des risques avérés de tuberculose.
2. Quelles mesures de maîtrise de facteurs de risque seraient les plus efficaces pour réduire les risques d'interactions infectantes entre bovins et faune sauvage (sangliers, cervidés, blaireaux) ?
3. Si des opérations de piégeage ou de destruction des terriers de blaireaux sont retenues en réponse à la question précédente, quelles seraient les conditions en terme de couverture géographique et d'intensité de piégeage pour que ces actions soient efficaces ? La réponse à cette question pourra notamment intégrer le retour d'expérience des britanniques, ayant conduit à la conclusion que l'élimination des animaux infectés ne permettrait pas le contrôle de la maladie et qu'elle pouvait favoriser la diffusion de la maladie (*Final Report of the Independent Scientific Group on Cattle TB*).

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur Général, l'expression de ma considération distinguée.

La Directrice Générale de l'Alimentation


Pascale BRIANT

Annexe 2 : Décision de création du groupe de travail « Tuberculose bovine et faune sauvage »



Décision n° 2010-09-057 du 09 septembre 2010 portant création du groupe de travail « Tuberculose bovine dans la faune sauvage »

Le directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail,

Vu le Code de la santé publique, et notamment ses articles L. 1313-1, L.1313-6 et R.1313-26 ;

Vu l'article 4, II, du décret du 28 juin 2010 relatif à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail ;

Vu l'arrêté du 13 juillet 2008 modifié relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail ;

Vu l'arrêté du 17 octobre 2005 modifié relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu les décisions du 20 février 2008, du 27 janvier 2009, du 29 juin 2009, du 18 mars 2010, du 18 juin 2010 et les deux décisions du 29 juin 2010 portant nomination aux comités d'experts spécialisés de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail ;

Vu la décision du 21 juillet 2008 modifiée portant nomination aux comités d'experts spécialisés de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu le règlement intérieur de l'Agence,

Décide :

Article 1^{er}.- Il est créé, sur proposition du Comité d'experts spécialisé « Santé animale » lors de la réunion du 7 juillet 2010, un groupe de travail dénommé « Tuberculose bovine dans la faune sauvage », chargé de donner un avis sur les risques épidémiologiques pour les bovins représentés par la tuberculose bovine dans la faune sauvage au niveau national et sur les options de contrôle envisageables, compte tenu des données de surveillance/piégeage disponibles et de la bibliographie existante (saisine n° 2010-SA-0154).

Article 2.- Le groupe de travail « Tuberculose bovine dans la faune sauvage » est composé des membres suivants :

- Membres du Comité d'experts spécialisé « Santé animale »

- Mme Barbara DUFOUR, ENVA (épidémiologie, maladies contagieuses, réglementation) ;
- M. Jean-Pierre GANIERE, ONIRIS-NANTES (maladies contagieuses, infectiologie, législation vétérinaire) ;
- M. Bruno GARIN-BASTUJI, Laboratoire Anses de Santé animale de Maisons-Alfort (LNR tuberculose, bactériologie, diagnostic, vaccinothérapie, zoonoses, prophylaxie, réglementation) ;
- M. Jean HARS, ONCFS (faune sauvage, infectiologie, réglementation) ;
- M. Yves MILLEMANN, ENVA (pathologie bovine, microbiologie, épidémiologie) ;
- M. François MOUTOU, Laboratoire Anses de Santé animale de Maisons-Alfort (épidémiologie, zoonoses, faune sauvage) ;

• Personnalités scientifiques :

- M. Jean-Jacques BENET, ENVA (épidémiologie, maladies contagieuses, tuberculose, réglementation) ;
- Mme Sandrine LESELLIER, Veterinary Laboratories Agency (VLA) (tuberculose, faune sauvage) ;
- Mme Ariane PAYNE, ONCFS (tuberculose, faune sauvage) ;
- Mme Céline RICHOMME, Laboratoire Anses de la faune sauvage de Nancy (faune sauvage, infectiologie) ;
- Mme Sandrine RUETTE, ONCFS (faune sauvage, infectiologie).

Article 3.- Mme Barbara DUFOUR est nommée présidente du groupe de travail « Tuberculose bovine dans la faune sauvage ».

Article 4.- Les conclusions des travaux du groupe de travail « Tuberculose bovine dans la faune sauvage » seront présentées d'ici avril 2011 au Comité d'experts spécialisé « Santé animale » chargé de les adopter.

Article 5.- La coordination scientifique du groupe de travail « Tuberculose bovine dans la faune sauvage » est assurée par l'Unité d'évaluation des risques liés à l'alimentation et à la santé animales de la Direction Santé Alimentation.

Article 6.- Le mandat du groupe de travail « Tuberculose bovine dans la faune sauvage » ne peut excéder la durée du mandat des comités d'experts spécialisés en cours.

Article 7.- La directrice de la Direction Santé Alimentation est responsable de l'application de la présente décision qui sera publiée au Bulletin officiel de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Fait à Maisons-Alfort, le 10 SEP. 2010



Marc MORTUREUX

Bibliographie

- Acevedo P, Vicente J, Gortazar C, Höfle U, Fernandez-de-Mera IG, Amos W (2005) Genetic resistance to bovine tuberculosis in the Iberian wild boar. *Mol Ecol* 14, 1-9.
- Afssa (2009) Avis du 3 mars 2009 sur l'évaluation du risque relatif à la tuberculose de la faune sauvage dans la forêt de Brotonne.
- Aldwell FE, Cross ML, Fitzpatrick, CE, Lambeth MR, de Lisle GW, Buddle BM (2006) Oral delivery of lipid-encapsulated *Mycobacterium bovis* BCG extends survival of the bacillus *in vivo* and induces a long-term protective immune response against tuberculosis. *Vaccine* 24, 2071-2078.
- Arrêté ministériel du 14 août 1963 fixant les mesures techniques et administratives prises pour l'application du décret n°63-301 du 19 mars 1963 relatif à la prophylaxie de la tuberculose bovine. *J.O.R.F.* du 22 Août 1963, p. 7744.
- Arrêté ministériel du 15 juin 1978 concernant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie de la tuberculose bovine. *J.O.R.R.* 30 juin 1978, NC p. 5079.
- Arrêté ministériel du 16 mars 1990 fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective de la tuberculose bovine. *J.O.R.F.* 14 avril 1990, p. 4601.
- Arrêté ministériel du 4 mai 1999 modifiant l'arrêté du 16 mars 1990 fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective de la tuberculose bovine et le complétant en matière de tuberculose caprine. *J.O.R.F.* 2 juin 1999, p. 8131.
- Arrêté ministériel 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. *J.O.R.F.* 30 septembre 2003, p. 16680.
- Artois M (1989) Le renard roux (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758).- Encyclopédie des Carnivores de France, Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères, Nort sur Erdre, 89 p.
- Ballesteros C, Garrido JM, Vicente J, Romero B, Galindo RC, Minguion E, Villar M, Martin-Hernando MP, Sevilla I, Juste R, Aranaz A, de la Fuente J, Gortazar C (2009) First data on Eurasian wild boar response to oral immunization with BCG and challenge with a *Mycobacterium bovis* field strain. *Vaccine* 27, 6662-6668.
- Balseiro A, Oleaga A, Orusa R, Robetto S, Zoppi S, Dondo A, Gorla M, Gortazar C, Garcia-Marin JF, Domensis L (2009) Tuberculosis in roe deer from Spain and Italy. *Vet Rec* 164, 468-470.
- Balseiro A, Rodriguez O, Gonzalez-Quiros P *et al.* (2010) Preliminary results of the prevalence and distribution of mycobacterial infections in Eurasian badgers (*Meles meles*) in Spain. Poster présenté à la 9ème Conférence de l'European Wildlife Disease Association, Vlieland, Pays-Bas, 12-17 sept 2010.
- Barlow ND (1991) Control of endemic bovine TB in new Zeland possum population : results of a simple model. *J Appl Ecol* 28, 794-809.
- Barlow ND (2000) Non-linear transmission and simple models for bovine tuberculosis. *J Anim Ecol* 69, 703-713.
- Bertentsen A, Miller R, Dunbar M, Misiewicz R (2010) Farm yard and rural home visitation by white tailed deer (*Odocoileus virginianus*): implications for mitigation of disease transmission. Présentation orale, 9ème conférence de l'European Wildlife disease Association, Vlieland, Pays-Bas, 12-17 sept 2010.
- Bézannier F, Bataille M, Sidoisne C, Tardif A (2000) Essai de dénombrement de la population de blaireau européen (*Meles meles*) dans la réserve naturelle des Vallées de la Grande-Pierre et de Vitain (Loir-et-Cher, France). *Recherches Naturalistes en Région Centre* 2, 23-32.
- Bohm M, Hutchings MR, White PCL (2009) Contact networks in a wildlife-livestock host community: identifying high-risk individuals in the transmission of bovine TB among badgers and cattle. *Plos one* 4 (4) e5016.
- Bourne FJ, Cox DR, Donnelly CA, Gettinby G, McInerney JP, Morrison WI, Woodroffe R (2007) Bovine Tuberculosis: the scientific evidence. Final report of the independent scientific group (ISG) on cattle TB. DEFRA London.
- Braun C (2007) Estimation de la densité du blaireau d'Europe (*Meles meles*) dans le piémont Bas-Rhinois. *Ciconia* 31, 7-18.
- Buddle BM, Aldwell FE, Corner LAL (2009) Progress in the development of tuberculosis vaccines for wildlife. *CAB Reviews. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4, p10.
- Caley P, Hone J, Cowan PE (2001) The relationship between prevalence of *Mycobacterium bovis* infection in feral ferrets and possum abundance. *N Z Vet J* 49, 195-200.

- Carter SP, Delahay RJ, Smith GC, Macdonald DW, Riordan P, Etherington TR, Pimley ER, Walker NJ, Cheeseman CL (2007) Culling-induced social perturbation in Eurasian badgers *Meles meles* and the management of tuberculosis in cattle: an analysis of a critical problem in applied ecology. *Proc Biol Sci* 274, 2769-77.
- Castillo L, Fernandez-Llario P, Mateos C, Carranza J, Benitez-Medina JM, Garcia-Jimenez W, Bermejo-Martin F, Hermoso de Mendoza J (2011) Management practices and their association with *Mycobacterium tuberculosis* complex prevalence in red deer populations in Southwestern Spain. *Prev Vet Med* 98, 58-63.
- Chambers MA, Pressling WA, Cheeseman CL, Clifton-Hadley RS, Hewinson RG (2002) Value of existing serological tests for identifying badgers that shed *Mycobacterium bovis*. *Vet Microbiol* 86, 183-189.
- Chambers MA, Waterhouse S, Lyashchenko K, Delahay R, Sayers R, Hewinson RG (2009) Performance of TB immunodiagnostic tests in Eurasian badgers (*Meles meles*) of different ages and the influence of duration of infection on serological sensitivity. *BMC Vet Res* 5, 42.
- Chambers MA, Lyashchenko KP, Greenwald R, Esfandiari J, James E, Barker L, Jones J, Watkins G, Rolfe S (2010) Evaluation of a rapid serological test for the determination of *Mycobacterium bovis* infection in badgers (*Meles meles*) found dead. *Clin Vaccine Immunol* 17, 408-411.
- Cheeseman CL, Creswell WJ, Harris S, Mallison PJ (1988) Comparison of dispersal and other movements in two badger (*Meles meles*) populations. *Mamm Rev* 18, 61-72.
- Clifton-Hadley RS, Sayers AR, Stock MP (1995a) Evaluation of an ELISA for *Mycobacterium bovis* infection in badgers (*Meles meles*). *Vet Rec* 137, 555-558.
- Clifton-Hadley RS, Wilesmith JW, Richards MS, Upton P, Johnston S (1995b) The occurrence of *Mycobacterium bovis* infection in cattle in and around an area subject to extensive badger (*Meles meles*) control. *Epidemiol Infect* 114, 179-193.
- Clifton-Hadley RS, Sauter-Louis CM, Lugton IW, Jackson R, Durr PA, Wilesmith JW (2000) *Mycobacterium bovis* infections. *Infectious Diseases of Wild Mammals*, Ed 3, chap 21: mycobacterial diseases, 340-361.
- Collectif Gerfaut (2007) Faune Sauvage de France. Biologie, habitats et gestion. Ed. Gerfaut, 416 p.
- Conner MM, Ebinger MR, Blanchong JA, Cross PC (2008) Infectious disease in Cervids of North America. Data, models and management challenges. *Ann N Y Acad Sci* 1134, 146-172.
- Conseil Régional de la Chasse de Bourgogne (1996) Les populations du Blaireau d'Europe *Meles meles* en Bourgogne – Recueil des données 1996. Rapport interne, 27p.
- Corner LAL, Barrett RH, Lepper AWD, Lewis V, Pearson CW (1981) A survey of mycobacteriosis of feral pigs in the northern territory. *Aust Vet J* 57, 537-542.
- Corner LA, Trajstman AC, Lund K (1995) Determination of the optimum concentration of decontaminants for the primary isolation of *Mycobacterium bovis*. *N Z Vet J* 43, 129-133.
- Corner LA (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 LAL, Clegg TA, More SJ, Williams DH, O'Boyle I, Costello E, Sleeman DP, Griffin JM (2008a) The effect of varying levels of population control on the prevalence of tuberculosis in badgers in Ireland. *Res Vet Sci*, 85, 238-249.
- Corner LA, Costello E., Lesellier S, O'Meara D, Gormley E (2008b) Vaccination of European badgers (*Meles meles*) with BCG by the subcutaneous and mucosal routes induces protective immunity against endobronchial challenge with *Mycobacterium bovis*. *Tuberculosis (Edinb)* 88, 601-609.
- Corner LA, Costello E, Lesellier S, O'Meara D, Gormley E (2008c) Experimental tuberculosis in the European badger (*Meles meles*) after endobronchial inoculation with *Mycobacterium bovis*: II. Progression of infection. *Res Vet Sci* 85, 481-90.
- Corner LA, Costello E, O'Meara D, Lesellier S, Aldwell FE, Singh M, Hewinson RG, Chambers MA, Gormley E (2010) Oral vaccination of badgers (*Meles meles*) with BCG and protective immunity against endobronchial challenge with *Mycobacterium bovis*. *Vaccine* 28, 6265-6272.
- Corner LA, Murphy D, Gormley E (2011) Mycobacterial infection in the Eurasian badger (*Meles meles*): the disease, pathogenesis, epidemiology and control. *J Comp Path* 144,1-24.
- Crawshaw TR, Griffiths IB, Clifton-Hadley RS (2008) Comparison of a standard and a detailed *postmortem* protocol for detecting *Mycobacterium bovis* in badgers. *Vet Rec* 163, 473-477.
- Cresswell WJ, Harris S (1988) Foraging behaviour and home range utilization in a suburban badger (*Meles meles*) population. *Mamm Rev* 18, 37-49.

- Cresswell P, Harris S, Jefferies DJ (1990) The history, distribution, status and habitat requirements of the badger in Britain. Nature Conservancy Council, Peterborough.
- Dalley DJ, Hogarth PJ, Hughes S, Hewinson RG, Chambers MA (2004) Cloning and sequencing of badger (*Meles meles*) interferon gamma and its detection in badger lymphocytes. *Vet Immunol Immunopathol* 101, 19-30.
- Dalley D, Dave D, Lesellier S, Palmer S, Crawshaw T, Hewinson RG, Chambers M (2008) Development and evaluation of a gamma-interferon assay for tuberculosis in badgers (*Meles meles*). *Tuberculosis (Edinb)* 88, 235-243.
- Debuf JM (1987) Contribution à l'étude du renard urbain en région parisienne. Thèse Méd Vét, Créteil, 78 p.
- Décret ministériel n°63-301 du 19 mars 1963 relatif à la prophylaxie de la tuberculose bovine. J.O.R.F. du 24 mars 1963, p. 2858.
- Defra (2010) <http://Defraweb/foodfarm/farmanimal/diseases>
- Delahay RJ, Langton S, Smith GC, Clifton-Hadley RS, Cheeseman CL (2000) The spatio-temporal distribution of *Mycobacterium bovis* (bovine tuberculosis) infection in a high-density badger population. *J Anim Ecol* 69, 428-441.
- Delahay RJ, De Leeuw AN, Barlow AM, Clifton-Hadley RS, Cheeseman CL (2002) The status of *Mycobacterium bovis* infection in UK wild mammals: a review. *Vet J* 164, 90-105.
- Delahay RJ, Smith GC, Barlow AM, Walker N, Harris A, Clifton-Hadley RS, Cheeseman CL (2007) Bovine tuberculosis 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.
- De Lisle GW, Mackintosh CG, Bengis RG (2001) *Mycobacterium bovis* in free-living and captive wildlife, including farmed deer. *Rev Sci Tech OIE* 20, 86-111.
- Dini V, Ferroglio E, Serraino A, Mignone W, Sanguinetti V, Bollo E, Rossi L (2003) Epidemiologia delle micobatteriosi nel cinghiale in Liguria. In proceedings of Il Convegno Nazionale Ecopatologia della Fauna Selvatica Società italiana di Ecopatologia della fauna, 08-10 Oct 1998, Bormio, Italy, *J Mt Ecol* 7 (suppl), 145-153.
- Do Linh San E (2006) Le blaireau d'Eurasie. Ed Delachaux et Niestlé. Les sentiers du naturaliste. 222 p.
- Donnelly CA, Wei G, Johnston WT, Cox DR, Woodroffe R, Bourne FJ, Cheeseman CL, Clifton-Hadley RS, Gettinby G, Gilks P, Jenkins HE, Le Febvre AM, McInerney JP, Morrison WI (2007) Impacts of widespread badger culling on cattle tuberculosis: concluding analyses from a large-scale field trial. *Int J Inf Dis*, 11, 300-308.
- Dunnet GM, Jones DM, McInerney JP (1986) Badgers and bovine tuberculosis : review of policy. HMSO (Her Majesty's stationery office), London, 1986.
- EFSA (2010) The Community Summary Report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in the European Union in 2008. *EFSA journal* 8, 410p.
- Eves JA (1999) Impact of badger removal on bovine tuberculosis in East County Offaly. *Ir Vet J* 52, 199-203.
- FDC Jura (2003) Le Blaireau dans le Jura "Etat des lieux". Fédération Départementale des Chasseurs du Jura, 28 p.
- Ferreira SM, Funston PJ (2010) Estimating lion population variables: prey and disease effects in Kruger National Park, South Africa. *Wildl Res* 37, 194.
- Fitzgerald SD, Schmitt SM, O'Brien DJ, Kaneene JB (2004) The Michigan bovine tuberculosis problem. *Proc Deer Branch NZVA: World Deer Vet Congress*, 122- 125.
- Foyle KL, Delahay RJ, Massei G (2010) Isolation of *Mycobacterium bovis* from a feral wild boar (*Sus scrofa*) in the UK. *Vet Rec* 166, 663-664.
- Francis J (1958) *Tuberculosis in Animals and Mand*. Cassel & Co, London, 357 p.
- Gallagher J, Clifton-Hadley RS (2000) Tuberculosis in badgers; a review of the disease and its significance for other animals. *Res Vet Sci* 69, 203-217.
- Gallagher J, Muirhead RH, Daykin JM, Smith JA, Beavan SD, Kirkham J, Turnball AT, Davies JI (2005) Bovine TB and badgers. *Vet Rec* 156, 555-556.
- Garnett BT, Delahay RJ, Roper TJ (2002) Use of cattle farm resources by badgers (*Meles meles*) and risk of bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) transmission to cattle. *Proc Biol Sci* 269, 1487-1491.
- Garnett BT, Roper TJ, Delahay RJ (2003) Use of cattle troughs by badgers (*Meles meles*). A potential route for transmission of bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) to cattle. *Appl Anim Behav Sci* 80, 1-8.

- Gavier-Widen D, Chambers MA, Palmer N, Newell DG, Hewinson RG (2001) Pathology of natural *Mycobacterium bovis* infection in European badgers (*Meles meles*) and its relationship with bacterial excretion. *Vet Rec* 148, 299-304.
- Georgii B (1980) Home range of female red deer (*Cervus elaphus L.*) in the Alps. *Oecologia* 47, 278-285.
- Gérard JF, Campan R (1988) Variabilité éco-éthologique chez le sanglier européen : comparaison des travaux français. *Cahiers d'éthologie appliquée* 8, 63-130.
- Godvik IMR, Loe LE, Vik JO, Veiberg V, Langvatn R, Mysterud A (2009) Temporal scales, trade-offs, and functional responses in red deer habitat selection. *Ecol* 90, 699-710.
- Gopal R, Goodchild A, Hewinson G, de la Rua Domenech R, Clifton-Hadley R (2006) Introduction of bovine tuberculosis to north-east England by bought-in cattle. *Vet Rec* 159, 265-271.
- Gormley E, Costello E (2003) Tuberculosis and badgers : new approaches to diagnosis and control. *J Appl Microbiol* 94, 80-86.
- Gortazar C, Vicente J, Gavier-Widen D (2003) Pathology of bovine tuberculosis in the European wild boar (*Sus scrofa*). *Vet Rec* 152, 779-780.
- Gortazar C, Vicente J, Samper S, Garrido JM, Fernandez-de-Mera IG, Gavin P, Juste RA, Martin C, Acevedo P, De La Puente M, Höfle U (2005) Molecular characterization of *Mycobacterium tuberculosis* complex isolates from wild ungulates in south-central Spain. *Vet Res* 36, 43-52.
- Gortazar C, Acevedo P, Ruiz-Fons F, Vicente J (2006) Disease risks and overabundance of game species. *Eur J Wildl Res* 52, 81-87
- Gortazar C (2010) Bovine tuberculosis in wildlife in Europe, a review. Présentation orale, workshop tuberculose 9ème conférence de l'European Wildlife disease Association, Vlieland, Pays-Bas, 12-17 sept.
- Griffin JM, Martin SW, Thorburn MA, Eves JA, Hammond RF (1996) A case-control study on the association of selected risk factors with the occurrence of bovine tuberculosis in the Republic of Ireland. *Prev Vet Med* 27, 217-229.
- Griffin JM, Williams DH, Kelly GE, Clegg TA, O'Boyle I, Collins JD (2005) The impact of badger removal on the control of tuberculosis in cattle herds in Ireland. *Prev Vet Med* 67, 237-66.
- 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.
- Harris S (1981) An estimation of the number of foxes (*Vulpes vulpes*) in the city of Bristol and some possible factors affecting their distribution. *J. Appl Ecol* 18,455-465.
- Hars J, Boschioli ML, 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 Vét France* 159, 393-401.
- Hars J, Richomme C, Boschioli ML (2010) La tuberculose bovine dans la faune sauvage en France. *Bull Epid Hebdo Anses* 38, 28-31.
- Haydon DT, Cleaveland S, Taylor LH, Laurenson MK (2002) Identifying reservoirs of infection: a conceptual and practical challenge. *Emerg Inf Dis* 8, 1468-1473
- Hénault S, Karoui C, Boschioli ML (2006) A PCR-based method for tuberculosis detection in wildlife. *Dev Biol (Basel)* 126, 123-32.
- Henry C, Lafontaine L, Mouches A (1988) Le blaireau (*Meles meles* Linnaeus, 1758). *Encyclopédie des Carnivores de France, Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères, Nort-sur-Erdre*, 35p.
- Herbillon C (2006) Le blaireau européen : biologie, statut juridique et problématique actuelle. *Commission Faune du CNPN – 20 juin 2006*, 33 pp.
- Hofmann T (1999) Untersuchungen zur Ökologie des europäischen Dachses (*Meles meles*, L. 1758) im Hakelwald (nordöstliches Harzvorland). *Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät. Halle-Wittenberg, Germany, Martin Luther University. Ph. D. thesis*, 108 p.
- Hutchings MR, Harris S (1997) Effects of farm management practices on cattle grazing behaviour and the potential for transmission of bovine tuberculosis from badgers to cattle. *Vet J* 153, 149-152.
- Hutchings MR, Harris S (1999) Quantifying the risks of TB infection to cattle posed by badger excreta. *Epidemiol Infect* 122, 167-174.

- Jackon R, Cooke MM, Coleman JD, Morris RS (1995a) Naturally occurring tuberculosis caused by *Mycobacterium bovis* in brushtail possums (*Trichosurus vulpecula*): I. An epidemiological analysis of lesion distribution. *New Zeal Vet J* 43, 306-314.
- Jackson R, De Lisle GW, Morris RS (1995b) A study of the environmental survival of *Mycobacterium bovis* on a farm in New Zealand. *New Zeal Vet J* 43, 346-352.
- Janeau G. et Spitz F, 1984. L'espace chez le sanglier (*Sus scrofa scrofa* L.) : occupation et mode d'utilisation. *Gibier faune sauvage*.1 : 73-89.
- Jenkins HE, Morrison WI, Cox DR, Donnelly CA, Johnston WT, Bourne FJ, Clifton-Hadley RS, Gettinby G, McInerney JP, Watkins GH, Woodroffe R (2008) The prevalence, distribution and severity of detectable pathological lesions in badgers naturally infected with *Mycobacterium bovis*. *Epidemiol Inf* 136, 1350-61.
- Jenkins HE, Woodroffe R, Donnelly CA (2010) The duration of the effects of repeated widespread badger culling on cattle tuberculosis following the cessation of culling. *PLOS one* 5,1-7.
- Johnson DDP, Jetz W, Macdonald DW (2002) Environmental correlates of badger social spacing across Europe. *J Biogeogr* 29, 411-425.
- Johnson LK, Liebana E, Nunez A, Spencer Y, Clifton-Hadley R, Jahans K, Ward A, Barlow A, Delahay R (2008) Histological observations of bovine tuberculosis in lung and lymph node tissues from British deer. *Vet J* 175, 409-412.
- Joly DO, Messier F (2001) Limiting effects of bovine brucellosis and tuberculosis on wood bison within Wood Buffalo National Park. University of Saskatchewan Saskatoon, 127p.
- Kamerbeek J, Schouls L, Kolk A, van Agterveld M, van Soolingen D, Kuijper S, Bunschoten A, Molhuizen H, Shaw R, Goyal M, van Embden J (1997) Simultaneous detection and strain differentiation of *Mycobacterium tuberculosis* for diagnosis and epidemiology. *J Clin Microbiol* 35, 907-914.
- King D (2007) Bovine tuberculosis in cattle and badgers. Report to the Secretary of State. www.Defra.gov.uk/foodfarm/farmanimal/diseases/.../badgersreport-king.pdf
- Krebs JR, Anderson R, Clutton-Brock T, Morrison I, Young D, Donnelly C, Frost S, Woodroffe R (1997) Bovine tuberculosis in cattle and badgers. HMSO, London, UK.
- Lebecel Y, GEML (Groupe d'étude des mammifères de Lorraine) (2010) Le blaireau d'Eurasie *Meles meles* en Lorraine : taille des groupes, succès reproductif et estimation de densités. *Ciconia* 34, 25-38.
- Lesellier S, Palmer S, Dalley DJ, Davé D, Johnson L, Hewinson RG, Chambers MA (2006) The safety and immunogenicity of Bacillus Calmette-Guerin (BCG) vaccine in European badgers (*Meles meles*). *Vet Immunol Immunopathol* 112, 24-37.
- Lesellier S (2007) Immunological responses of European badgers (*Meles meles*) vaccinated with BCG and/or challenged with *M.bovis*. Thèse d'université. Dublin.
- Lesellier S, Corner L, Costello E, Sleeman P, Lyashchenko K, Greenwald R, Esfandiari J, Singh M, Hewinson RG, Chambers M, Gormley E (2008) Antigen specific immunological responses of badgers (*Meles meles*) experimentally infected with *Mycobacterium bovis*. *Vet Immunol Immunopathol* 122, 35-45.
- Lesellier S, Corner L, Costello E, Lyashchenko K, Greenwald R, Esfandiari J, Singh M, Hewinson RG, Chambers M, Gormley E (2009) Immunological responses and protective immunity in BCG vaccinated badgers following endobronchial infection with *Mycobacterium bovis*. *Vaccine* 27, 402-409.
- Lesellier S, Palmer S, Gowtage-Sequiera S, Ashford R, Dalley D, Davé D, Weyer U, Salguero FJ, Nunez A, Crawshaw T, Corner L, Hewinson RG, Chambers MA (2011) Protection of Eurasian badgers (*Meles meles*) from tuberculosis after intramuscular vaccination with different doses of BCG. *Vaccine* (in press).
- Martin-Atance P, Leon-Viczaino L, Palomares F, Revilla E, Gonzales-Candela M, Calzada J, Cubero MJ, Delibes M (2006) Antibodies to *Mycobacterium bovis* in wild carnivores from Donana National Park (Spain). *J Wildl Dis* 47, 704-708.
- Martin-Hernando MP, Höfle U, Vicente J, Ruiz-Fons F, Vidal D, Barral M, Garrido JM, de la Fuente J, Gortazar C (2007) Lesions associated with *Mycobacterium tuberculosis* complex infection in the European wild boar. *Tuberculosis (Edinb)* 87, 360-367.
- McCorry T, Whelan AO, Welsh MD, McNair J, Walton E, Bryson DG, Hewinson RG, Vordermeier HM, Pollock JM (2005) Shedding of *Mycobacterium bovis* in the nasal mucus of cattle infected experimentally with tuberculosis by the intranasal and intratracheal routes. *Vet Rec* 157, 613-618.
- McDonald R, Delahay R, Carter SP, Smith GC, Cheeseman CL (2008) Perturbing implications of wildlife ecology for disease control. *Trends Ecol Evol* 23, 53-56.

- McGrath GE, Abernethy D, Stringer L, More SJ (2009) An all-island approach to mapping bovine tuberculosis in Ireland. *Ir Vet J* 62, 192-197.
- McInerney J, Small KJ, Caley P (1995) Prevalence of *Mycobacterium bovis* infection in feral pigs in the northern territory. *Aust Vet J* 72, 448-451.
- Michel AL, Bengis RG, Keet DF, Hofmeyr M, Klerk LM, Cross PC, Jolles AE, Cooper D, Whyte IJ, Buss P, Godfroid J (2006) Wildlife tuberculosis in South African conservation areas : implications and challenges. *Vet Microbiol* 112, 91-100.
- Mignone W, Ballardini M, Sanguinetti V, Bollo E, Dini V (1997) La tubercolosi dei cinghiali (*Sus scrofa*) a vita libera in Liguria: Primi isolamenti di micobatteri e protocollo di monitoraggio. *BIPAS- GEEFSM* 16, 79-84.
- Miller R, Kaneene JB, Fitzgerald SD, Schmitt SM (2003) Evaluation of the influence of supplemental feeding of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the prevalence of bovine tuberculosis in the Michigan wild deer population. *J Wildl Dis* 39, 84-95.
- Ministère de l'écologie, de l'énergie du développement durable et de la mer (2009) Plan national de maîtrise du sanglier. Un cadre d'actions techniques pour agir au plan départemental. 25p.
- More SJ, Good M (2006) The tuberculosis eradication programme in Ireland: a review of scientific and policy advances since 1988. *Vet Microbiol* 112, 239-251.
- Morris RS, Pfeiffer DU, Jackson R (1994) The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections. *Vet. Microbiol* 40, 153-157.
- Morris RS, Pfeiffer DU (1995) Directions and issues in bovine tuberculosis epidemiology and control in New Zealand. *New Zeal Vet J* 43, 256-265.
- Muirhead RH, Gallagher J, Burn KJ (1974) Tuberculosis in wild badgers in Gloucestershire : epidemiology. *Vet Rec* 95, 552-555.
- Murphy D, Gormley E, Costello E, O'Meara D, Corner LA (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.
- 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.
- Nicholls AO, Viljoen PC, Knight MH, Van Jaarsveld AS (1996) Evaluating population persistence of censused and unmanaged herbivore populations from the Kruger National Park, South Africa. *Biol conserv* 76, 57-67.
- Nishi JS, Shury T, Elkin BT (2006) Wildlife reservoirs for bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) in Canada: strategies for management and research. *Vet Microbiol* 112, 325-38.
- Nol P, Lyashchenko KP, Greenwald R, Esfandiari J, Waters WR, Palmer MV, Nonnecke BJ, Keefe TJ, Thacker TC, Rhyan JC, Idwell FE, Salman MD (2009) Humoral immune responses of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) to *Mycobacterium bovis* BCG vaccination and experimental challenge with *M. bovis*. *Clin Vaccine Immunol* 16, 323-329.
- Noonan NL, Sheane WD, Harper LR, Ryan PJ (1975) Wildlife as a possible reservoir of bovine tuberculosis. *Ir Vet J* 29, 1.
- Nugent G, Whitford J, Young N (2002) Use of released pigs as sentinels for *Mycobacterium bovis*. *J Wildl Dis* 38, 665-677.
- O'Brien DJ, Schmitt SM, Fitzgerald SD, Berry DE, Hickling GJ (2006) Managing the wildlife reservoir of *Mycobacterium bovis*: The Michigan, USA, experience. *Vet Microbiol* 112, 313-323.
- Olea-Popelka FJ, Flynn O, Costello E, McGrath G, Collins JD, O'Keeffe J, Kelton DF, Berke O, Martin SW (2005). Spatial relationship between *Mycobacterium bovis* strains in cattle and badgers in four areas in Ireland. *Prev Vet Med* 71, 57-70.
- ONCFS (2004) Protocole de comptages nocturnes de renards au phare. « Protocoles normalisés de dénombrement et de suivi de la faune sauvage », ONCFS, 4 p.
- ONCFS (2008) Fiche technique : le blaireau dans le département du Loiret. Délégation Régionale Centre – Ile-de-France, Orléans, 4p.
- Ostrowski S, Bedin E, Lenain DM, Abuzinada AH (1998) Ten years of Arabian oryx conservation breeding in Saudi Arabia – achievements and regional perspectives. *Oryx* 32, 209-222.
- Parra A, Fernández-Llario P, Tato A, Larrasa J, Garcia A, Alonso JM, Hermoso de Mendoza M, Hermoso de Mendoza J (2003) Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections of pigs and wild boars using a molecular approach. *Vet. Microbiol* 97, 123-133.

- Pfaff E, Klein F, Saint-Andrieux C (2008) La situation du cerf élaphe en France, résultats de l'inventaire 2005. Faune Sauvage 280, 40-50.
- Phillips CJC, Foster CRW, Morris PA, Teverson R (2003) The transmission of *Mycobacterium bovis* to cattle. Res Vet Sci 74, 1-15.
- Pope LC, 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, 371-386.
- Pope LC, Butlin RK, Wilson GJ, Woodroffe R, Erven K, Conyers CM, Franklin T, Delahay RJ, Cheeseman CL, Burke T (2007) Genetic evidence that culling increases badger movement: implications for the spread of bovine tuberculosis. Mol Ecol 16, 4919-4929.
- Radunz B (2006) Surveillance and risk management during the latter stages of eradication: Experiences from Australia. Vet Microbiol 112, 283-290.
- Rapport final de la convention 2008/56 DGAI-ENVA du 9 septembre 2008 sur la tuberculose bovine Mars 2010, 38 p.
- Revilla E, Delibes D, Travaini A, Palomares F (1999) Physical and population parameters of Eurasian badgers, *Meles meles*, from Mediterranean Spain. Zeitschrift für Säugetierkunde 64, 269-276.
- Reynolds HW, Glaholt RD, Hawley AWL (1982) Bison. In Chapman JA, Feldhamer GA (eds) Wild mammals of North America. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 972-1007.
- Richomme C, Gauthier D, Fromont E (2006) Contact rates and exposure to interspecies disease transmission in mountain ungulates. Epidemiol Infect 134, 21-30
- Richomme C, Boschiroli ML, Hars J, Casabianca F, Ducrot C (2010) Bovine tuberculosis in livestock and wild boar in a Mediterranean island, Corsica. J Wildl Dis, 46, 627-631.
- Rogers LM, Delahay R, Cheeseman CL, Langton S, Smith GC, Clifton-Hadley RS (1998) Movement of badgers (*Meles meles*) in a high-density population: individual, population and disease effects. Proc Biol Sci 265, 1269-1276.
- Ruette S, Albaret M, Stahl P, Migot P (1999) Piégeage des espèces classées nuisibles en France. Résultats d'une enquête nationale sur les prélèvements. Bull Mens ONC 241, 4-11.
- Ruette S, Stahl P, Albaret M (2003a) Applying distance sampling methods to spotlight counts of red foxes. J Appl Ecol 40, 32-43.
- Ruette S, Stahl P, Albaret M (2003b) Comparaison entre les comptages nocturnes de renards réalisés à dix ans d'intervalle dans neuf régions françaises. Faune Sauvage 258, 47-49.
- Ryan TJ, Livingstone PG, Ramsey DSL, de Lisle GW, Nugent G, Collins DM, Buddle BM (2006) Advances in understanding disease epidemiology and implications for control and eradication of tuberculosis in livestock: The experience of New Zealand. Vet Microbiol 112, 211-219.
- Sadlier LMJ, Webbon CC, Baker PJ, Harris S (2004) Methods of monitoring red foxes *Vulpes vulpes* and badgers *Meles meles*: Are field signs the answer? Mam Rev 34, 75-98.
- Saïd S, Servanty S, Pellerin M, Guillon N, Van Laere G (2005) L'hétérogénéité spatiale : quel effet sur le choix d'habitat des chevreuils? Faune sauvage 269, 20-23
- Saint-Andrieux C, Barboiron A (2009) Tableaux de chasse ongulés sauvages. Saison 2008-2009. Faune Sauvage 287 (suppl), 8 p.
- Santos N, Correia-Neves M, Gebrehmichael S, Källenius G, Svenson SB, Almeida V (2009) Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in wild boar (*Sus scrofa*) from Portugal. J Wildl Dis 45, 1048-1061.
- Sawyer J, Mealing D, Dalley D, Davé D, Lesellier S, Palmer S, Bowen-Davies J, Crawshaw TR, Chambers MA (2007). Development and evaluation of a test for tuberculosis in live european badgers (*Meles meles*) based on measurement of gamma interferon mRNA by real-time PCR. J Clin Microbiol 45, 2398-2403.
- Schley L, Roper TJ, Schaul M (2004) Distribution and population density of badgers *Meles meles* in Luxembourg. Mamm Rev 34, 233-240.
- Schmitt SM, Fitzgerald SD, Cooley TM, Bruning-Fan CS, Sullivan L, Berry D, Carlson T, Minnis RB, Payeur JB, Sikarskie J (1997) Bovine tuberculosis in free-ranging white-tail deer from Michigan. J Wildl Dis 33, 749-758.
- Serraino A, Marchetti G, Sanguinetti V, Rossi MC, Zanoni RG, Catozzi L (1999) Monitoring of transmission of tuberculosis between wild boars and cattle: genotypical analysis of strains by molecular epidemiology techniques. J Clin Microbiol 37, 2766-71.

- Skuce RA, McDowell SW, Mallon TR, Luke B, Breadon EL, Lagan PL, McCormick CM, McBride SH, Pollock JM (2005) Discrimination of isolates of *Mycobacterium bovis* in Northern Ireland on the basis of variable numbers of tandem repeats (VNTRs). *Vet Rec* 157, 501-504.
- Small C (1995) The abundance and distribution of the badger *Meles meles* in Ireland, with especial reference to habitat surveys. Report published by the stationnary office, Governement publication sale office, Molesworth Street, Dublin 2, 460p.
- Smith GC, Cheeseman CL (2007) Efficacy of culling during the initial proactive culls in the randomised badger culling trial. *Vet Rec* 160, 723-726.
- Stahl P, Ruette S (2000) Enquête nationale sur les tableaux de chasse à tir - Saison 1998-1999 - Le renard, les mustélidés et les corvidés. *Faune Sauvage (cahiers techniques)* 251, 184-193.
- Swarbrick O, Hutchinson I (2009) Holistic approach to TB bovine control. *Vet Rec* 164, 187-188.
- Tessaro SV (1986) The existing and potential importance of brucellosis and tuberculosis in Canadian wildlife : a review. *Can Vet J* 27, 119-124.
- Thorel MF, Moutou F (1994) Tuberculose et animaux sauvages. *Point Vét*, 26, 27-34.
- Tolhurst BA, Ward AI, Delahay RJ, McMaster AM, Roper TJ (2008) The behavioural responses of badgers (*Meles meles*) to exclusion from farm buildings using an electric fence. *Appl Anim Behav Sci* 113, 224-235.
- Tolhurst BA, Delahay RJ, Walker NJ, Alastair IW, Roper TJ (2009). Behaviour of badgers (*Meles meles*) in farm buildings: Opportunities for the transmission of *Mycobacterium bovis* to cattle? *Appl Anim Behav Sci* 117, 103-113.
- Tuytens FAM, Long B, Fawcett T, Skinner A, Browns JA, Cheeseman CL, Roddam AW, Macdonald DW (2001) Estimating group size and population density of Eurasian badgers *Meles meles* by quantifying latrine use. *J Appl Ecol* 38, 1114-1121.
- Vicente J, Höfle U, Garrido JM, Fernandez-de-Mera IG, 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
- Vicente J, Höfle U, Garrido JM, Fernandez-de-Mera IG, Acevedo P, Juste R, Barral M, Gortazar C (2007) Risk factors associated with the prevalence of tuberculosis-like lesions in fenced wild boar and red deer in south central Spain. *Vet Res* 38,451-464.
- Vuillaume P, Stahl P, Ruette S (2002) Monitoring red fox populations by spotlighting during night shooting operations.- *Game Wildl Sci* 19, 197-207.
- Vourc'h G, Boyard C, Barnouin J (2008) Mammal and bird species at the woodland-pasture interface in relation to the circulation of ticks and pathogens. *Ann NY Acad Sci* 1149, 322-325.
- Ward AI, Judge J, Delahay RJ (2010) Farm husbandry and badger behaviour: opportunities to manage badger to cattle transmission of *Mycobacterium bovis*? *Prev Vet Med* 93, 2-10.
- White PCL, Brown JA, Harris S (1993) Badgers (*Meles Meles*), cattle and bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*): an hypothesis to explain the influence of habitat on the risk on disease transmission in Southwest England. *Proc S London B* 253, 277-284.
- White PCL, Bohm M, Marion G, Hutchings MR (2008) Control of bovine tuberculosis in British livestock : there is no "silver bullet". *Trends Microbiol* 16, 420-427.
- Wilson G, Harris, S, Mac Laren G (1997) Changes in the british badger population 1988-1997. *People's trust for endangered species*, London.
- Wilson GJ, Delahay RJ, De Leeuw ANS, Spyvee PD, Handoll D (2003) Quantification of badger (*Meles meles*) sett activity as a method of predicting badger numbers. *J Zool* 259, 49-56.
- Wobeser G (2009) Bovine tuberculosis in Canadian wildlife: an updated history. *Can Vet J* 50, 1169-1176.
- Woodroffe R, Donnelly CA, Johnston WT, Bourne FJ, Cheeseman CL, Clifton-Hadley RS, Cox DR, Gettinby G, Hewinson RG, Le Fevre AM, McInerney JP, Morrison WI (2005) Spatial association of *Mycobacterium bovis* infection in cattle and badgers *Meles meles*. *J Appl Ecol* 42, 852-862.
- Woodroffe R, Donnelly CA, Cox DR, Bourne JF, Cheeseman CL, Delahay RJ, Gettinby G, McInerney JP, Morrison WI (2006) Effects of culling on badger *Meles meles* spatial organization: implications for the control of bovine tuberculosis. *J Appl Ecol* 43, 1-10.
- Woodroffe R, Donnelly CA, Wei G, Cox DR, Bourne FJ, Burke T (2009) Social group-size affects *Mycobacterium bovis* infection in European badgers (*Meles meles*). *J Anim Ecol* 78, 818-827.

Young JS, Gormley E, Wellington EMH (2005) Molecular detection of *Mycobacterium bovis* and *Mycobacterium bovis* BCG (Pasteur) in soil. *Appl Environ Microbiol* 71, 1946-1952.

Zanella G, Duvauchelle A, Hars J, Moutou F, Boschioli ML, Durand B (2008a) Patterns of bovine tuberculosis lesions 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, Fermé M, Karoui C, Boschioli ML (2008b) Tuberculosis in wildlife in France. *J Wildl Dis* 44, 99-108.

Zuckerman L (1980) *Badger, cattle and tuberculosis*. HMSO, London. HMSO, London.

Impression d'après documents fournis
bialec, nancy (France)
Dépôt légal n° 76001 - mai 2011
Imprimé sur papiers issus de forêts gérées durablement





Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
27-31 avenue du général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr