



HAL
open science

**Efficienc e du syst ème de surveillance-lutte de la
brucellose bovine en France : é valuation, caract érisation
et pistes d' am élioration par les approches
épid émiologique et sociologique**

Sofia Mlala

► **To cite this version:**

Sofia Mlala. Efficienc e du syst ème de surveillance-lutte de la brucellose bovine en France : é valuation, caract érisation et pistes d' am élioration par les approches épid émiologique et sociologique. Biologie animale. Université de Lyon, 2020. Français. NNT : 2020LYSE1138 . tel-03351832

HAL Id: tel-03351832

<https://theses.hal.science/tel-03351832>

Submitted on 22 Sep 2021

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

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

N°d'ordre NNT : 2020LYSE1138



THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
l'Université Claude Bernard Lyon 1
Ecole Doctorale n° 341
Evolution, Ecosystèmes, Microbiologie, Modélisation (E2M2)

Spécialité de doctorat : Santé publique vétérinaire
Disciplines : Epidémiologie, sociologie

Soutenue publiquement le 09/09/2020, par :
Sofia MLALA

**Efficienc e du système de surveillance-
lutte de la brucellose bovine en France :
évaluation, caractérisation et pistes
d'amélioration par les approches
épidémiologique et sociologique**

Devant le jury composé de :

GUATTEO, Raphaël – Professeur - Oniris

Président

ANTOINE-MOUSSIAUX, Nicolas – Chercheur – Univ. de Liège

Rapporteur

PONSART, Claire – Chercheuse - Anses Maisons-Alfort

Rapportrice

VERGU, Elisabeta – Directrice de Recherche - Inrae

Rapportrice

GUATTEO, Raphaël – Professeur - Oniris

Examineur

VANHEMS, Philippe – Professeur Praticien hospitalier – CIRI

Examineur

HÉNAUX, Viviane – Chargée de Recherche - Anses Lyon

Directrice de thèse

DEDIEU, François – Chargé de Recherche - Inrae

Codirecteur de thèse

COURCOUL, Aurélie – Chargée de mission – DGAL

Invitée

FORTANÉ, Nicolas – Chargé de Recherche - Inrae

Invité

PICAULT, Sébastien – Chargé de Recherche - Inrae

Invité

Université Claude Bernard – LYON 1

| | |
|---|-------------------------|
| Président de l'Université | M. Frédéric FLEURY |
| Président du Conseil Académique | M. Hamda BEN HADID |
| Vice-Président du Conseil d'Administration | M. Didier REVEL |
| Vice-Président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire | M. Philippe CHEVALLIER |
| Vice-Président de la Commission de Recherche | M. Jean-François MORNEX |
| Directeur Général des Services | M. Damien VERHAEGHE |

COMPOSANTES SANTE

| | |
|---|--|
| Faculté de Médecine Lyon-Est – Claude Bernard | Doyen : M. Gilles RODE |
| Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon Sud Charles. Mérieux | Doyenne : Mme Carole BURILLON |
| UFR d'Odontologie | Doyenne : Mme Dominique SEUX |
| Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques | Directrice : Mme Christine VINCIGUERRA |
| Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation | Directeur : M. Xavier PERROT |
| Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine | Directrice : Mme Anne-Marie SCHOTT |

COMPOSANTES & DEPARTEMENTS DE SCIENCES & TECHNOLOGIE

| | |
|---|--|
| UFR Biosciences | Directrice : Mme Kathrin GIESELER |
| Département Génie Electrique et des Procédés (GEP) | Directrice : Mme Rosaria FERRIGNO |
| Département Informatique | Directeur : M. Behzad SHARIAT |
| Département Mécanique | Directeur M. Marc BUFFAT |
| UFR - Faculté des Sciences | Administrateur provisoire : M. Bruno ANDRIOLETTI |
| UFR (STAPS) | Directeur : M. Yannick VANPOULLE |
| Observatoire de Lyon | Directrice : Mme Isabelle DANIEL |
| Ecole Polytechnique Universitaire Lyon 1 | Directeur : Emmanuel PERRIN |
| Ecole Supérieure de Chimie, Physique, Electronique (CPE Lyon) | Directeur : Gérard PIGNAULT |
| Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1 | Directeur : M. Christophe VITON |
| Institut de Science Financière et d'Assurances | Directeur : M. Nicolas LEBOISNE |
| ESPE | Administrateur Provisoire : M. Pierre CHAREYRON |



Thèse préparée à :

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

Anses - Laboratoire de Lyon

Unité Epidémiologie et appui à la surveillance (EAS)

31 avenue Tony Garnier

69364 Lyon Cedex 07

Laboratoire de codirection :

Laboratoire interdisciplinaire, Sciences, Innovations, Sociétés (Lisis)

Université Paris-Est Marne-la-Vallée

Cité Descartes

5, boulevard Descartes

Champs-sur-Marne

77454 MARNE-LA-VALLÉE Cedex 02



Ce travail a été réalisé dans le cadre de la formation complémentaire par la recherche (FCPR) du ministère chargé de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Résumé

En France, la mise en place de la plupart des systèmes de surveillance et de lutte contre les maladies réglementées des bovins (tuberculose bovine, leucose bovine enzootique, brucellose bovine) date des années 1960-1970, et ces systèmes ont été peu modifiés depuis, malgré l'évolution favorable de la situation épidémiologique et l'acquisition de statuts « officiellement indemne ». Or, maintenir de tels systèmes de surveillance est coûteux pour des maladies absentes du territoire et dont le risque de réintroduction est non nul mais faible. Dans un contexte de restriction des ressources allouées à la santé publique vétérinaire, il est important de s'interroger sur l'efficacité actuelle (rapport efficacité/coût) de ces systèmes, et sur son éventuelle amélioration.

Notre étude porte sur le système de surveillance de la brucellose bovine. Ce système repose sur 1) une surveillance « événementielle » (visant la détection précoce de la maladie), par la déclaration obligatoire de tout avortement, et 2) une surveillance « programmée » (garantissant le statut indemne), par le dépistage annuel des élevages bovins et celui des bovins introduits dans un cheptel, sous certaines conditions. La surveillance et la lutte contre la brucellose bovine coûtent environ 17 millions d'euros par an, ce qui est relativement élevé compte tenu de la quasi-absence de la maladie en France (deux foyers depuis l'acquisition du statut indemne en 2005). Par ailleurs, la surveillance événementielle de la brucellose bovine a une sensibilité limitée car moins d'un tiers des avortements détectés est déclaré, avec une variabilité du taux de déclaration entre des départements dont les profils d'élevage bovin sont similaires. Se pose donc la question de l'adéquation entre le coût du système de surveillance-lutte, ses performances et la situation épidémiologique actuelle.

Nous avons abordé cette question par deux approches complémentaires. À travers une enquête sociologique réalisée dans deux départements (nommés A et B) aux profils d'élevage similaires et au niveau de déclaration des avortements contrasté (B ayant un taux de déclaration supérieur à A), nous avons cherché à comprendre quels facteurs influençaient la production et la circulation d'information pour la surveillance sanitaire au sein du réseau d'acteurs, à l'échelle départementale. À travers un modèle de simulation mécaniste, stochastique, individu-centré, nous avons évalué l'efficacité du système actuel et exploré des pistes d'amélioration de cette efficacité.

Notre analyse sociologique a abouti à deux modèles socio-économiques : pro-curatif dans le département A et pro-préventif dans le département B, qui ont montré un lien entre le niveau de concurrence subi par les vétérinaires sur la vente de médicaments vétérinaires et la contribution globale du système d'acteurs à la surveillance sanitaire. Notre analyse a montré que le modèle pro-préventif contribuait plus fortement à la surveillance que le modèle pro-curatif. En effet, la nature de l'information produite dans cette configuration d'acteurs correspondait aux besoins de la surveillance (une information collective et précoce), et circulait de manière plus fluide entre les acteurs.

Notre modèle de simulation a montré : 1) une amélioration de l'efficacité du système de surveillance par la suppression des contrôles à l'introduction, 2) une diminution de l'efficacité par le dépistage annuel de tous les adultes dans un tiers des élevages allaitants (quel que soit leur niveau de risque vis-à-vis de la brucellose) au lieu de 20% des adultes dans tous les élevages, et 3) une légère amélioration de l'efficacité par la déclaration de séries d'avortements au lieu de tous les avortements.

La confrontation de ces résultats montre que le coût réel d'une modification du système de surveillance serait plus important dans une configuration d'acteurs pro-curative que dans une configuration pro-préventive. Par ailleurs, les économies associées à cette modification, selon leur nature, n'impacteraient pas les mêmes acteurs, positivement comme négativement. Il est donc important d'anticiper ces impacts et de pouvoir les caractériser en fonction de la configuration locale des acteurs.

Mots-clés

bovin ; avortement ; surveillance ; brucellose ; idéal-type ; sociologie ; modélisation

Summary

In France, most of the surveillance and control systems for bovine regulated diseases (bovine tuberculosis, enzootic bovine leukosis, bovine brucellosis) were implemented in the 1960s and 1970s, and have changed little since then, despite the improvement of the epidemiological situation and the acquisition of the "officially free" status. Maintaining such monitoring systems is costly for diseases that are absent from the territory and for which the risk of reintroduction is low, even if it is not null. In a context of limited resources allocated to veterinary public health, it is important to question the current efficiency (ratio of effectiveness to cost) of these systems, and whether it could be improved, for example by targeting the surveillance effort based on risk.

Our study focuses on the surveillance system of bovine brucellosis. This system is based on 1) "event-driven" surveillance (for early detection of the disease), through compulsory reporting of all abortions, and 2) "programmed" surveillance (to prove the disease-free status), through the annual screening of cattle farms and the screening of the cattle introduced into a herd, under certain conditions. Bovine brucellosis surveillance and control cost approximately 17 million euros per year, which is relatively high given the virtual absence of the disease in France (two outbreaks since acquiring disease-free status in 2005). Furthermore, event-based surveillance for bovine brucellosis has limited sensitivity as less than a third of the abortions detected is reported, with a variability in the reporting rate between departments with similar cattle farming profiles. This raises the question of a better match between the cost of the surveillance-control system, its performance and the current epidemiological situation.

We have tackled this question through two complementary approaches. Through a sociological survey carried out in two departments (French administrative units), named A and B, with similar farming profiles and contrasted levels of abortion reporting (B having a higher reporting rate than A), we sought to understand which factors influenced the production and circulation of information between local actors, for health monitoring. Through a mechanistic, stochastic, agent-based simulation model, we evaluated the efficiency of the current system and explored ways to improve it.

Our sociological analysis resulted in two socio-economic models: pro-curative in department A and pro-preventive in department B, which showed a link between the level of competition endured by veterinarians on the sale of veterinary medicines and the overall contribution of the system of actors to health surveillance. Our analysis showed that the pro-preventive model had a higher contribution to surveillance than the pro-curative model. Indeed, the nature of the information produced in this configuration of actors corresponded to the needs of surveillance (collective and early information), and circulated more fluently between actors.

Our simulation model showed: 1) an improvement in the efficiency of the surveillance system by removing controls at introduction, 2) a decrease in efficiency by annually screening all adults in one third of the beef cattle farms (regardless of their level of risk for brucellosis) instead of 20% of the adults in all beef cattle farms, and 3) a slight improvement in efficiency by reporting series of abortions instead of all abortions.

Our results as a whole show that the real cost of modifying the surveillance system would be greater in a pro-curative configuration of actors than in a pro-preventive configuration. Furthermore, the savings associated with this modification, depending on their nature, would not impact the same actors, either positively or negatively. It is therefore important to anticipate these impacts and to be able to characterize them according to the local configuration of actors.

Title

Efficiency of the surveillance-control system for bovine brucellosis in France: evaluation, characterisation and exploration of potential improvements through an epidemiological and a sociological approach

Keywords

cattle; abortion; surveillance; brucellosis; ideal-type; sociology; modelling

Valorisation des travaux

Articles scientifiques

❖ *Soumis*

Mlala S., Dedieu F., Calavas D., Hénaux V., The organisation of local actors influences the flows of information for health monitoring: explanation through two socio-economic models, *Preventive Veterinary Medicine*, submitted.

❖ *En cours de rédaction*

Mlala S., Picault S., Sala C., Villard P., Vinard J.-L., Hénaux V., Assessment of efficiency improvements for the French bovine brucellosis surveillance-control system through modelling, *Mathematical Biosciences and Engineering*

Mlala S., Dedieu F., Calavas D., Hénaux V., L'organisation des acteurs locaux influence les flux d'information pour la surveillance sanitaire : explication par deux modèles socio-économiques, *Bulletin Épidémiologique Santé animale et Alimentation*

Communications orales

ISDS 2019 (International Society for Disease Surveillance), Organisation of local actors and data reporting in veterinary public health », San Diego, États-Unis, 2019.

JSDA 2018 (Journées scientifiques et doctorales de l'Anses), Fonctionnement pratique du réseau local d'acteurs sanitaires et impact sur l'efficacité de la surveillance de la brucellose bovine en France : étude de cas dans deux départements (flash talk), Maisons-Alfort, 2018

Posters scientifiques

JSDA 2018, Fonctionnement pratique du réseau local d'acteurs sanitaires et impact sur l'efficacité de la surveillance de la brucellose bovine en France : étude de cas dans deux départements, Maisons-Alfort, 2018

« Si tu cherches c'est que tu avances. À mon avis c'est l'essentiel. »

Grand Corps Malade

“The more I see, the less I know, the more I like to let it go.”

Red Hot Chili Peppers

Remerciements

À Viviane Hénaux et François Dedieu, codirectrice et codirecteur de thèse, pour la confiance qu'ils m'ont accordée, la pertinence de leurs conseils, leur disponibilité malgré des emplois-du-temps chargés, et leur ouverture à l'interdisciplinarité, qui ont rendu cette thèse très agréable à réaliser. Merci pour la qualité de votre encadrement.

À Sébastien Picault, chargé de recherche à l'unité mixte Bioepar (Inrae-Oniris), pour son aide très précieuse dans le développement du modèle de simulation, pour sa patience, sa bienveillance et sa disponibilité. Merci d'avoir accepté ce partenariat.

À Nicolas Antoine-Moussiaux (Université de Liège), **Claire Ponsart** (Anses), **Elisabeta Vergu** (Inrae), **Raphaël Guatteo** (Oniris), **Philippe Vanhems** (HCL), **Aurélié Courcoul** (DGAL) et **Nicolas Fortané** (Inrae), pour le temps et l'intérêt qu'ils ont accordé à ces travaux. Merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

À Julien Barrier (ENS Lyon), **Clémence Bourély** et **Patrick Azéma** (DGAL), **David Demortain** (Inrae), **Benoît Durand** et **Bruno Garin-Bastuji** (Anses), **Emmanuelle Gilot-Fromont** (VetAgro Sup), **Didier Raboisson** (ENVT), **Benjamin Riche** (HCL), pour leurs précieux retours sur ces travaux et les discussions très riches lors des comités de thèse. Merci d'avoir accepté le suivi de ces travaux.

À Sébastien Gardon et Sylvie Mialet, du service de formation de l'ENSV, pour leur présence et leur suivi pendant ces trois années de thèse. Merci d'être restés disponibles et ouverts à l'échange.

À Didier Calavas, anciennement chef de l'unité Epidémiologie de l'Anses Lyon, pour son aide et sa confiance dans la construction du projet de thèse et pour ses précieux retours d'expérience. Merci de m'avoir proposé de travailler sur ce sujet.

À la commission FCPR (CGAAER), pour avoir permis la réalisation de cette thèse. Merci de l'intérêt porté à ces travaux. Merci à Viviane Moquay, rapportrice, pour ses conseils et son suivi.

Au personnel de l'Ecole doctorale E2M2 et de l'Université de Lyon 1, pour leur accompagnement au cours de cette thèse.

À la Direction générale de l'Alimentation, pour son soutien. Merci de l'appui apporté à ma candidature pour une FCPR.

À l'ensemble des personnes enquêtées,
pour le temps qu'elles m'ont accordé, la qualité de leur accueil et l'intérêt qu'elles ont porté à ces travaux. Merci d'avoir participé à notre enquête sociologique.

Au ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation,
pour l'accès aux données de leurs bases nationales Sigal et BDNI.

À l'Infrastructure Nantaise de Génomique et Bioinformatique (GenoBiRD, Biogenouest), pour sa contribution dans la réalisation des présents travaux.

À la plateforme de bioinformatique INRAE MIGALE (MIGALE, INRAE, 2020. Migale bioinformatics Facility, doi: 10.15454/1.5572390655343293E12), pour avoir fourni les ressources informatiques permettant la réalisation de ces travaux.

À Kristel Gache, Anne Touratier (GDS France), **Françoise Dion** (Races de France), **Marine Neveux et Hélène Laizeau** (Editions Le Point Vétérinaire), pour l'aide qu'elles ont apportée dans la réalisation de ces travaux. Merci pour le partage d'information et le retour d'expérience.

Aux membres de l'équipe DYNAMO (unité Bioepar), et aux membres du Lisis,
pour leur accueil lors de mes séjours de travail à Oniris et au Lisis.

Aux membres (actuels et anciens) de l'unité Epidémiologie et appui à la surveillance (EAS) de l'Anses Lyon,
pour leur présence bienveillante au cours de ces années passées à l'Anses. Merci à tous de contribuer à cette ambiance agréable qui caractérise l'unité.
Merci à Christelle, Géraldine, Nathalie, Carole, Clémence, Mathilde et Pauline D.J. pour les bons moments passés ensemble ces cinq dernières années ; à Jean-Luc, Carole, Pierre et Eric pour leur aide dans la réalisation de ces travaux ; à Didier, Pascal et Jean-Philippe pour leur confiance et leur écoute en tant que chefs d'unité ; et à Emilie qui a accompagné mes premiers pas à l'Anses.

Aux membres (actuels et anciens) de l'Anses Lyon,
pour leur sympathie et pour la qualité de nos échanges. Merci à tous de votre accueil au sein du laboratoire. Merci à Valérie, Christian, Katia, Agnès, Audrey et Isabelle, pour leur aide précieuse sur les aspects logistiques et administratifs.

À ma famille et mes amis,
parce qu'ils sont l'huile de mon moteur. Merci de votre soutien inconditionnel, de votre aide dans les moments difficiles, et de votre présence dans la célébration des petites et grandes joies de la Vie.

Table des matières

| | |
|---|----|
| Sigles et abréviations | 2 |
| Introduction générale..... | 4 |
| Chapitre I..... | 8 |
| I. Contexte de l'étude sociologique | 10 |
| II. Matériels et méthodes | 12 |
| 1. Principales théories mobilisées | 12 |
| 2. Conception de l'enquête sociologique | 12 |
| 3. Réalisation de l'enquête sociologique | 13 |
| 4. Analyse des données de terrain | 15 |
| III. Résultats..... | 16 |
| 1. Caractéristiques des départements étudiés | 16 |
| 2. Les maladies non réglementées sont au cœur des préoccupations sanitaires des éleveurs..... | 19 |
| 3. Composition et fonctionnement du système d'acteurs étudié | 23 |
| 4. Les sources de motivation pour la déclaration spontanée des événements sanitaires..... | 28 |
| 5. Relations spécifiques entre les acteurs sanitaires..... | 29 |
| 6. Deux modèles de la surveillance sanitaire : « pro-curatif » et « pro-préventif » 33 | |
| 7. Variations au sein des modèles idéaltypiques..... | 43 |
| IV. Discussion de l'étude sociologique | 56 |
| 1. Deux ressources clés sont à la base du système d'action | 56 |
| 2. Les jeux de pouvoir déterminent les flux d'information sanitaire | 57 |
| 3. Spécificité et limites de notre étude..... | 58 |
| 4. Leviers d'action pour améliorer la surveillance événementielle..... | 60 |
| Chapitre II..... | 62 |
| I. Contexte de l'étude épidémiologique | 64 |
| II. Matériels et méthodes | 66 |

| | | |
|------|--|-----|
| 1. | Présentation générale du modèle..... | 66 |
| 2. | Composante démographique : naissances, décès, mouvements et conduites d'élevage..... | 67 |
| 3. | Composante épidémiologique : diffusion de la brucellose bovine au sein du troupeau et entre les troupeaux | 73 |
| 4. | Composante surveillance-lutte : conception des scénarios..... | 75 |
| 5. | Composante économique : Calcul des coûts de surveillance et de lutte.... | 77 |
| 6. | Évaluation de l'efficacité des scénarios de surveillance-lutte | 80 |
| 7. | Conditions initiales et procédure de simulation | 81 |
| III. | Résultats..... | 82 |
| 1. | Simulations sans détection de l'infection | 82 |
| 2. | Simulations avec détection de l'infection | 82 |
| 3. | Coût global des mesures de surveillance et de lutte | 89 |
| 4. | Identification des scénarios les plus efficaces | 92 |
| 5. | Analyse de la sensibilité des résultats de simulation aux paramètres d'entrée | 94 |
| IV. | Discussion | 97 |
| 1. | Principaux résultats de notre étude | 97 |
| 2. | Amélioration de la précocité de détection..... | 98 |
| 3. | Amélioration de la surveillance événementielle..... | 98 |
| 4. | Spécificités de notre modèle | 99 |
| 5. | Limites de la composante épidémiologique du modèle | 101 |
| 6. | Estimation des coûts : limite et interprétation | 102 |
| | Discussion générale | 104 |
| I. | Conclusions de l'étude sociologique..... | 106 |
| II. | Conclusions de l'étude épidémiologique..... | 107 |
| III. | Nuance et éclairage des conclusions de l'étude épidémiologique, en fonction de la configuration locale des acteurs sanitaires..... | 108 |
| 1. | Impact des modalités alternatives de surveillance testées sur les deux modèles idéaltypiques..... | 108 |
| 2. | Considération des modalités alternatives de surveillance en fonction des acteurs concernés..... | 112 |
| 3. | Perspectives de ces travaux | 113 |

| | |
|---|-----|
| IV. Prise de recul..... | 115 |
| 1. Les difficultés d'une thèse interdisciplinaire | 115 |
| 2. L'intérêt de l'approche interdisciplinaire | 116 |
| Bibliographie..... | 118 |
| Annexes..... | 124 |
| Annexe 1. Grille d'entretien générale | 126 |
| Annexe 2. Grille d'entretien complémentaire, entretiens avec des éleveurs | 128 |
| Annexe 3. Machines à états du modèle de simulation | 130 |
| Annexe 4. Evolution des effectifs réels (pointillé) et simulés (trait plein) au cours du temps (semaines) pour vingt élevages de chaque type (laitier ou allaitant), lors de simulations sans infection | 134 |

Tables des illustrations

Figures

- Figure 1 Les flux d'information sont nombreux entre les sept catégories d'acteurs impliqués dans la surveillance sanitaire bovine au niveau départemental..... 24
- Figure 2. Flux de ressources et d'information sur le statut sanitaire des élevages, entre les acteurs sanitaires. 27
- Figure 3. Interdépendances des activités entre les acteurs sanitaires : le vétérinaire est un acteur clé. 30
- Figure 4. Schémas des interactions et des flux de ressources entre les acteurs locaux de la surveillance sanitaire dans les deux modèles idéaltypiques de l'étude..... 42
- Figure 5. Processus de sélection des exploitations-types à partir de la base de données nationale d'identification des bovins (BDNI)..... 71
- Figure 6. Ratios de la différence entre la taille des troupeaux simulés et réels, sur la taille des troupeaux réels, à la fin de la période de simulation, pour les 610 exploitations-types de notre échantillon final. 72
- Figure 7. Évolution du nombre de troupeaux infectés au cours du temps (semaines), pour les quatre valeurs testées du taux de transmission horizontale au sein du troupeau. 74
- Figure 8. Délai entre l'introduction de l'infection dans le modèle et la première confirmation d'une infection dans un troupeau (délai de détection), pour chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission). 83
- Figure 9. Proportions des détections d'infection dues à la déclaration d'avortement (A1, A2 ou A3) et au dépistage annuel (P1 ou P2), pour chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission). 86
- Figure 10. Proportion moyenne de troupeaux infectés ayant été détectés par le système de surveillance, pour chaque type de production, chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission). 88
- Figure 11. Relation entre le coût global de la surveillance et de la lutte (millions € hors taxe) et le délai de détection de l'infection, pour chaque scénario testé..... 93
- Figure 12. Part de la variabilité pour cinq sorties du modèle expliquée par les paramètres d'entrée les plus influents. 95

Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Tableau récapitulatif des entretiens réalisés dans les deux départements lors de l'enquête sociologique..... | 14 |
| Tableau 2. Nature des informations disponibles pour chaque acteur sanitaire..... | 26 |
| Tableau 3. Tableau des profils d'élevage et des facteurs extérieurs respectivement pro-préventifs et pro-curatifs..... | 55 |
| Tableau 4. Définitions et valeurs des paramètres du modèle..... | 68 |
| Tableau 5. Probabilités de déclaration d'avortement, selon la modalité de déclaration (A1, A2 ou A3)..... | 76 |
| Tableau 6. Honoraires vétérinaires utilisés pour l'évaluation des coûts de surveillance, en fonction du dispositif de surveillance. | 78 |
| Tableau 7. Coûts unitaires des analyses, utilisés pour l'évaluation des coûts de surveillance (médianes et intervalles interquartiles). | 79 |
| Tableau 8. Nombre de troupeaux infectés au moment de la première confirmation de l'infection..... | 84 |
| Tableau 9. Estimation du nombre annuel d'interventions techniques et d'analyses réalisées à l'échelle nationale, pour chaque modalité des trois dispositifs de surveillance..... | 89 |
| Tableau 10. Estimation des coûts annuels (€ hors taxe) des interventions techniques et des analyses réalisées à l'échelle nationale, pour chaque modalité des trois dispositifs de surveillance. | 90 |
| Tableau 11. Estimation des coûts annuels de surveillance et de lutte (millions € hors taxe) associés à chaque plan d'expérience. | 91 |

Sigles et abréviations

| | |
|----------------|---|
| AMV | Acte médical vétérinaire |
| BDNI | Base de données nationale d'identification des bovins |
| BVD | Diarrhée virale bovine |
| DD(CS)PP | Direction départementale (de la cohésion sociale et) de la protection des populations |
| DGAL | Direction générale de l'Alimentation |
| EAT | Epreuve de l'antigène tamponné |
| ELISA | Enzyme-linked immunosorbent assay (dosage immuno-enzymatique) |
| GDS | Groupement de défense sanitaire |
| GTV | Groupement technique vétérinaire |
| GVC | Groupement vétérinaire conventionné |
| IBR | Rhinotrachéite infectieuse bovine |
| IPI | Infecté permanent immunotolérant |
| OPA | Organisation professionnelle agricole |
| Plateforme ESA | Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale |
| Sigal | Base de données nationale du domaine vétérinaire |

Introduction générale

La surveillance épidémiologique est un outil classique des politiques publiques en santé animale, aux côtés d'autres instruments comme l'abattage ou la vaccination (Woods, 2011). Au niveau national, la surveillance épidémiologique des zoonoses (maladies transmissibles entre les humains et les animaux) exotiques a un double objectif de détection précoce, via la surveillance « événementielle »¹, et de garantie du statut indemne du pays, via la surveillance « programmée »². En France, la plupart des systèmes actuels de surveillance-lutte des maladies réglementées des bovins (tuberculose bovine, leucose bovine enzootique, brucellose bovine) ont été mis en place dans les années 1960 et 1970, lorsque ces maladies étaient largement présentes sur le territoire, et ont permis l'éradication de ces maladies et l'obtention d'un statut « officiellement indemne ». Ce statut est accordé par la Commission européenne aux États membres et il leur permet le libre échange commercial de bovins au sein de l'Union européenne et avec des pays tiers. L'efficacité (rapport efficacité/coût) de ces systèmes de surveillance-lutte a rarement été étudiée, même lorsque la situation a évolué favorablement, et ils ont en général peu évolué depuis leur mise en place. Or, maintenir de tels systèmes de surveillance-lutte est coûteux pour des maladies absentes du territoire et dont le risque de réintroduction est faible, bien qu'il ne soit pas nul. Par ailleurs, les ressources humaines et financières allouées à la santé publique vétérinaire sont en diminution depuis plusieurs années. Il est donc important d'améliorer l'efficacité de ces systèmes en tenant compte du contexte socio-économique et épidémiologique local actuel. Se pose alors la question d'une réduction, voire d'une orientation plus spécifique (basée sur le risque) de l'effort de surveillance afin de réduire les coûts de surveillance, ce qui entraînerait une détection dans un délai raisonnable mais plus long, après une diffusion limitée de la maladie au sein de la population. Un tel changement

¹ On qualifie d'événementielle (anciennement passive) toute activité de surveillance qui repose sur la déclaration spontanée de cas ou de suspicions de la maladie surveillée par les acteurs sources de données. Dans un dispositif de surveillance événementielle, il est donc impossible de connaître à l'avance le nombre, la nature et la localisation des données qui seront collectées. Ce type d'organisation est notamment adapté aux situations où il s'agit d'assurer l'alerte précoce en cas d'apparition ou de réapparition d'une maladie. Il en va ainsi de la surveillance épidémiologique d'une maladie exotique, surveillance qui concerne l'ensemble de la population cible et pour laquelle la précocité et la rapidité de la transmission de l'information exigent l'implication de toutes les sources de données pour la déclaration des suspicions. ("Bulletin Épidémiologique Santé animale et Alimentation spécial Maladies réglementées," 2015)

² On qualifie de programmé (anciennement actif) tout dispositif de surveillance reposant sur l'acquisition des données par des actions programmées à l'avance et selon une méthodologie permettant d'inférer les résultats trouvés à la population suivie. Par opposition à la surveillance événementielle, il est possible de définir à l'avance le nombre, la nature et la localisation des données qui vont être collectées par le dispositif. La surveillance programmée peut être conduite de manière exhaustive (sur l'ensemble de la population cible) ou sur un échantillon de cette population. Lorsqu'elle est conduite sur un échantillon, celui-ci peut être représentatif (par sélection aléatoire), avec des collectes ponctuelles de données (enquêtes), ou répétées (population sentinelle). L'échantillon peut également être orienté sur une sous-population à risque. ("Bulletin Épidémiologique Santé animale et Alimentation spécial Maladies réglementées," 2015)

pourrait entraîner une augmentation des coûts de lutte et du risque sanitaire humain. C'est la raison pour laquelle il est intéressant d'explorer les pistes d'amélioration de l'efficacité de ces systèmes et leurs conséquences potentielles du point de vue socio-économique et épidémiologique. Cette exploration apporterait des éléments d'information sur la faisabilité et l'acceptabilité des modifications envisagées.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés plus précisément au système de surveillance de la brucellose bovine.

La brucellose bovine est une maladie contagieuse due à une infection par la bactérie *Brucella abortus*, *B. melitensis* ou *B. suis*. En France, les mesures de surveillance et de lutte sont réglementées pour cette maladie, car elle a des conséquences économiques importantes pour la filière bovine et représente un danger pour la santé humaine et animale. La transmission à l'homme peut se faire par contact avec des matières virulentes (ex. : avorton ou placenta infectés) ou par la consommation de produits au lait cru contaminés. L'infection humaine à *Brucella* provoque des symptômes variés (atteintes articulaires ou génitales, troubles neurologiques, etc.). Elle peut également être asymptomatique, avec une possible apparition retardée de signes cliniques à l'occasion d'une baisse d'immunité. Chez les ruminants domestiques, l'infection provoque principalement des séries d'avortements, mais peut également provoquer des avortements sporadiques (Fensterbank, 1987; Olsen and Johnson, 2011). Occasionnellement, l'infection brucellique des ruminants peut se manifester par des orchites, des hygromas ou de l'arthrite (inflammations respectivement des testicules, de bourses séreuses et d'articulations) (Megid et al., 2010). Aujourd'hui, la brucellose bovine est absente de plusieurs pays du Nord et de l'Ouest de l'Europe, ainsi que de l'Océanie, du Japon et du Canada. En revanche, la maladie est encore très présente en Amérique centrale, en Asie centrale et du Sud-Est, en Afrique et au Moyen Orient (Office international des épizooties (OIE), 2017).

Le système de surveillance de la brucellose bovine a été mis en place en France en 1965, lorsqu'environ 35 % des troupeaux du pays étaient infectés. Ces mesures de surveillance et de lutte ont permis l'éradication de la maladie. La France a obtenu en 2005 le statut « officiellement indemne de brucellose bovine ». Depuis, le système de surveillance de la brucellose bovine n'a que très peu évolué. Il repose sur deux types de surveillance : « événementielle », avec la déclaration obligatoire de tout avortement, et « programmée », avec le dépistage annuel de tous les troupeaux et le dépistage des animaux nouvellement introduits dans un cheptel, sous certaines conditions.

Malgré le statut officiellement indemne de la France, il existe toujours un risque de réintroduction de la maladie, comme le montrent les deux foyers de 2012, dans le Pas-de-Calais et en Haute-Savoie (Rautureau et al., 2013). Il est donc important de veiller à ce que le système de surveillance de cette maladie permette la détection suffisamment précoce d'un bovin infecté sur le territoire. Or une étude a montré que la surveillance événementielle de la brucellose bovine avait une sensibilité limitée, du fait d'une forte sous-déclaration des avortements : en moyenne, moins d'un tiers des avortements détectés est déclaré (Bronner et al., 2015a).

La France compte environ 200 000 élevages bovins, dont environ 60 % d'élevages allaitants et de très petits élevages (moins de dix bovins), et 40 % d'élevages laitiers (Base de données nationale d'identification des bovins, BDNI). Le système de surveillance et de lutte contre la brucellose bovine dans son ensemble coûte chaque année environ 17 millions d'euros (M€) : 3,7 M€ à l'État et 13,3 M€ à la profession agricole (Hénaux et al., 2015). Le coût associé à la brucellose bovine représente 12 % du montant global des mesures de surveillance et de lutte pour l'ensemble des maladies réglementées de la filière bovine (Hénaux et al., 2017), ce qui représente une part importante compte tenu du statut officiellement indemne de la France et du faible nombre de foyers apparus ces dernières décennies.

Le projet de cette thèse est né de ces deux constats : 1) la surveillance événementielle de la brucellose bovine a une sensibilité limitée liée à une forte sous-déclaration des avortements, 2) le coût du système de surveillance-lutte reste élevé compte tenu de la rareté des foyers observés. Il était donc important de réfléchir à une meilleure adéquation entre le coût du système de surveillance-lutte, ses performances et la situation épidémiologique actuelle de la brucellose bovine.

Nous nous sommes appuyés notamment sur les conclusions d'une précédente étude, qui avait identifié des facteurs techniques et cognitifs de la sous-déclaration des avortements par les éleveurs et les vétérinaires (Bronner et al., 2014), notamment 1) le niveau de risque perçu de maladie infectieuse abortive ; 2) la définition pratique de l'avortement, qui est plus restreinte que la définition sanitaire ; 3) l'analyse coûts-bénéfices d'une déclaration et d'un diagnostic différentiel de l'avortement, en tenant compte des aspects sanitaires, réglementaires, économiques et techniques ; 4) le niveau de confiance et de soutien technique entre les acteurs. L'étude a également montré que dans des départements ayant des profils de production bovine similaires – types de production majoritaires, taille moyenne et densité géographique des élevages, etc. – on observait des taux de déclaration des avortements nettement différents (Bronner et al., 2015b). Il existerait donc d'autres facteurs, indépendants du type de production et agissant au niveau local, qui expliqueraient cette différence.

Nous avons choisi d'explorer la question de l'efficacité du système de surveillance-lutte de la brucellose bovine par une approche interdisciplinaire. Les territoires ne se ressemblent pas, n'engagent pas les mêmes acteurs, ne présentent pas les mêmes intérêts économiques, ni la même organisation entre les acteurs locaux de la surveillance sanitaire. Ces éléments peuvent influencer les enjeux propres à chaque type d'acteur de la surveillance et ainsi leur contribution au système de surveillance. Une approche sociologique nous a permis, *via* une enquête de terrain, de comprendre la manière dont les jeux de pouvoir se sont stabilisés entre acteurs au niveau local, et donc de mieux saisir les raisons de l'écart entre les règles formelles ou juridiques de la surveillance sanitaire et leur application concrète sur le terrain (cf. Chapitre I). Par ailleurs, en l'absence de données épidémiologiques sur la diffusion et les conséquences sanitaires et économiques de la brucellose bovine en France, nous avons choisi une approche épidémiologique *via* un modèle de simulation pour évaluer l'efficacité du

système de surveillance-lutte actuel dans un contexte officiellement indemne, et la comparer à celle de systèmes alternatifs (cf. Chapitre II).

Grâce au croisement de ces approches, nous souhaitons aboutir à des pistes d'amélioration de l'efficacité du système de surveillance-lutte actuel qui tiennent compte : 1) de l'efficacité globale du système ; 2) du réalisme des propositions alternatives (applicabilité et acceptabilité envisagées) ; 3) des conséquences des changements proposés sur l'organisation des acteurs locaux, selon le contexte socio-économique local actuel ; 4) d'éventuels leviers socio-économiques identifiables pour permettre une meilleure efficacité du système de surveillance-lutte en pratique. Ainsi, nous avons réfléchi à l'amélioration possible de ce système, en tant que partie intégrante d'une surveillance sanitaire plus globale (de maladies réglementées et non réglementées) et des activités socio-économiques des acteurs sanitaires locaux.

Chapitre I

Approche sociologique

*** * ***

**Caractérisation de la production et de
la circulation d'information pour la
surveillance événementielle selon
l'organisation locale des acteurs**

I. Contexte de l'étude sociologique

La surveillance événementielle repose sur la déclaration spontanée aux services vétérinaires des suspicions de maladie, par les éleveurs et autres acteurs de la production animale (Hoinville, 2013). En santé publique vétérinaire, la surveillance événementielle est considérée comme la méthode la plus efficace pour détecter rapidement les foyers de maladie et pour produire des informations épidémiologiques afin d'aider la prise de décision concernant les stratégies de surveillance et de contrôle (Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2011). Cependant, la sous-déclaration des cas est un problème inhérent à la surveillance événementielle (Prete, 2008; Delabouglise et al., 2016). Cette sous-déclaration réduit la capacité du système de surveillance à détecter rapidement la présence d'animaux infectés. Cette détection précoce est d'autant plus importante dans le cas d'une maladie absente du territoire national, comme la brucellose bovine en France. Pour cette maladie, la précocité de détection du système de surveillance repose sur la déclaration de tout avortement bovin, qui est très peu suivie en pratique (Bronner et al., 2015a).

En ce qui concerne la déclaration des avortements, une étude récente a montré que le niveau de sous-déclaration variait d'un département à l'autre, notamment entre des départements ayant des profils de production bovine similaires (Bronner et al., 2015b). Cela confirme l'hypothèse selon laquelle des facteurs - autres que techniques et cognitifs - influenceraient la propension des éleveurs à déclarer les événements sanitaires à l'échelle départementale. En effet, les types d'organisation entre acteurs peuvent différer d'un département à l'autre, indépendamment du profil d'élevage bovin - types de production, taille moyenne des exploitations, densité géographique des exploitations, etc. Par ailleurs, des études sociologiques ont démontré, en production animale comme dans d'autres domaines, que des facteurs sociologiques influençaient fortement la genèse de savoir et d'ignorance par l'Administration et les systèmes de surveillance (Carpenter, 2010; Dedieu et al., 2015; Fortané, 2015). Par exemple, la répartition du travail entre les agences qui réglementent et contrôlent l'utilisation des pesticides en France augmente la sous-déclaration des intoxications professionnelles en agriculture par la fragmentation des responsabilités (Dedieu et al., 2015). Sur la base de ces résultats, nous avons formulé l'hypothèse que l'organisation institutionnelle du système de surveillance de la brucellose bovine, les intérêts spécifiques des acteurs impliqués dans ce système et les relations de pouvoir entre eux, avaient une influence sur la sous-déclaration des avortements bovins.

Afin de mieux saisir ces différences de type d'organisation, nous nous sommes interrogés sur l'articulation des relations entre les acteurs territoriaux. La question centrale de notre étude était donc la suivante : « Comment les relations socio-économiques entre acteurs de la surveillance influencent-elles la nature de l'information sanitaire circulant entre eux, à l'échelle départementale ? ». Pour répondre à cette

question, nous avons mené une enquête sociologique, avec trois objectifs : 1) déterminer le type d'organisation locale des acteurs de la surveillance sanitaire bovine à travers l'articulation de leurs relations ; 2) identifier la nature des informations et ressources échangées dans chaque type d'organisation ; 3) construire des modèles socio-économiques d' « idéal-type » (Weber, 1965) pour comprendre comment l'interdépendance des acteurs influence leurs décisions en matière de surveillance sanitaire. Dans un second temps, nous avons discuté, à partir de ces résultats, des facteurs socio-économiques pouvant expliquer la sous-déclaration des avortements dans le cadre de la surveillance brucellique et des éventuels leviers pouvant améliorer cette déclaration, à l'échelle départementale.

Notre étude, réalisée dans deux départements aux profils d'élevage bovin similaires, nous a permis de définir deux modèles idéaltypiques décrivant des types d'organisation contrastés. Chaque type d'organisation exploré correspondait à une nature et un mode de diffusion spécifiques de l'information sanitaire entre les acteurs locaux, et donc à un niveau de contribution spécifique de ces acteurs à la surveillance sanitaire. C'est ce que nous démontrons dans ce chapitre.

II. Matériels et méthodes

1. Principales théories mobilisées

Pour répondre à nos questions de recherche, nous avons utilisé la méthodologie et les outils conceptuels de la sociologie des organisations (Friedberg, 1997). Cette branche de la sociologie repose sur le postulat qu'il existe un écart entre les règles formelles d'un système d'acteurs et la manière dont celles-ci sont concrètement appliquées en pratique. En effet, les acteurs adoptent un comportement rationnel qui les pousse à respecter plus ou moins les règles formelles. Cette rationalité est limitée (Friedberg, 1997) parce qu'elle est fortement influencée par des biais cognitifs et le contexte social, qui déterminent à la fois les opportunités et les capacités d'action des acteurs du système (Bernoux, 2009; Crozier and Friedberg, 2014). Ainsi, le jeu des acteurs autour des règles formelles s'opère à travers l'établissement de trois grands types d'interaction - collaboration, conflit ou absence de relation - selon les ressources qu'ils sont capables d'échanger ensemble pour saisir des opportunités existantes ou créer de nouvelles opportunités. Les acteurs peuvent jouer avec les règles du système afin d'atteindre ou de conserver une position de pouvoir dans le réseau d'acteurs. Ainsi, les jeux de pouvoir entre acteurs se stabilisent d'une manière particulière pour former un système d'action, ou « ordre local ». Caractériser l'ordre local permet donc de comprendre autour de quelles règles les jeux de pouvoir se stabilisent. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés du concept de « théorie de moyenne portée » (Merton, 1968). Cette théorie, construite en opposition des modèles théoriques généraux, cherche à construire des modèles explicatifs à partir de l'analyse des faits observés. Les faits construisent le modèle et non l'inverse. Ces théories ont vocation à atteindre un niveau intermédiaire de généralisation (Merton, 1968; Saint-Martin, 2013). Ainsi, nous avons cherché à restituer, à partir de nos observations empiriques, les ordres locaux du réseau d'acteurs de la surveillance sanitaire bovine dans deux terrains d'étude aux organisations contrastées.

2. Conception de l'enquête sociologique

L'échelle administrative de gestion de la surveillance sanitaire la mieux adaptée à notre niveau d'analyse (le niveau mésoscopique) était l'échelle départementale. Nous avons sélectionné deux départements ayant des profils d'élevage similaires et des niveaux de communication *a priori* contrastés pour la surveillance. Les deux départements de l'étude avaient un profil de production mixte : ils avaient tous deux entre 1 000 et 1 500 élevages bovins laitiers et environ autant d'élevages allaitants, avec en moyenne 75 femelles adultes (i.e. 24 mois et plus) par élevage laitier ou allaitant dans le département A, et 60 dans le département B – respectivement 64 et 45 femelles adultes en moyenne

par élevage pour l'ensemble des élevages bovins de chaque département, en incluant les élevages mixtes ou de production indéterminée. Le département A comptait environ 3 900 élevages bovins, et le département B environ 3 700, toute production confondue. Le département A se caractérisait par un faible taux (annuel) de déclaration des avortements (0,52 %) et le département B par un taux de déclaration plus élevé (1,05 %), sachant que le taux moyen de déclaration au niveau national est de 0,56 %. Le taux de déclaration des avortements est calculé comme le rapport du nombre d'avortements déclarés sur le nombre total de femelles adultes du département, sachant que le taux annuel moyen d'avortement en élevage (hors épisode sanitaire particulier) varie entre 0,5 % et 20 % selon les études (Forar et al., 1995; Hovingh, 2009; Nusinovici et al., 2012). Nous avons supposé que cette différence de taux annuel de déclaration était principalement liée à une différence de proportion d'avortements déclarés, et non de nombre d'avortements survenus dans chaque département. En effet, il n'y avait aucune différence significative entre les systèmes de production bovine des deux départements, et leurs situations sanitaires respectives vis-à-vis des principales maladies abortives (diarrhée virale bovine (BVD), fièvre Q, néosporose, etc.) étaient similaires. Notre sélection des départements était basée sur la classification des typologies de troupeaux de bovins (Sala et al., 2019), et sur les données disponibles dans les systèmes d'information du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation – la BDNI concernant les effectifs des troupeaux, et la base de données nationale du domaine vétérinaire (Sigal) concernant les déclarations d'avortements.

Nous avons d'abord sélectionné trois départements qui répondaient à nos critères. Nous avons mené une enquête préliminaire de deux à trois entretiens dans chacun des trois départements avec les acteurs clés du système de surveillance local. Cette première étape nous a permis de choisir pour la suite de l'étude les deux départements où nous avons observé le plus fort contraste dans les formes d'organisation des acteurs de la surveillance.

3. Réalisation de l'enquête sociologique

Nous avons mené en 2018 une série de 36 entretiens semi-directifs d'une durée moyenne de 90 minutes dans les deux départements finalement retenus, avec les acteurs locaux de la surveillance sanitaire bovine. Les grilles d'entretien utilisées sont présentées en annexe de ce manuscrit (Annexes 1 et 2). Nous avons réalisé respectivement 17 et 19 entretiens dans les départements A et B (Tableau 1). Les personnes interrogées ont été identifiées et sélectionnées sur la base de notre connaissance du réseau de surveillance, des sites internet et documents officiels des organisations, et sur les conseils d'autres acteurs.

Le temps disponible pour la réalisation et l'analyse de notre enquête étant court, nous avons privilégié la diversité des types d'acteurs rencontrés, de manière à avoir un

panorama aussi complet que possible du système d'acteurs étudié dans les deux départements. Nous avons donc rencontré dans chaque département des éleveurs de bovins en production laitière et allaitante, des vétérinaires libéraux, des représentants de laboratoires d'analyses vétérinaires, d'organisations d'éleveurs (groupement de défense sanitaire, GDS ; chambre d'Agriculture ; organisation professionnelle agricole, OPA) et de vétérinaires (groupement technique vétérinaire, GTV, départemental ; conseil régional de l'Ordre des vétérinaires), les services vétérinaires départementaux (directions départementales en charge de la protection des populations, DD(CS)PP) et les Conseils départementaux (Tableau 1 ; Figure 1). Nous n'avons pas été en mesure de rencontrer des éleveurs non adhérents au GDS du département B car leur nombre était très faible (quelques dizaines) et nous n'avons pas pu les identifier pour les contacter.

Tableau 1. Tableau récapitulatif des entretiens réalisés dans les deux départements lors de l'enquête sociologique.

| Acteurs | Nombres d'entretiens | |
|---|----------------------|---------------|
| | Département A | Département B |
| Vétérinaires libéraux (dont membres du conseil régional de l'Ordre et du bureau du GTV départemental) | 5 | 4 |
| Groupement de défense sanitaire (GDS) | 2 | 1 |
| Éleveurs non adhérents du GDS | 2 | 0 |
| Éleveurs adhérents du GDS | 4 | 6 |
| Chambre d'Agriculture | 1 | 1 |
| Services vétérinaires départementaux (DD(CS)PP) | 1 | 2 |
| Conseil départemental | 1 | 1 |
| Laboratoire départemental d'analyses vétérinaires | 2 | 1 |
| Organisations professionnelles agricoles (OPA)* | 1 | 1 |
| Sous-total | 19 | 17 |
| Total | 36 | |

* Seule l'OPA du département A était autorisée à vendre des médicaments vétérinaires.
 GTV : groupement technique vétérinaire

4. Analyse des données de terrain

Nous avons analysé les données recueillies au cours de l'enquête par un raisonnement inductif. Ce raisonnement s'opère par l'analyse et le recoupement des données de terrain (le contenu des entretiens et la littérature grise). Notre objectif était d'aller au-delà des discours des acteurs et de comprendre dans quel contexte local ils s'inséraient. Ainsi, nous avons identifié des « faits consolidés » à partir de l'interprétation par recoupement des discours des acteurs, que nous avons ensuite cherché à confronter de nouveau aux données, afin de tester leur robustesse. Nous n'avons pas émis d'hypothèses *a priori* (et donc hors contexte sociologique) que nous aurions cherché à confirmer ou infirmer sur le terrain, mais uniquement des hypothèses analytiques tirées de nos interprétations et donc issues du terrain. Par exemple, lors de notre enquête, suite au recoupement des discours des vétérinaires ruraux et du personnel du GDS, nous avons constaté qu'il existait des signaux contradictoires de collaboration et de concurrence. En approfondissant et en précisant ces recoupements, nous avons alors cherché à comprendre pourquoi ces deux types de relation coexistaient et autour de quels enjeux ils se manifestaient.

Nous avons commencé par créer des sociogrammes caractérisant les interdépendances et les relations de pouvoir entre les acteurs, qui ne sont pas toujours présentées comme telles sur le terrain. Ensuite, nous avons recherché, thème par thème, les récurrences et les différences dans les comportements des acteurs entre les deux départements étudiés, afin d'identifier les mécanismes sous-jacents. Nous avons utilisé des "idéaux-types" (Weber, 1965) pour extraire les concepts des faits. L'idéal-type est un outil analytique utilisé pour simplifier des mécanismes sociaux afin de progressivement mettre en évidence un ordre local. Nous avons ainsi progressivement construit deux modèles explicatifs en extrayant les principaux mécanismes à partir des données, et en vérifiant constamment les hypothèses générées par l'analyse, *via* une comparaison aux données. Ces modèles expriment les mécanismes identifiés et constituant les ordres locaux de chaque département.

III. Résultats

1. Caractéristiques des départements étudiés

a. Cabinets vétérinaires et laboratoires d'analyses privés

Le département A possédait un plus grand nombre de cabinets ruraux de grande taille (cinq vétérinaires et plus) et de regroupements de cabinets. Le département A possédait 337 vétérinaires libéraux (toutes espèces) ayant l'habilitation à réaliser des actes sanitaires réglementaires, répartis dans 49 cabinets vétérinaires, contre 387 vétérinaires répartis dans 74 cabinets dans le département B (données des DD(CS)PP). Dans le département A, certains groupements de cabinets vétérinaires proposaient une offre de laboratoire d'analyses privé. Ce phénomène n'a pas été rapporté dans le département B.

b. Offres des GDS et taux d'adhésion

Chaque GDS des départements étudiés avait mis en place un système de représentation locale, légèrement plus formalisé et actif dans le département A, avec des délégués cantonaux ou sectoriels, et/ou des représentants communaux. Dans les deux départements, les GDS comptaient dix à douze salariés dont trois techniciens et seul le GDS du département A comptait un vétérinaire dans son équipe. Les GDS fonctionnent comme des associations, avec une équipe technico-administrative salariée et un conseil d'administration formé d'éleveurs élus par les adhérents, qui possède le pouvoir décisionnaire. Le bureau et le conseil d'administration se réunissent respectivement une fois par mois et une fois par trimestre environ. Les dossiers d'éleveurs (demandes d'aides financières généralement) et les projets du GDS (plans de lutte, services proposés aux adhérents, etc.) sont étudiés et discutés lors des réunions du bureau où une première validation est faite. Les dossiers et projets les plus importants sont ensuite présentés en conseil d'administration afin d'être définitivement validés.

Le GDS assure les missions que l'Etat lui a déléguées, auprès des éleveurs adhérents comme non-adhérents (Direction générale de l'Alimentation, 2012), et des services complémentaires de lutte sanitaire collective auprès de ses adhérents. Les offres de service spécifiques aux adhérents étaient similaires dans les GDS des deux départements enquêtés. Elles comptaient notamment :

- une prise en charge aux 2/3 environ des analyses pour la recherche au sein d'un troupeau de maladies non réglementées soumises à des plans de lutte du GDS (néosporose, paratuberculose, BVD, besnoitiose, etc.) ;
- des tarifs préférentiels ou une prise en charge partielle d'analyses à l'introduction d'un bovin dans un cheptel (rhinotrachéite infectieuse bovine (IBR), brucellose, BVD, paratuberculose, besnoitiose, néosporose) ;
- une prise en charge aux 2/3 environ des analyses réalisées suite à un avortement de bovin (chlamydie, fièvre Q, salmonellose, listériose, etc.) ;
- une prise en charge aux 2/3 environ des analyses réalisées dans le cadre de la prophylaxie annuelle (leucose bovine enzootique, varron, brucellose, IBR, tuberculose) ;
- une prise en charge aux 2/3 environ des analyses réalisées dans le cadre de plans de lutte GDS (BVD, paratuberculose, néosporose, besnoitiose, etc.) et une indemnisation pour les bovins positifs abattus (de l'ordre de 210 à 280 € par bovin abattu) ;
- une caisse « coups durs » : indemnisation versée en cas de pertes financières importantes dues à un problème sanitaire. Sont notamment exclus de la caisse coups durs : les accidents (route, incendie, etc.), les mortalités liées à la responsabilité d'un tiers (malveillance, etc.), les maladies réglementées (indemnisées par l'Etat) et les abattages d'urgence.

Les GDS tirent la grande majorité de leur financement des cotisations des éleveurs adhérents (couvrant *a minima* leurs frais de fonctionnement). Les frais liés aux missions déléguées par l'Etat sont pris en charge par celui-ci de manière forfaitaire. Dans les deux départements étudiés, les GDS recevaient également une aide financière du Conseil départemental : l'année précédant l'enquête, le GDS du département B avait reçu une enveloppe de 395 000 € (budget annuel total non précisé) et le GDS du département A, une enveloppe d'environ 82 000 € (sur un budget annuel de 1,5 millions €). Cette aide s'appliquait dans les deux cas à certaines analyses réalisées dans le cadre de plans de lutte ou de prévention mis en place par le GDS. Suite à l'entrée en vigueur de la loi de réorganisation territoriale (*Loi NOTRe*, 2015), la gestion des subventions allouées aux GDS est passée progressivement à une gestion régionale sur tout le territoire français. Au moment de l'enquête, les deux Conseils départementaux avaient conservé cette gestion grâce à une convention qu'ils avaient établie avec le Conseil régional de leur région respective. Le dossier de subvention du GDS était en cours de transmission du Conseil départemental au Conseil régional dans le département A. Cette transition était encore peu claire dans le département B.

Il existait dans les deux départements étudiés deux formules d'adhésion au GDS : une formule basique, et une formule plus complète, permettant d'avoir accès à l'ensemble des services que le GDS propose (département A) ou à une indemnisation plus importante par la caisse « coups durs » (département B). Les cotisations associées aux formules basiques étaient de 1,90 €/bovin/an dans le département A, et 2,70 €/bovin/an dans le département B. Celles associées aux formules complètes étaient de 3,21

€/bovin/an (département A) et 3,46 €/bovin/an (département B). Les formules complètes des deux départements avaient un contenu équivalent et étaient largement choisies par les adhérents.

Globalement, les offres des deux GDS étant similaires en termes de contenu et de coût, elles ne semblaient pas expliquer la différence observée de taux d'adhésion au GDS entre les deux départements : 69 % d'adhésion dans le département A et 99 % dans le département B (pourcentages d'élevages adhérents l'année précédant notre l'enquête).

c. Présence des OPA agréées

Certains groupements d'éleveurs et certaines OPA (centres d'insémination, coopératives agricoles, contrôles de performances, etc.) peuvent obtenir un agrément pour réaliser chez leurs adhérents un certain nombre d'interventions sanitaires préventives et leur délivrer des médicaments vétérinaires (*Article L5143-6, 2014*). Cette vente est réglementée et limitée aux médicaments vétérinaires à visée préventive (Ministère de l'Agriculture and Ministère de la Santé, 2011). En filière bovine, cela correspond aux antiparasitaires, vitamines et oligoéléments, médicaments de maîtrise du cycle œstral, modificateurs de flore intestinale, sérums et vaccins, qui représentent la majorité de l'arsenal thérapeutique vétérinaire (sont exclus de cette dérogation les antibiotiques et les anti-inflammatoires). Les structures concernées par cette dérogation doivent avoir obtenu un agrément auprès du préfet de la région où se trouve leur siège, après validation de leur dossier par une commission comprenant, en nombre égal, des représentants de l'Administration et des OPA, des vétérinaires et des pharmaciens. L'agrément doit être renouvelé tous les cinq ans. Il prévoit l'établissement obligatoire d'un programme sanitaire d'élevage (PSE) dans chaque élevage auquel des médicaments vétérinaires sont délivrés par le groupement. Ce PSE définit le champ d'action des vétérinaires sous contrat ou convention avec le groupement, en termes de vente de médicaments vétérinaires et d'intervention sanitaire. La structure agréée s'engage à effectuer au moins une visite par an dans les élevages concernés et à adapter son PSE à chaque élevage suivi (Direction générale de l'Alimentation, 2007).

Dans la région du département A, 19 OPA de la filière bovine possédaient un agrément, contre quatre dans la région du département B (données du Ministère de l'Agriculture, 2017). Il y avait donc une concurrence plus forte sur la vente de médicaments vétérinaires et le conseil sanitaire dans le département A. Cette concurrence s'illustrait particulièrement dans le département A à travers une OPA agréée qui s'était fortement développée : l'organisme de contrôle de performances. Le contrôle de performances rassemble le contrôle laitier et le contrôle de croissance. Il propose à la fois un relevé des performances de production et du conseil technico-économique en élevage, autour d'un large panel de problématiques (nutrition, environnement, etc.). Les données de performance récoltées sont utilisées à différentes fins. Les données d'élevage servent

notamment à suivre la production et à adapter la conduite d'élevage en fonction des résultats, selon les objectifs des éleveurs. Les données individuelles quant à elles servent à l'indexation des bovins reproducteurs, qui sont ensuite classés selon leurs performances et celles de leur descendance. Les mesures peuvent être faites sur le terrain par des agents de pesée en production laitière et allaitante, ou être récoltées de façon automatique par des robots de traite en production laitière.

Dans les deux départements étudiés, les organismes de contrôle de performances s'étaient regroupés avec ceux d'autres départements, afin de réaliser des économies d'échelle et de diversifier leur offre de service. L'organisme du département A avait opté pour un positionnement dans le domaine sanitaire, ce qui n'était pas le cas dans le département B, où l'organisme avait limité son offre au domaine technique.

2. Les maladies non réglementées sont au cœur des préoccupations sanitaires des éleveurs

La déclaration spontanée des événements sanitaires dans le cadre de la surveillance événementielle des maladies infectieuses chez les bovins est étroitement liée à la présence de mesures préventives dans les élevages pour les maladies non réglementées. En effet, ces mesures préventives s'accompagnent souvent d'un suivi renforcé des animaux, et donc d'une meilleure capacité des éleveurs à détecter et déclarer des événements sanitaires. En conséquence, en incitant les éleveurs à mettre en place des mesures préventives dans leur élevage, les vétérinaires et le GDS peuvent indirectement contribuer à améliorer le taux de déclaration des événements sanitaires, pour les maladies réglementées comme non réglementées. Les maladies infectieuses qui préoccupaient les éleveurs interrogés lors de notre enquête étaient essentiellement des maladies non réglementées (pour lesquelles il n'y avait ni dépistage ni déclaration obligatoires), notamment les infections digestives, respiratoires et abortives.

a. Les maladies abortives

Une grande partie des maladies infectieuses les plus courantes peut être diagnostiquée à l'occasion d'un avortement (ex. : BVD, fièvre Q, listériose, néosporose, etc.). L'attitude des éleveurs face à l'avortement est donc un bon indicateur de leur niveau d'engagement général dans la surveillance sanitaire. Les avortements sont des événements peu fréquents en général (taux d'avortement annuel moyen de 3 à 5 % en élevage laitier, au-delà de 42 jours de gestation) (Hovingh, 2009). Le risque d'avortement d'origine infectieuse est souvent considéré comme assez faible et la déclaration est rarement faite dès le premier avortement constaté. De plus, d'autres

facteurs pratiques ou techniques limitent la déclaration des avortements comme la difficulté de contention des vaches allaitantes lorsqu'elles sont au pré, ou l'absence de résultats positifs pour des analyses diagnostiques réalisées suite à des avortements, qui limite les recherches ultérieures (Bronner et al., 2014). Lorsqu'un ou plusieurs avortements sont susceptibles d'avoir été causés par une infection, les maladies abortives non réglementées et éventuellement la fièvre catarrhale ovine (FCO) (Pandolfi et al., 2018) sont les premières maladies suspectées d'en être la cause pour les éleveurs enquêtés. La brucellose bovine, au contraire, est associée à un risque de survenue très faible voire nul car la France en est officiellement indemne depuis 2005 et la plupart des éleveurs actuellement en exercice n'ont pas vécu ses effets lorsque la maladie était enzootique en France. Si la recherche brucellique sur avortement n'était pas obligatoire, elle serait rarement demandée par les éleveurs et les vétérinaires, et plutôt suite à une série d'avortements.

De plus, l'enquête a montré que tous les avortements survenus n'étaient pas considérés comme tels par les éleveurs, ce qui vient conforter les résultats d'une étude menée à ce sujet (Bronner et al., 2014). Pour un éleveur, une interruption de gestation est un avortement - et doit donc être déclarée - si elle intervient entre le 5^{ème} et le 8^{ème} (avant-dernier) mois de gestation. Quant aux mises-bas prématurées et aux naissances de veaux mort-nés ou mourant dans les premières 48h de vie, elles ne sont pas toujours considérées comme des avortements, alors qu'elles peuvent également être dues à des maladies abortives.

La recherche diagnostique pour des maladies abortives non réglementées intervient soit dès le premier avortement déclaré, soit après un ou plusieurs avortements déclarés, selon le contexte sanitaire de l'élevage et le niveau de risque perçu par l'éleveur, qui est fortement lié au type de production de l'élevage, comme nous le verrons plus loin.

En France, l'Observatoire et suivi des causes d'avortements chez les ruminants (dispositif Oscar) propose un protocole standardisé de diagnostic différentiel des avortements chez les bovins (Gache, 2018). Ce protocole vise à améliorer la déclaration des avortements car il inclut systématiquement la déclaration des avortements et la recherche de *Brucella*. Les deux départements étudiés ne faisaient pas partie de ce dispositif, mais le GDS de chaque département avait mis en place un dispositif spécifique similaire et prenait ainsi en charge les deux tiers des analyses réalisées suite à un avortement pour la recherche diagnostique des principales maladies abortives non réglementées (BVD, néosporose, fièvre Q).

b. Le cas particulier de la diarrhée virale bovine (BVD)

Une maladie insidieuse

La BVD est une maladie virale non réglementée ayant une expression clinique peu spécifique : troubles de la reproduction, baisse de performance laitière, retard de croissance et immunodépression se traduisant par une augmentation de la fréquence d'infections diverses, notamment par des agents pathogènes opportunistes.

Lorsqu'une femelle gestante est infectée, selon le moment de l'infection, elle peut donner naissance à un veau infecté permanent immunotolérant (IPI), fortement excréteur du virus durant toute sa vie sans jamais exprimer ni de signe clinique ni de réaction immunitaire liés à cette infection. La prévalence des veaux IPI dans les troupeaux français est de 0 à 2 % et celle des fœtus infectés (IPI et non-IPI) est de 8 à 20 % (site internet BVD Observatoire, page « BVD : la maladie – Épidémiologie »). Ce cas de figure est donc relativement rare mais le risque de contamination massive d'un troupeau du fait de la présence d'un seul IPI est élevé.

Un diagnostic clinique essentiellement lié aux avortements

Les signes cliniques de la BVD étant peu spécifiques, il n'est pas toujours facile pour les éleveurs de faire le lien entre la baisse de productivité et/ou d'immunité de leur troupeau et la circulation du virus de la BVD dans leur élevage. Le diagnostic de cette maladie en élevage est plus souvent réalisé à la faveur d'un avortement, signe plus spécifique que ceux évoqués précédemment.

Une maladie identifiée par la filière bovine comme une menace sérieuse

Un arrêté ministériel était en préparation au moment de l'enquête, pour renforcer la lutte contre la BVD en rendant obligatoire son dépistage en élevage. En attendant l'entrée en vigueur de cet arrêté, les GDS des deux départements étudiés ont communiqué auprès des éleveurs adhérents - sans pour autant mettre en place de plan collectif volontaire. Leur but était d'inciter les éleveurs à dépister systématiquement la BVD à la naissance et à l'introduction de bovins dans leur cheptel. Dans le Département B, le dépistage de la BVD lors d'un achat est obligatoire pour pouvoir bénéficier des aides financières du GDS de manière générale. Dans le Département A, ce dépistage est fortement recommandé sans être obligatoire. Cette mobilisation à grande échelle témoigne de l'importance accordée à la BVD par la filière bovine.

Dans les deux départements, les GDS prennent en charge les deux tiers des analyses de dépistage de la BVD et indemnisent les éleveurs pour l'élimination des bovins IPI. Ils proposent également une garantie officielle « non IPI » pour les bovins dont le statut a été vérifié par des analyses.

c. La paratuberculose

Une infection aux manifestations tardives

La paratuberculose est une maladie bactérienne, non réglementée, provoquant une dégradation rapide de l'état général et, le plus souvent, la mort de l'animal infecté en quelques semaines à quelques mois. Incurable, cette maladie conduit souvent à l'euthanasie de l'animal malade et donc à la perte totale de sa valeur économique. Les bovins s'infectent généralement lors de leurs premiers mois de vie, période pendant laquelle ils sont beaucoup plus réceptifs à l'infection. L'expression clinique apparaît à partir de deux ou trois ans, à l'occasion d'un premier vêlage ou d'un stress, et peut n'apparaître que bien plus tard dans la vie de l'animal. Les bovins asymptomatiques contribuent fortement à la diffusion de la maladie, même s'ils sont moins fortement excréteurs que les bovins malades.

Malgré les conséquences potentiellement graves, cette maladie est rarement identifiée comme une cause probable de troubles sanitaires dans l'élevage, car :

- Dans un troupeau infecté où la maladie est bien implantée, seuls 1 à 4 % des bovins présentent des signes cliniques spécifiques de la paratuberculose (très fort amaigrissement, diarrhée profuse sans fièvre). L'éleveur n'attribuera donc pas un coût élevé à une éventuelle infection de son troupeau par la paratuberculose.
- Dans cette même situation, 5 à 15 % des bovins du troupeau présenteront des signes non spécifiques de l'infection tels qu'une baisse de production ou d'immunité (augmentation de la fréquence d'autres maladies). L'éleveur n'associera donc pas ses pertes à la paratuberculose si un tel diagnostic n'est pas posé par le vétérinaire.

Dans les deux départements, les GDS prennent en charge les deux tiers des analyses de dépistage de la paratuberculose et indemnisent les éleveurs pour l'élimination des bovins dont les analyses sont positives. Les deux GDS ont aussi mis en place des garanties de cheptel en paratuberculose bovine, avec une prise en charge partielle des analyses réalisées pour l'obtention de cette garantie. Les cheptels sont alors qualifiés de « très probablement indemnes » lorsque les tests reviennent négatifs – l'absence totale d'animaux infectés dans le cheptel étant impossible à garantir de manière absolue du fait de la longue période de latence de l'infection.

d. Autres maladies infectieuses non réglementées

D'autres maladies ont été également évoquées lors de l'enquête parmi les préoccupations majeures des éleveurs. Il s'agit des maladies respiratoires et des diarrhées des veaux - qui impactent particulièrement les élevages bovins allaitants et engraisseurs stricts - ainsi que des boiteries. Ces différents troubles provoquent en élevage une baisse de production qui peut être importante, voire une perte de

production lorsque les diarrhées ou maladies respiratoires entraînent la mort des animaux malades. Selon leur fréquence dans les élevages et selon la valeur économique des animaux à risque, l'approche curative ou préventive est privilégiée. Lorsque ces troubles sont gérés de manière préventive, l'éleveur agit soit en réalisant une vaccination massive ou ciblée de son troupeau, soit en améliorant les conditions d'ambiance de son ou ses bâtiments d'élevage. Dans les deux départements enquêtés, le GDS a mis en place des audits de bâtiment pour prévenir ou lutter contre ces maladies, un service de parage préventif des boiteries, ainsi que des visites de conseil pour prévenir les problèmes de diarrhées des veaux. Il y a donc une concurrence potentielle entre GDS et vétérinaires autour de la gestion de ces problématiques.

3. Composition et fonctionnement du système d'acteurs étudié

a. Acteurs sanitaires et acteurs périphériques

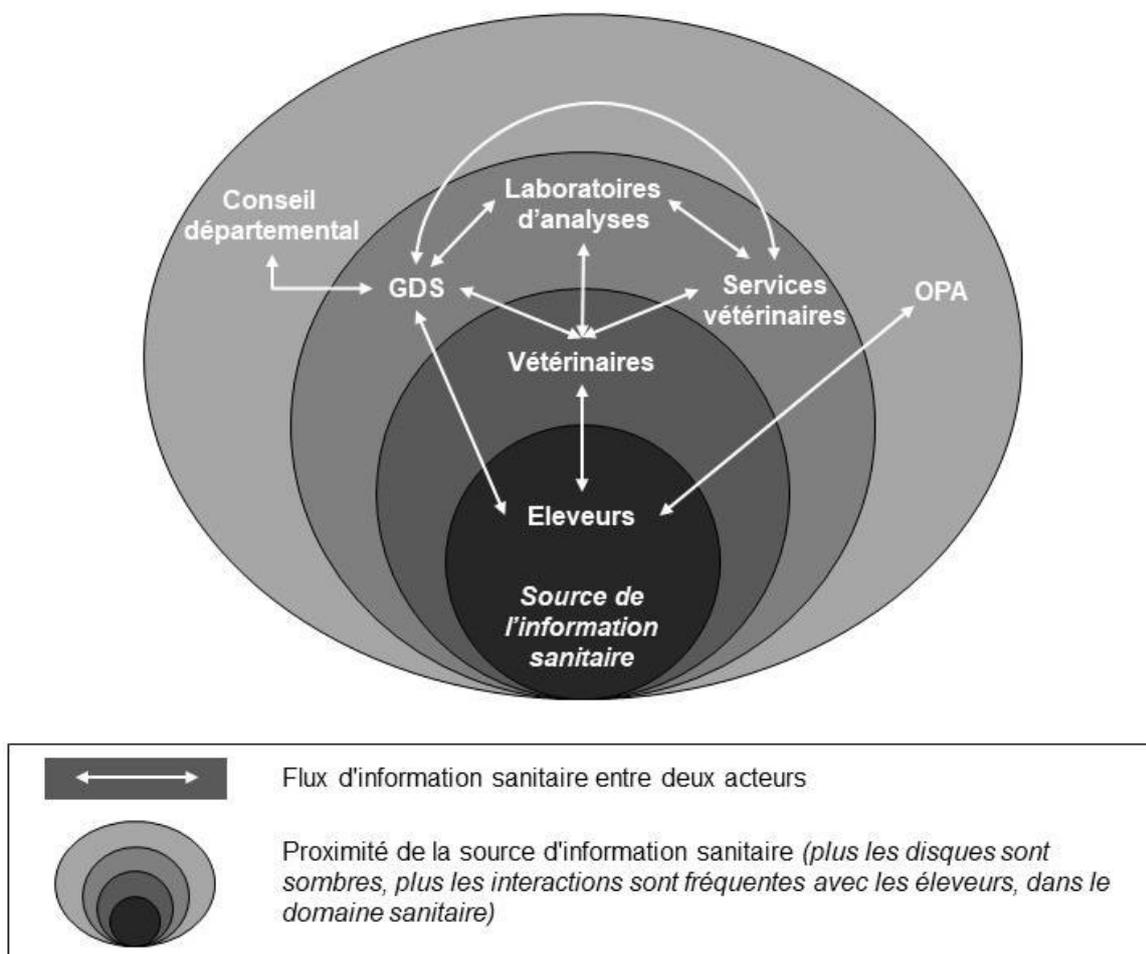
Nous avons défini deux types d'acteurs au sein du réseau départemental de surveillance sanitaire en filière bovine : les acteurs « sanitaires » et les acteurs « périphériques » (Figure 1). Les acteurs sanitaires sont directement impliqués dans la surveillance sanitaire, tandis que les acteurs périphériques y jouent un rôle occasionnel et/ou indirect.

Nous avons identifié cinq catégories d'acteurs sanitaires (Figure 1) : 1) les éleveurs, à la base du réseau car ils sont la source de l'information sanitaire. En ce qui concerne la déclaration des avortements, ce sont eux qui détectent les avortements et prennent la décision de faire appel à un vétérinaire. 2) Les vétérinaires ruraux, seconds acteurs clés de la chaîne d'information. Ils prennent, en concertation avec l'éleveur, la décision de déclarer l'avortement et de rechercher l'agent pathogène de la brucellose bovine. 3) Le GDS, qui organise les actions collectives de surveillance et de lutte contre les principales maladies d'élevage, et enregistre les informations sanitaires de ses élevages membres, ce qui permet d'avoir une vue d'ensemble de la situation du département. Le GDS définit des protocoles pour aider les éleveurs et les vétérinaires à mettre en œuvre des mesures à court et à long terme pour les maladies non réglementées. Il rembourse une partie des dépenses liées à l'application de ces protocoles, et coordonne un fond de solidarité permettant l'indemnisation de ses adhérents lors de pertes financières importantes dues à des maladies. 4) Les services vétérinaires (au sein de la DD(CS)PP) sont responsables de la supervision administrative du GDS en ce qui concerne les maladies réglementées. Ils contrôlent que les mesures obligatoires soient effectivement mises en œuvre et interviennent dès qu'une irrégularité est constatée par le GDS. 5) Le laboratoire départemental d'analyses vétérinaires réalise les analyses de diagnostic et

de dépistage des maladies réglementées et non réglementées. Dans certains départements, comme le département A, des laboratoires d'analyses privés liés aux cliniques peuvent également réaliser des analyses pour les maladies non réglementées.

Nous avons également identifié deux catégories d'acteurs périphériques (Figure 1) : 1) les OPA, associations d'éleveurs qui mutualisent les dépenses de matériel et/ou de services, comme le conseil technique. Elles peuvent également offrir un service de conseil sanitaire lorsqu'elles sont autorisées à vendre des médicaments vétérinaires à usage préventif (Ministère de l'Agriculture and Ministère de la Santé, 2011), comme c'est le cas pour le contrôle de performances du département A. 2) Le Conseil départemental qui accordait dans les deux départements de notre enquête une subvention annuelle au GDS, couvrant une partie des analyses réalisées dans le cadre de leurs protocoles - une façon indirecte d'offrir également un soutien financier au laboratoire départemental d'analyses vétérinaires.

Figure 1 Les flux d'information sont nombreux entre les sept catégories d'acteurs impliqués dans la surveillance sanitaire bovine au niveau départemental.
 (GDS : Groupement de défense sanitaire ; OPA : Organisations professionnelles agricoles)



b. Flux d'information entre les acteurs sanitaires

Le réseau d'acteurs sanitaires est composé des producteurs d'information (vétérinaires et laboratoires d'analyses), des récepteurs d'information (services vétérinaires et GDS) et des éleveurs qui fournissent la matière nécessaire à la production d'information.

Il existe deux types d'information sanitaire : 1) les résultats d'analyse, produits par les laboratoires d'analyses ; 2) les diagnostics, produits par les vétérinaires. Les résultats d'analyse sont les seules informations sanitaires systématiquement transmises hors du colloque singulier entre l'éleveur et le vétérinaire : les laboratoires d'analyses disposent de tous les résultats des analyses qu'ils réalisent, et en envoient systématiquement une copie au vétérinaire prescripteur de l'analyse, à l'éleveur pour qui l'analyse a été réalisée (par courrier ou par E-mail), ainsi qu'au GDS lorsque l'éleveur y est adhérent (*via* un système d'information numérique partagé entre les laboratoires et le GDS). Ils envoient également une copie des résultats aux services vétérinaires pour les maladies réglementées (également *via* un système d'information numérique partagé). Les laboratoires d'analyses, les services vétérinaires et le GDS ne dépendent donc pas des éleveurs et des vétérinaires pour accéder aux résultats des analyses. Mais ils dépendent d'eux pour la production de ces informations : les vétérinaires prescrivent les analyses et réalisent les prélèvements, et les éleveurs, en tant que financeurs (en dehors des situations de suspicion de maladie réglementée, lors desquelles l'État prend en charge les analyses), prennent la décision finale de demander ou non les analyses.

c. Acteurs sanitaires « de terrain » versus « de vue d'ensemble »

Nous avons déterminé deux types d'acteurs sanitaires, selon la nature des informations dont ils disposent : 1) les acteurs de terrain, qui disposent d'informations précises sur un nombre limité d'élevages (vétérinaires, éleveurs) ; 2) les acteurs de vue d'ensemble, qui disposent d'informations limitées sur un grand nombre d'élevages (laboratoires d'analyses, services vétérinaires et GDS) (Tableau 2). Les acteurs de vue d'ensemble ont accès au statut sanitaire d'un grand nombre d'élevages concernant plusieurs maladies infectieuses. Les laboratoires d'analyses connaissent le statut de tous les élevages pour lesquelles ils ont réalisé des analyses, concernant toutes les maladies recherchées. Les services vétérinaires connaissent le statut de tous les élevages du département concernant les maladies réglementées. Le GDS a également accès à ces informations et connaît en plus le statut de tous ses membres concernant les maladies non réglementées qui ont été recherchées. Les vétérinaires et les éleveurs, acteurs de terrain, disposent d'informations précises et diverses sur la situation d'un échantillon plus restreint d'élevages : les élevages de leur clientèle pour les vétérinaires et leur propre élevage pour les éleveurs.

Ces deux types d'acteurs sanitaires jouent un rôle complémentaire dans le réseau et dépendent l'un de l'autre pour avoir un accès complet à l'information sanitaire. En effet, les éleveurs et les vétérinaires sont indispensables pour que les autres acteurs aient accès à des informations plus précises, par exemple sur le risque d'apparition de maladies spécifiques dans certains élevages ou sur le diagnostic associé aux analyses douteuses, qui nécessitent tous deux une bonne connaissance des pratiques des éleveurs et de la situation globale des élevages (Figure 2). En effet, comme indiqué au paragraphe précédent, les résultats d'analyse sont les seules informations dont disposent les laboratoires d'analyses, les services vétérinaires et le GDS. Il s'agit d'une information partielle, qui nécessite parfois des éléments complémentaires pour éclairer les décisions des acteurs. D'autre part, les vétérinaires et les éleveurs peuvent éclairer leurs propres décisions grâce aux informations globales qu'ils peuvent obtenir des acteurs de vue d'ensemble. Par exemple, en connaissant l'estimation du pourcentage local d'élevages infectés par une maladie donnée, les vétérinaires peuvent orienter leur diagnostic différentiel (i.e. leur réflexion sur la ou les maladies à suspecter en premier lieu en présence d'un ou plusieurs symptômes) et les éleveurs peuvent décider de mettre en œuvre des mesures préventives spécifiques dans leur élevage.

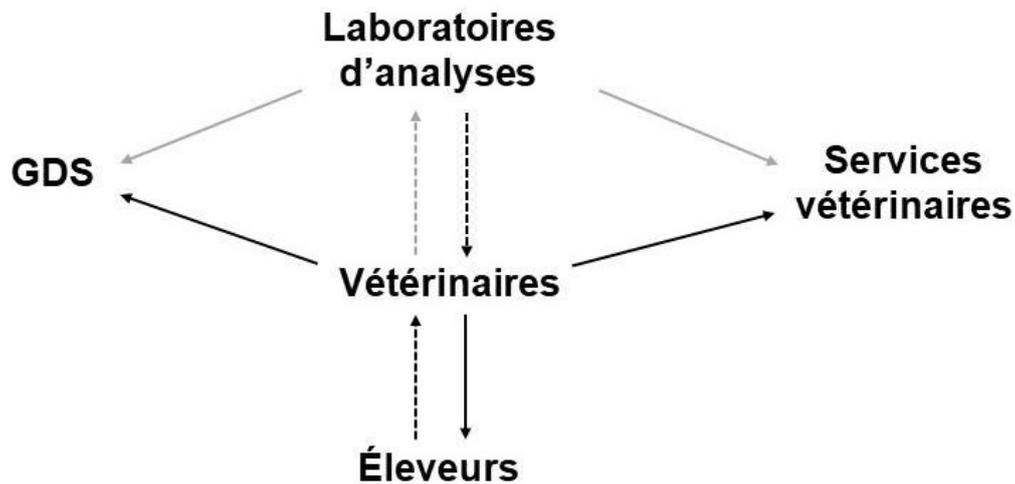
Tableau 2. Nature des informations disponibles pour chaque acteur sanitaire.

Ce tableau met en évidence deux types d'acteurs sanitaires : 1) les acteurs de terrain (en gras) ; 2) les acteurs de vue d'ensemble (en police normale).

| Les acteurs sanitaires | Informations systématiquement disponibles | Elevages concernés |
|---------------------------------------|--|---|
| Vétérinaires | Résultats des analyses demandées, diagnostic | Élevages de la clientèle |
| Éleveurs | Résultats des analyses demandées, avec diagnostic | Propre élevage |
| Services vétérinaires départementaux | Résultats des analyses pour les maladies réglementées, sans diagnostic | Tous les élevages du département |
| Laboratoires d'analyses | Résultats des analyses réalisées, sans diagnostic | Tous les élevages du département |
| Groupement de défense sanitaire (GDS) | Résultats des analyses demandées par les vétérinaires, sans diagnostic | Adhérents du GDS (et tous les élevages du département pour les maladies réglementées) |

Figure 2. Flux de ressources et d'information sur le statut sanitaire des élevages, entre les acteurs sanitaires.

Ce schéma montre trois rôles principaux : 1) la production d'information (laboratoires d'analyses, vétérinaires) ; 2) la réception et le traitement de l'information (groupement de défense sanitaire (GDS), services vétérinaires) ; 3) la transmission des ressources nécessaires à la production d'information (éleveurs, vétérinaires, laboratoires d'analyses).



-----> Flux de ressources (échantillons, résultats d'analyse, informations sur les pratiques des éleveurs et la situation des élevages).

————> Flux d'information sur le statut sanitaire des élevages concernant les maladies infectieuses (résultats d'analyse, diagnostics).

En gris : Les résultats d'analyse (information) sont produits par les laboratoires d'analyses à partir des échantillons qu'ils reçoivent (ressources).

En noir : Les diagnostics (information) sont établis par les vétérinaires à partir des résultats d'analyse et des informations dont ils disposent sur les pratiques et la situation sanitaire des élevages de leur clientèle (ressources).

4. Les sources de motivation pour la déclaration spontanée des événements sanitaires

Il existe deux catégories de mesures sanitaires en élevage : curatives et préventives. Les mesures curatives consistent le plus souvent en une approche individuelle : lorsqu'un ou plusieurs bovins sont malades, ils sont traités et, si nécessaire, les animaux à risque du même troupeau (en contact étroit avec les bovins malades ou exposés au danger identifié) sont également traités. Par opposition aux mesures curatives, les mesures préventives consistent plus souvent en une approche populationnelle, qui produit intrinsèquement plus d'informations collectives, donc plus d'informations sur les statuts sanitaires des élevages. Les mesures préventives peuvent être divisées en deux catégories : 1) le dépistage de maladies spécifiques, soit de manière régulière (ex. : en parallèle de la campagne de surveillance programmée obligatoire des maladies réglementées), soit de manière occasionnelle, lorsqu'une situation est associée à un risque d'infection plus élevé (ex. : achat d'un bovin) ou lorsqu'un symptôme ou un ensemble de symptômes conduit à suspecter la maladie (ex. : avortements conduisant à suspecter une maladie infectieuse abortive) ; 2) les mesures de prophylaxie médicale et sanitaire visant à prévenir l'infection des bovins. La première catégorie de mesures préventives produit les données nécessaires à la surveillance, tant pour les maladies réglementées que pour les maladies non réglementées, car plus le dépistage est important, plus la situation sanitaire locale est connue avec précision.

Comme souligné au début des résultats, parmi les maladies infectieuses, les principales préoccupations des éleveurs de bovins interrogés dans le cadre de cette étude concernaient les maladies non réglementées. Certaines mesures préventives sont communes à plusieurs maladies, réglementées et non réglementées, et peuvent fournir des informations sur l'état sanitaire des élevages concernant les maladies réglementées. Par exemple, lorsqu'un avortement est déclaré, un échantillon de sang est prélevé sur le bovin ayant avorté pour rechercher la bactérie responsable de la brucellose bovine et le même échantillon peut être utilisé pour rechercher d'autres maladies abortives non réglementées et plus fréquentes (ex. : fièvre Q, BVD, néosporose, etc.). Les éleveurs auront donc intérêt à déclarer un avortement s'ils veulent rechercher des maladies non réglementées et bénéficier d'une visite vétérinaire à la charge de l'État, ou d'une aide financière du GDS (qui n'est possible que si l'avortement a été déclaré). En outre, les approches préventives favorisent également des flux d'information spécifique entre les vétérinaires et les éleveurs (Figure 4).

5. Relations spécifiques entre les acteurs sanitaires

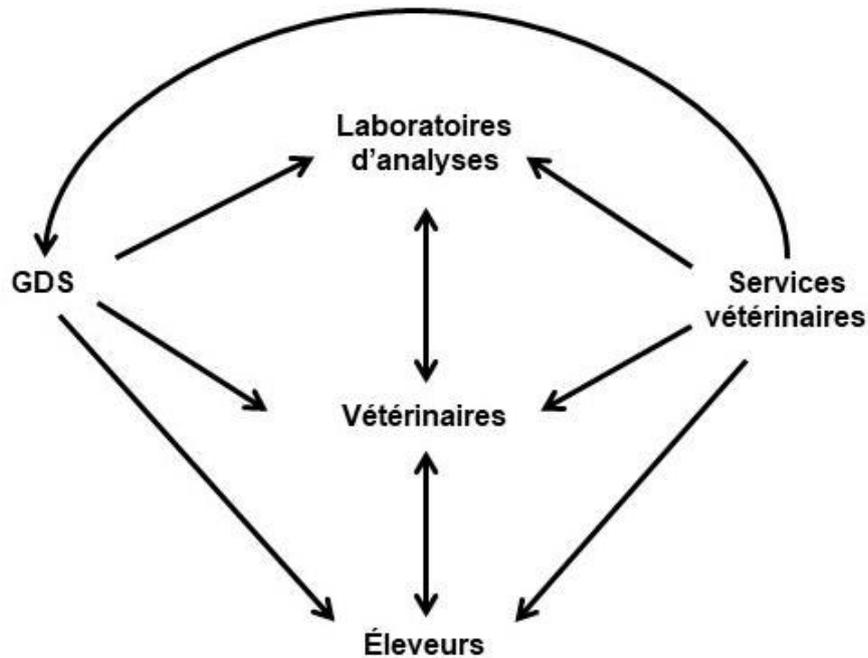
a. Le vétérinaire est un acteur clé du réseau sanitaire

Nos résultats montrent que les vétérinaires ont une position centrale dans le réseau : ils sont le point de passage obligatoire par lequel transitent la plupart des informations sanitaires. Cela est dû à leur (quasi-) monopole sur trois ressources clés : 1) l'accès direct aux éleveurs et donc à l'information sur leurs pratiques et sur l'état sanitaire de leur troupeau pour les maladies infectieuses et non infectieuses (Figure 2) ; 2) la vente de médicaments vétérinaires, qui rend les vétérinaires indispensables à l'approvisionnement des éleveurs, notamment en médicaments vétérinaires à usage curatif qu'aucun autre acteur sanitaire n'est habilité à vendre ; 3) l'expertise vétérinaire, qui rend les vétérinaires indispensables à la production d'information sanitaire, *via* la prescription d'analyses et le diagnostic (Figure 2).

Quatre des six autres catégories d'acteurs – telles que définies dans le paragraphe de résultats sur la composition du réseau d'acteurs – dépendent directement des vétérinaires pour leur propre activité de surveillance sanitaire (Figure 3) : 1) les laboratoires d'analyses tirent une grande partie de leurs revenus des demandes d'analyses faites par les vétérinaires, à des fins de diagnostic ou de dépistage ; 2) les éleveurs dépendent des vétérinaires pour établir des diagnostics et identifier les solutions adaptées aux problèmes zootechniques et sanitaires auxquels ils sont confrontés ; 3) le GDS dépend également des vétérinaires pour avoir un suivi plus étroit des adhérents et un accès aux non-adhérents, ainsi que pour mettre en œuvre leurs plans sanitaires collectifs, car les éleveurs suivent le plus souvent les recommandations de leur vétérinaire ; 4) les services vétérinaires départementaux quant à eux s'appuient sur les vétérinaires pour appliquer les mesures officielles de surveillance programmée et de police sanitaire.

« On n'est que douze personnes [dans le service] et on a [environ] 6000 élevages [dans le département] : on n'est rien nous. Donc nos yeux et nos oreilles c'est les vétos. » DD(CS)PP

Figure 3. Interdépendances des activités entre les acteurs sanitaires : le vétérinaire est un acteur clé.



| | |
|-------|--|
| A → B | A dépend de B pour son activité. |
| A ↔ B | A et B dépendent l'un de l'autre pour leurs activités respectives. |

Pour conclure sur le rôle clé des vétérinaires, bien qu'ils ne constituent pas le passage obligé des autres acteurs sanitaires pour accéder à l'information sur le statut sanitaire des élevages vis-à-vis des maladies infectieuses, ils restent indispensables pour : 1) la production de ces informations (avec les éleveurs qui appellent les vétérinaires et acceptent ou non la recherche de maladies dans leur troupeau) ; 2) l'accès à des informations complémentaires sur les pratiques des éleveurs ; 3) l'accès aux informations concernant les maladies non infectieuses et les situations sanitaires préoccupantes lorsqu'aucune analyse n'a été réalisée ; 4) la mise en œuvre dans les élevages des mesures nécessitant des actes vétérinaires. Cette place centrale implique que l'action des vétérinaires influence largement les comportements des autres acteurs en matière de surveillance sanitaire bovine en général, et de maladies infectieuses réglementées plus spécifiquement.

b. La co-opétition entre les vétérinaires et le GDS

Le statut de référent sanitaire dans les élevages est contesté entre les vétérinaires et le GDS. Malgré leur place centrale dans le réseau, les vétérinaires sont prêts à collaborer avec d'autres acteurs lorsqu'ils ont un intérêt à le faire. Une telle collaboration a été observée avec le GDS dans les deux départements étudiés. En effet, les GDS disposent d'un outil informatique qui permet le suivi des troupeaux. Ils l'utilisent pour enregistrer par exemple leurs rapports de visite, la clinique vétérinaire référente de chaque ferme, les résultats d'analyse (envoyés de manière informatique par les laboratoires) et les statuts sanitaires des animaux et des troupeaux, pour toutes les maladies d'intérêt dans les troupeaux adhérents et pour les maladies réglementées dans tous les troupeaux du département. Dans les départements A et B, un échange implicite s'était mis en place entre les vétérinaires et le GDS autour de cet outil : le transfert de compétence des vétérinaires vers le GDS pour le suivi administratif des troupeaux. Le plus souvent, les vétérinaires n'étaient pas en mesure d'organiser le suivi des troupeaux de leur clientèle, faute de temps et de moyens logistiques. Une collaboration avec le GDS était donc intéressante pour eux lorsqu'ils souhaitaient mettre en place des plans de lutte à moyen ou long terme dans les troupeaux, comme le dépistage répété d'une maladie contagieuse sur une période donnée, ou la vaccination ou le traitement des animaux en fonction de leur statut sanitaire et de l'évolution de ces statuts, etc. Le GDS avait dans sa base de données le statut de chaque bovin des troupeaux suivis, vis-à-vis du dépistage, de la vaccination ou du traitement (actes réalisés ou non, résultats des analyses le cas échéant). Le GDS pouvait alors coordonner la mise en place des plans de lutte avec les éleveurs et les vétérinaires, lorsqu'il recevait du laboratoire des résultats positifs, et transmettre aux vétérinaires la liste des animaux à dépister, vacciner ou traiter lors de leurs visites. Le GDS trouvait également un intérêt à cette collaboration car il bénéficiait de l'expertise des vétérinaires dans la mise en œuvre des plans de lutte en élevage, notamment lorsque des actes vétérinaires étaient nécessaires (ex. : prélèvements de sang).

Comme mentionné dans le paragraphe de résultats décrivant les flux d'information, le GDS reçoit systématiquement des laboratoires d'analyses tous les résultats d'analyse de ses membres. Dans les deux départements A et B, les vétérinaires étaient préoccupés par ce large accès du GDS à l'information sanitaire des élevages adhérents, qui constitue une ressource essentielle pour tout acteur souhaitant offrir un conseil et un suivi sanitaire aux éleveurs. Ce conflit s'illustre dans des situations où le GDS avait contacté les éleveurs avant les vétérinaires pour établir un plan sanitaire dans leur élevage après avoir reçu un résultat positif du laboratoire d'analyses.

Ainsi, tant les vétérinaires que le GDS souhaitaient être le référent des éleveurs en matière de questions sanitaires et de suivi de troupeau pour les mesures de prévention et de maîtrise des maladies. Cet aspect apportait une ambivalence à leur relation, qui pourrait être qualifiée de « co-opétition » pour « coopération » et « compétition » (Brandenburger and Nalebuff, 1996).

Même si les vétérinaires protègent leur position dominante dans le réseau sanitaire, cette co-opération avec le GDS ne conduit pas à des conflits ouverts car l'intérêt des vétérinaires à collaborer avec le GDS reste supérieur, notamment pour 1) la mise en place et le suivi des plans de lutte au sein des troupeaux adhérents au GDS, 2) la prise en charge partielle des analyses réalisées dans le cadre de plans de lutte, et 3) la vision plus large du GDS sur la situation sanitaire locale. En effet, les vétérinaires, quel que soit le type de structure dans lequel ils exercent, trouvent un intérêt dans l'information sur la situation sanitaire du voisinage de leur clientèle, qui constitue une aide au diagnostic. Ils trouvent également un intérêt dans la prise en charge des analyses, qui encourage les éleveurs à mettre en place des plans de lutte, et génère ainsi de l'activité vétérinaire. En ce qui concerne la mise en place et le suivi des plans de lutte par le GDS, la plupart des cliniques vétérinaires classiques y trouvent un fort intérêt, car elles n'ont pas la logistique nécessaire à ces activités, qui par ailleurs ne sont pas ou peu rentables pour elles. Les grandes cliniques du département A avaient les outils informatiques leur permettant d'effectuer elles-mêmes le suivi des troupeaux, mais cette activité restait peu rentable. Quant aux cliniques vétérinaires du département B qui avaient organisé leur activité autour du suivi de troupeau (cf. modèle idéaltypique préventif décrit dans la suite des résultats), les vétérinaires de ces cliniques avaient une position de référents sanitaires plus affirmée et plus stable auprès des éleveurs, qui était donc moins menacée par le GDS. Ces vétérinaires étaient par conséquent plus susceptibles de contribuer au développement des activités du GDS.

Cette coopération ambivalente entre le GDS et les vétérinaires peut être poussée plus loin vers une extrémité ou l'autre, selon le contexte économique. Par exemple, si les vétérinaires subissent une forte concurrence sur la vente de médicaments vétérinaires et le conseil sanitaire par les OPA agréées (décrites au début des résultats), ils peuvent avoir besoin de s'affirmer plus fortement comme le référent sanitaire dans les élevages de leur clientèle, au détriment du GDS. Et ce phénomène peut être intensifié dans une situation où le GDS est déjà faible (i.e. avec un faible taux d'adhésion), comme dans le département A. Par ailleurs, le GDS étant principalement impliqué dans les mesures de surveillance et de prévention, une concurrence plus forte entre cet acteur et les vétérinaires pourrait mécaniquement diminuer la production de données pour la surveillance sanitaire pour deux raisons. 1) S'ils collaborent moins, le taux d'adhésion au GDS pourrait diminuer, car un plus grand nombre d'éleveurs s'en remettront exclusivement à leurs vétérinaires pour la mise en œuvre des plans sanitaires. Par conséquent, la surveillance de l'état sanitaire du département par le GDS (par le biais de la surveillance du statut des membres) pourrait être réduite. 2) Cela pourrait encourager les vétérinaires à privilégier l'approche curative ou des mesures préventives de moindre envergure qui peuvent être traitées sans l'intervention du GDS, favorisant ainsi les interventions qui produisent moins d'information pour la surveillance.

Malgré les similitudes observées dans les deux départements concernant les positions des vétérinaires et du GDS, nous avons observé des ordres locaux différents dans chaque département, avec des configurations d'acteurs contrastées et conduisant à des échanges d'information sanitaire de nature, de fluidité et d'intensité différentes dans

chaque département. Ces configurations sont donc associées à des niveaux différents de contribution du réseau d'acteurs à la surveillance sanitaire. Sur la base de notre analyse des deux ordres locaux observés, nous avons construit les deux modèles idéaltypiques décrits ci-dessous.

6. Deux modèles de la surveillance sanitaire : « pro-curatif » et « pro-préventif »

Notre analyse a abouti à la construction de deux modèles idéaltypiques contrastés : 1) un modèle pro-curatif dans le département A, où les vétérinaires étaient confrontés à une forte concurrence sur la vente du médicament vétérinaire par les OPA agréées. Dans une telle configuration d'acteurs, la position de force des vétérinaires est fragilisée, et pour la conserver ces derniers favorisent les activités les plus rentables - la vente de médicaments vétérinaires et la réalisation d'actes curatifs – ce qui génère une information sanitaire individuelle et tardive, peu utile à la surveillance sanitaire globale. 2) Un modèle pro-préventif dans le département B, où la présence des OPA dans le domaine sanitaire était très faible et où une proportion importante des cliniques vétérinaires avait réorganisé son activité autour du suivi de troupeau et de l'approche sanitaire préventive en élevage. Dans une telle configuration d'acteurs, la position de force des vétérinaires est relativement stable et leur équilibre économique n'est pas menacé par la concurrence existante ou potentielle. De plus, l'approche préventive en élevage génère une information sanitaire collective et précoce, qui alimente la surveillance sanitaire globale.

a. Département A : un modèle pro-curatif

Dans le département A, il y avait une forte concurrence sur la vente de médicaments vétérinaires et le conseil sanitaire : un grand nombre d'OPA agréées offraient également ces services (entre autres) aux éleveurs du département (Figure 4). Une OPA agréée en particulier s'est développée pour former aujourd'hui un grand groupe, présent dans plusieurs départements et offrant une large gamme de services, qui constituent autant d'entrées possibles pour atteindre de nouveaux clients. Les médicaments vétérinaires à usage préventif que les OPA agréées sont autorisées à vendre (Ministère de l'Agriculture and Ministère de la Santé, 2011) représentent une grande partie du volume des ventes des vétérinaires car ils sont souvent administrés de manière régulière et/ou à un grand nombre d'animaux (ex. : antiparasitaires, vaccins). Cette concurrence a provoqué une réorganisation des cliniques vétérinaires en cliniques plus conséquentes (par la collaboration d'un grand nombre de vétérinaires au sein d'une même clinique) et

en groupements de cliniques (par la mutualisation entre cliniques de l'expertise vétérinaire et le regroupement des achats de matériel et de médicaments vétérinaires). Cette réorganisation a permis aux vétérinaires de répondre à la concurrence en maintenant des prix compétitifs pour le médicament vétérinaire et en augmentant leur offre de service aux éleveurs, notamment l'offre d'analyses, avec le développement de laboratoires d'analyses privés rattachés aux structures vétérinaires, et l'offre de suivi de troupeau (ex. : suivi de la reproduction, plans de lutte pour les problèmes de diarrhée des veaux, pour les problèmes de boiterie des vaches, etc.). Les vétérinaires des grandes cliniques et des groupements de cliniques ont pu libérer du temps pour réaliser des visites de suivi et ont développé une logistique pour assurer le suivi administratif des animaux de leur clientèle. Cette réponse apportée par les vétérinaires à la concurrence des OPA sur la vente du médicament vétérinaire a donc eu pour effet d'augmenter leur indépendance par rapport au GDS car, comme expliqué dans le paragraphe précédent, le principal intérêt des vétérinaires à collaborer avec le GDS est le transfert de compétences pour la mise en place et le suivi des plans de lutte au sein des troupeaux adhérents.

Malgré cette réorganisation des cliniques vétérinaires, leur viabilité économique dépendait encore principalement des ventes de médicaments vétérinaires et des actes vétérinaires. En effet, les vétérinaires n'ont pu trouver aucune forme de contrat avec les éleveurs qui garantirait la pérennité du service de conseil. Ils étaient confrontés à deux défis : 1) disposer d'une activité de conseil suffisante pour assurer un revenu substantiel ; 2) proposer une offre contractuelle adaptée à tous les élevages d'une même clientèle, qui peuvent avoir des profils très différents en termes de pratiques, de production, de taille, de besoins, etc. En outre, en raison de la pression de la concurrence sur la vente de médicaments vétérinaires, la proximité avec les éleveurs était importante pour les vétérinaires afin de conserver leur position centrale. Cela les a incités à se concentrer sur leur activité principale : les interventions curatives dans les élevages.

« Ça ne te fait jamais plaisir de voir que tes gros clients prennent des médicaments ailleurs que chez toi. Surtout quand le modèle actuel de la rurale c'est 80 % de médicaments et 20 % d'actes ou 70 / 30 %. Et le modèle il est comme ça donc il faut aussi qu'on vende du médicament. Alors tu peux toujours dire il faut vendre du conseil, [...] etc. OK mais t'arriveras jamais au même revenu. » Vétérinaire, département A

Pour les vétérinaires, l'approche curative était principalement associée à deux activités : la réalisation d'actes vétérinaires et la vente de médicaments vétérinaires à usage curatif. L'approche curative était mécaniquement privilégiée en clinique classique, dans les cabinets isolés comme dans les grandes cliniques et les groupements de cliniques, pour deux raisons : 1) les activités associées à cette approche étaient plus rentables que celles associées à l'approche préventive dans le modèle économique classique ; 2) les vétérinaires détenaient un monopole sur la réalisation des actes médicaux vétérinaires, la vente de médicaments vétérinaires à usage curatif et l'accès privilégié aux éleveurs de leur clientèle. Favoriser l'approche curative renforçait ce monopole.

Par ailleurs, les élevages avaient un taux d'adhésion au GDS limité dans le département A (69 %). Les vétérinaires avaient donc un avantage sur le GDS en ce qui concerne leur positionnement en tant que référents sanitaires des éleveurs. Privilégier les interventions curatives individuelles pouvait maintenir cet avantage car le GDS ne couvrait pas cette activité (son rôle principal étant la mise en œuvre des mesures collectives de prévention et de lutte contre les maladies infectieuses en élevage). De plus, les possibilités de transfert de compétences des vétérinaires vers le GDS pour la mise en place et le suivi de plans de lutte dans les troupeaux de leur clientèle étaient limitées du fait de ce taux d'adhésion.

Dans la plupart des cas, l'échange d'information entre les vétérinaires et les éleveurs du département A était restreint au cadre classique d'une relation de type médecin-patient, appelée "colloque singulier"³ (Figure 4). De manière générale, les vétérinaires n'encourageaient pas particulièrement un transfert de compétences aux éleveurs, comme la formation aux premiers soins pour qu'ils puissent traiter eux-mêmes les cas simples, ou l'information sur les maladies les plus présentes et les plus problématiques localement, sur leurs critères d'identification, sur le comportement à adopter lorsque l'éleveur suspecte un cas dans son troupeau, etc. Ce type de relation maintient une forte asymétrie des compétences entre les vétérinaires et les éleveurs, ce qui renforce le monopole des vétérinaires car les éleveurs dépendent davantage d'eux.

L'approche majoritairement curative et le maintien du colloque singulier éleveur-vétérinaire provoquent une perte d'information pour la surveillance sanitaire. Dans un colloque singulier construit autour d'une approche curative, les éleveurs n'augmentent pas leur compétence pour identifier les maladies d'intérêt pour la surveillance sanitaire, et ne sont pas collectivement encouragés à être réactifs pour la détection et le traitement des cas suspects : ils restent des exécutants, dans la mesure où ils ne sont pas proactifs dans la génération de l'information. Les informations sanitaires produites dans un tel contexte sont limitées et/ou retardées : les vétérinaires produisent principalement des informations après être intervenus sur un cas clinique, ce qui inclut le retard de détection des éleveurs et se limite au cas concerné par l'intervention. Si, après une telle intervention, un dépistage du troupeau est réalisé, l'information générée est moins précoce que si la maladie était recherchée avant toute expression clinique marquée, donc de manière préventive, sur la base de la situation sanitaire locale ou des premiers signes d'alerte détectés par l'éleveur (comme les avortements pour la brucellose bovine, la fièvre Q ou la BVD). Par ailleurs, les informations produites dans ce contexte ne permettent pas d'avoir une vue d'ensemble de la situation sanitaire à l'échelle locale ou départementale. En effet, les vétérinaires sont des acteurs de terrain qui transmettent des ressources (des échantillons et des hypothèses diagnostiques) aux laboratoires d'analyses pour la production d'une information collective (état sanitaire des animaux, des troupeaux, des zones) qui est transmise aux autres acteurs de vue d'ensemble (le GDS et les services vétérinaires départementaux) (Figures 1 et 2). Dans le cadre d'une

³ Le « colloque singulier » désigne la relation de confiance entre un patient et son médecin, protégée par le secret médical.

approche curative, la priorité des vétérinaires et des éleveurs est de traiter les animaux présentant des symptômes et pas nécessairement de produire un diagnostic précis, en multipliant potentiellement les analyses diagnostiques : la chaîne d'information est ainsi arrêtée au niveau du terrain sans générer d'information collective, et ne contribue donc pas à la surveillance sanitaire à l'échelle départementale. Dans le modèle pro-curatif, la place centrale du colloque singulier fait donc obstacle à la constitution d'un réseau d'échange d'information.

L'approche curative étant privilégiée dans le département A, les vétérinaires non seulement produisent moins mais ont également besoin de moins d'informations collectives pour leur activité, ce qui les rend plus indépendants des acteurs de vue d'ensemble. Cela peut expliquer les relations distantes au sein du "trépied sanitaire" pour les maladies réglementées, formé par les vétérinaires, le GDS et les services vétérinaires (Figure 4). En effet, nous avons également observé dans le département A qu'il y avait peu d'interactions entre ces trois acteurs tous ensemble en dehors des crises, même s'ils avaient le plus souvent des interlocuteurs identifiés dans chaque organisation. Cela peut également rendre la transmission d'information pour la surveillance moins facile ou moins efficace.

En conclusion, le modèle pro-curatif place au centre du système d'acteurs le colloque singulier éleveur-vétérinaire et favorise la réalisation d'actes curatifs et la vente de médicaments vétérinaires à usage curatif en élevage, ce qui constitue un obstacle pour : 1) la genèse d'informations sanitaires collectives et précoces, provoquant une perte d'information pour la surveillance sanitaire ; 2) la constitution d'un réseau d'échange d'information, limitant la circulation de l'information sanitaire au sein du système d'acteurs.

b. Département B : un modèle pro-préventif

Dans le département B, nous avons observé une forme d'organisation qui n'existait pas dans le département A : les groupements vétérinaires conventionnés (GVC). Les GVC sont une association entre une clinique vétérinaire et un collectif de clients éleveurs. Dans les GVC, les vétérinaires conservent leur statut libéral, mais leur organisation permet des interactions collectives avec leur clientèle, qui sont rares dans le cabinet privé classique. Au sein d'un GVC, la clinique propose un forfait annuel au collectif d'éleveurs, moyennant une cotisation annuelle qui est fixée par animal. Chaque année, la cotisation annuelle et le contenu du forfait annuel sont décidés conjointement par la clinique et le collectif d'éleveurs : ce système repose sur une collaboration entre les vétérinaires et les éleveurs. Le suivi de troupeau et les interventions préventives, qui constituent les principales activités des GVC, sont inclus dans le forfait annuel, de même que les interventions curatives fréquentes et/ou peu techniques. La vente de médicaments vétérinaires et les interventions curatives plus complexes et plus

ponctuelles sont facturées comme des frais supplémentaires. Il y a également un important transfert de compétences des vétérinaires vers les éleveurs au sein d'un GVC. Ce transfert consiste essentiellement en une formation sur les soins primaires pour les cas simples (ex. : le traitement d'un cas de diarrhée légère ou d'hyperthermie, les principaux paramètres physiques à vérifier avant d'appeler un vétérinaire lorsque l'état d'un animal se détériore, etc.), l'identification des principales maladies infectieuses et non infectieuses et le comportement à adopter face à un cas suspect.

Les contrastes observés entre les ordres locaux des départements A et B sont notamment la conséquence de deux types d'appréhension différents des aspects techniques et sanitaires de l'élevage. Dans le département A, ces deux aspects sont restés cloisonnés, ce qui a conduit aux faits décrits dans le modèle pro-curatif : 1) le colloque singulier est resté le mode de relation privilégié entre vétérinaires et éleveurs, associé à une médecine d'élevage majoritairement individuelle et curative ; 2) les OPA ont vu leur rôle de conseiller technique s'accroître et ont développé le suivi des performances techniques des élevages. Au contraire, dans le département B, les aspects techniques et sanitaires de l'élevage ont été considérés comme étroitement liés, ce qui a conduit à : 1) l'évolution de la relation entre vétérinaires et éleveurs, du colloque singulier vers une organisation collective, associée à un transfert de compétences des vétérinaires aux éleveurs, et favorisant une médecine d'élevage populationnelle et préventive ; 2) un rôle central de conseiller technique et sanitaire joué par les vétérinaires auprès des éleveurs, et associé à un suivi à long terme des élevages. Les OPA ne disposaient donc pas d'un grand espace pour développer leur offre de service dans ce domaine. Par conséquent, dans le département B, contrairement au département A, très peu d'OPA agréées étaient établies au moment de notre étude et les cliniques vétérinaires avaient peu de concurrence pour la vente des médicaments vétérinaires et le conseil sanitaire.

Dans les départements A et B, l'histoire sociopolitique locale semble avoir largement influencé la nature des relations entre les vétérinaires et les éleveurs (et par conséquent entre tous les acteurs sanitaires) et le type d'organisation des cliniques vétérinaires. En effet, les deux configurations observées semblent résulter de stratégies organisationnelles opposées, adoptées par les vétérinaires et les éleveurs à la fin du XXe siècle et orientées par les considérations divergentes évoquées ci-dessus, sur les aspects techniques et sanitaires de l'élevage. Dans le département B, les GVC sont le résultat d'une histoire locale spécifique. Dans les années 1980, les représentants nationaux d'importantes organisations politiques agricoles avaient pour objectif d'améliorer le statut sanitaire des élevages, qui s'était globalement dégradé avec l'intensification de l'agriculture après la Seconde Guerre mondiale. Avec les référents locaux de la pratique et de la recherche vétérinaires en élevage, ils avaient un intérêt marqué pour une approche collective de la santé animale dans les élevages, inspirée de l'approche épidémiologique qui avait réussi à améliorer les situations sanitaires dans d'autres contextes. Grâce à cette dynamique locale, ce réseau d'acteurs a reçu un soutien suffisant de l'Etat et des organisations territoriales pour pouvoir structurer ce système et mener des recherches directement dans les élevages, avec une forte

contribution des éleveurs et des vétérinaires dans la conception et la réalisation des études, et dans la production de solutions pratiques à partir des résultats des études. Les GVC ont été créés dans ce contexte d'approche populationnelle des maladies et de forte collaboration entre des groupes de vétérinaires et des groupes d'éleveurs. Nous avons identifié les GVC comme des moteurs de la dynamique globale des acteurs sanitaires du département B.

Le fonctionnement des GVC reposait sur un transfert de compétences entre vétérinaires et éleveurs, permettant la délégation des premiers actes de soin. Comme les éleveurs des GVC n'étaient pas facturés pour chaque intervention curative de base (couverte par la cotisation annuelle), ils auraient pu solliciter les vétérinaires plus souvent que dans la pratique classique. Pourtant, aucune augmentation de la demande d'interventions curatives de base n'était observée dans le département B, pour plusieurs raisons : 1) les interventions préventives étaient également incluses dans la cotisation annuelle ce qui incitaient les éleveurs à mettre en œuvre de telles mesures ; 2) les éleveurs étaient formés tout au long de l'année pour adopter des pratiques préventives dans leur troupeau ; 3) les éleveurs étaient également formés pour traiter les cas simples par eux-mêmes ou avec les conseils du vétérinaire par téléphone, ce qui les rendait plus autonomes. Ainsi, les vétérinaires des GVC limitaient à la fois leurs interventions curatives basiques, chronophages du fait de leur répétition, et la gestion de situations sanitaires détériorées car prises en charge tardivement, chronophage du fait de la difficulté à contrôler la situation sanitaire une fois un certain seuil atteint. Les vétérinaires conventionnés libéraient ainsi du temps pour les activités de conseil et de suivi, plus rentables dans leur modèle économique.

« Le véto il est chez nous [...] a minima une fois toutes les trois semaines. Pas [forcément pour] des bêtes malades. Pour du suivi reproduction essentiellement, pour discuter, etc. [...] Après ce qu'il y a de bien avec le conventionnement c'est que, comme on n'hésite pas à les faire venir (les vétérinaires), si par exemple [...] j'ai de la mortalité un peu plus que d'habitude, on s'en inquiète tout de suite, on n'attend pas. Ils vont faire une autopsie, ou on fait des analyses [...] assez rapidement et si on peut y faire quelque chose on le fait rapidement. [Cette réactivité] est vraiment appréciable. » Eleveur conventionné, département B

Dans le département B, les vétérinaires des GVC dépendaient beaucoup moins économiquement des actes curatifs et la vente de médicaments vétérinaires à usage curatif que les vétérinaires des cliniques classiques, seul modèle économique présent dans le département A. En effet, dans les GVC, le revenu des vétérinaires était assuré par la cotisation annuelle. Les éleveurs payaient cette cotisation annuelle pour que leur troupeau reste en bon état sanitaire. En d'autres termes, les éleveurs payaient les vétérinaires pour éviter les interventions curatives, comme ils le feraient pour une assurance. Dans un tel système, les animaux en bonne santé sont aussi rentables pour les vétérinaires que les animaux malades, contrairement aux cliniques classiques où

une grande part des revenus provient d'interventions curatives, donc sur des animaux malades.

La collaboration et le transfert de compétences entre les vétérinaires et les éleveurs conventionnés ont favorisé la production d'informations sanitaires collectives et précoces dans les élevages, notamment sur leur état sanitaire par un dépistage préventif. Cette information, à la différence de l'information individuelle produite par les interventions curatives, est directement utilisable par les acteurs sanitaires en dehors du colloque singulier éleveur-vétérinaire : les acteurs de vue d'ensemble (le GDS, les laboratoires d'analyses et les services vétérinaires). C'est ce type d'information qui est pertinent pour la surveillance sanitaire. Quant aux déclarations spontanées de signes d'alerte, comme les avortements dans le cas de maladies infectieuses abortives (ex. : brucellose bovine, fièvre Q, BVD, etc.), ils étaient facilités par une approche préventive et par les connaissances que les éleveurs avaient acquises sur l'identification précoce de ces signes d'alerte. La majorité de l'activité de suivi des élevages était le suivi de la reproduction, ce qui impliquait des visites fréquentes. En effet, les vétérinaires des GVC étaient deux à quatre fois plus présents dans les élevages que dans une pratique classique. Comme la confiance entre éleveurs et vétérinaires conventionnés était forte, les éleveurs n'hésitaient pas à parler à leurs vétérinaires des problèmes qu'ils pouvaient rencontrer, même s'ils n'étaient pas liés à la raison de leur visite. D'autre part, les vétérinaires étaient plus enclins à donner des conseils aux éleveurs sur la base des éléments qu'ils avaient observés dans leur élevage lors de la visite (ex. : l'état des animaux, les pratiques de traite de l'éleveur, etc.).

« Le véto quand il est là on parle de [la raison de sa visite] et d'autres choses, des problèmes plus généraux. Du fait qu'il soit là devant nous en visite, on creuse, on rentre beaucoup plus dans les questions, dans la discussion, on va chercher forcément au-delà. En tant qu'éleveurs ça nous amène d'autres réflexions. » Eleveur conventionné, département B

Dans le département B, le monopole des vétérinaires sur l'accès privilégié aux éleveurs et la vente de médicaments vétérinaires était moins menacé que dans le département A (Figure 4). La concurrence potentielle sur la vente de médicaments vétérinaires à usage préventif par les OPA agréées était limitée pour deux raisons : 1) la stabilité économique de l'activité des vétérinaires au sein des GVC dépendait beaucoup moins de la vente de médicaments vétérinaires que dans la pratique classique ; 2) leur étroite collaboration avec les éleveurs conventionnés pour le suivi sanitaire de leurs élevages a mécaniquement induit une plus grande fidélité des éleveurs envers leur GVC pour l'achat des médicaments vétérinaires à usage préventif.

La confiance forte entre les vétérinaires et les éleveurs conventionnés réduisait la concurrence entre les vétérinaires conventionnés et le GDS pour l'accès privilégié aux données sanitaires d'élevage et pour la position de référent sanitaire, ce qui facilitait l'échange de ressources et d'information entre vétérinaires conventionnés et GDS. En effet, cette confiance entre éleveurs et vétérinaires conventionnés rendait les vétérinaires moins dépendants des informations sanitaires détenues par le GDS et de

leur compétence de suivi des troupeaux, les GVC ayant organisé à la fois du temps et une logistique autour de cette activité. Les vétérinaires étaient également moins susceptibles d'être court-circuités lorsqu'un plan sanitaire du GDS devait être mis en œuvre dans un troupeau. Dans le département B, comme dans le département A, les résultats d'analyse étaient souvent connus des vétérinaires avec un léger retard par rapport au GDS (ils étaient transmis par courrier ou E-mail aux vétérinaires et *via* leur système d'information numérique aux GDS), mais le partenariat solide entre les vétérinaires et les éleveurs conventionnés offrait aux vétérinaires un moyen d'accès parallèle et efficace à ces informations. Par ailleurs, la collaboration entre éleveurs et vétérinaires conventionnés produisait des informations individuelles qui restaient à l'intérieur du colloque singulier (ex. : mesures préventives liées aux pratiques zootechniques des éleveurs, associées à aucune analyse, ni aucun diagnostic spécifique), ce qui maintenait la position privilégiée des vétérinaires en tant que référents sanitaires des éleveurs.

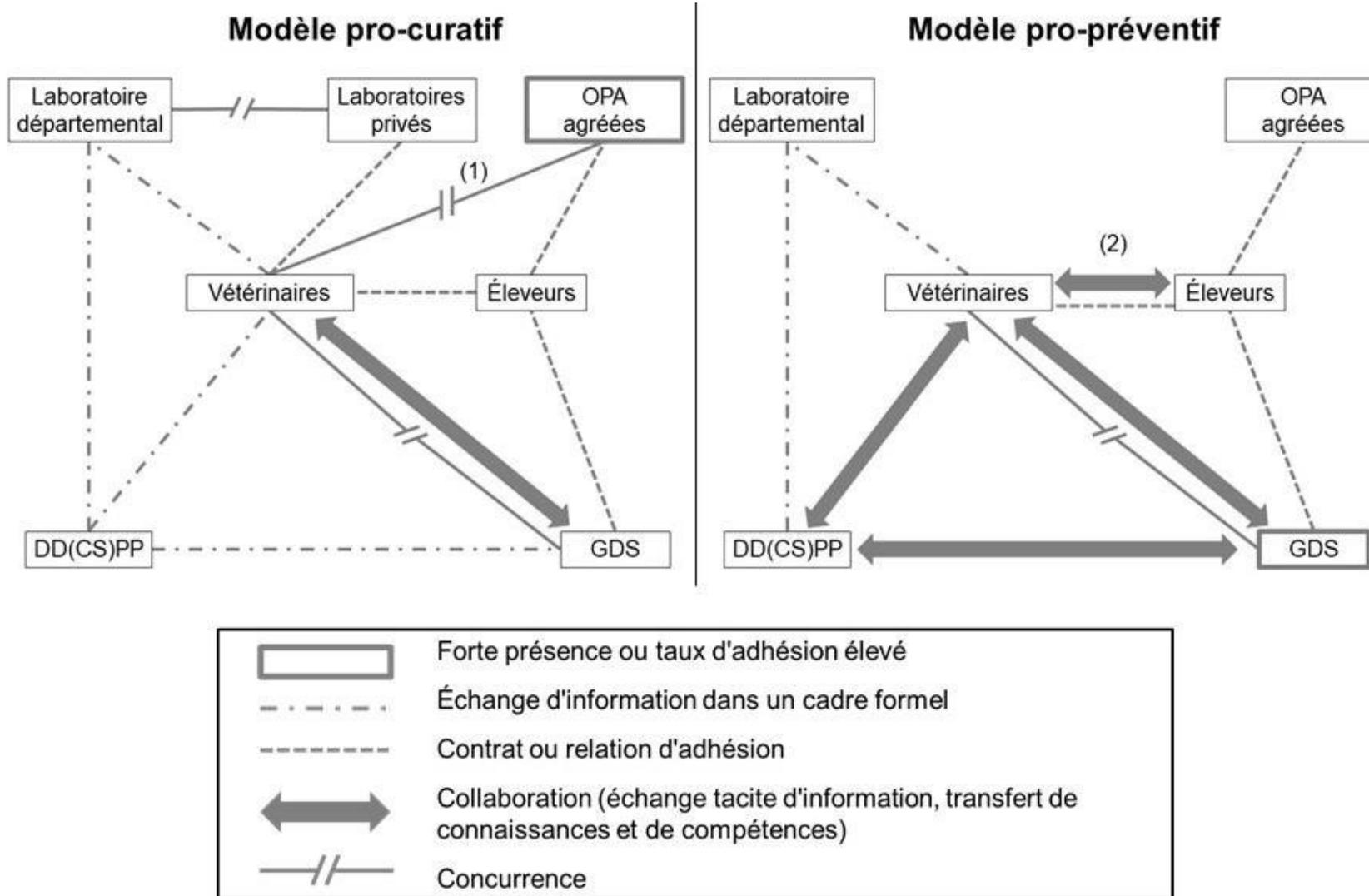
Même si les vétérinaires conventionnés étaient plus indépendants vis-à-vis du GDS, ils conservaient un intérêt pour l'information globale sur la situation sanitaire locale, information que détenait le GDS. Les vétérinaires conventionnés bénéficiaient également du soutien du GDS pour la promotion d'une approche préventive dans les élevages, approche la plus intéressante dans le modèle économique des GVC, comme expliqué ci-dessus. En effet, l'activité du GDS étant basée sur une approche préventive et un système de type assurance, leurs intérêts économiques étaient alignés sur ceux des GVC, d'où une coopération autour de l'approche préventive, associée à un taux d'adhésion élevé au GDS dans le département B (99 % d'élevages adhérents).

Un tiers des cliniques du département B faisaient partie d'un GVC et parmi les autres cliniques, plusieurs avaient des contrats individuels avec des éleveurs de leur clientèle, basés sur une cotisation annuelle en fonction du nombre de bovins dans leur cheptel. Par ailleurs, plusieurs vétérinaires de GVC avaient des responsabilités en tant que représentants de leur profession au sein du GTV départemental et régional. Grâce à ces rôles, ils pouvaient promouvoir un comportement pro-préventif en dehors de leur clientèle, dans le reste du département.

Comme l'approche préventive était fréquente dans le département B, les vétérinaires produisaient des informations au niveau du troupeau et avaient besoin d'informations sur la situation sanitaire locale pour leur activité. Ce besoin a conduit à une intensification des échanges d'information entre les vétérinaires et les acteurs de vue d'ensemble, qui ont traité et synthétisé l'information collective (ex. : le GDS ou les services vétérinaires pouvaient informer les vétérinaires sur le niveau de risque local pour des maladies spécifiques, en fonction des statuts sanitaires des troupeaux). Cela peut expliquer les relations observées dans le département B au sein du "trépied sanitaire" (constitué des vétérinaires, du GDS et des services vétérinaires) (Figure 4). En effet, dans le département B, ces trois acteurs organisaient des réunions informelles tous les trois mois, quelle que soit la situation sanitaire. Cela leur permettait de confronter régulièrement les points de vue des éleveurs, des vétérinaires et des services

vétérinaires sur des questions sanitaires ou socio-économiques spécifiques et, le cas échéant, de trouver un accord sur les actions à mettre en place et sur la manière de les mettre en œuvre. Une telle forme de collaboration augmente l'efficacité de la transmission d'information entre les acteurs du trépied sanitaire, de manière continue pour la surveillance, mais aussi ponctuellement lors de crises sanitaires.

Figure 4. Schémas des interactions et des flux de ressources entre les acteurs locaux de la surveillance sanitaire dans les deux modèles idéaltypiques de l'étude.



Modèle pro-curatif : Forte concurrence imposée aux vétérinaires ruraux en ce qui concerne la vente de médicaments vétérinaires et le conseil sanitaire, associée à une approche principalement pro-curative des questions sanitaires. L'information produite est plus souvent individuelle et tardive. Elle reste à l'intérieur du colloque singulier éleveur-vétérinaire, d'où son utilité limitée en matière de surveillance sanitaire.

Modèle pro-préventif : Peu de concurrence imposée aux vétérinaires ruraux, associée à une approche essentiellement préventive des questions sanitaires. L'information produite est plus souvent collective et précoce. Elle peut être diffusée en dehors du colloque singulier éleveur-vétérinaire, auprès des acteurs sanitaires « de vue d'ensemble » (laboratoires d'analyses, services vétérinaires, GDS), d'où son utilité en matière de surveillance sanitaire.

Les variables clés des modèles idéaltypiques :

- (1) Concurrence imposée par les OPA agréées, sur la vente de médicaments vétérinaires et le conseil sanitaire ;
- (2) Forme d'organisation des vétérinaires ruraux ayant une influence sur les pratiques sanitaires globales des vétérinaires et des éleveurs dans le département.

Acronymes et abréviations utilisés dans la figure 4 :

| | |
|----------------|--|
| DD(CS)PP | Direction départementale en charge de la protection des populations (services vétérinaires départementaux) |
| GDS | Groupement de défense sanitaire |
| Laboratoire(s) | Laboratoire(s) d'analyses vétérinaires (privés : rattachés à une ou plusieurs cliniques vétérinaires, observés uniquement dans le département A) |
| OPA agréées | Organisations professionnelles agricoles autorisées à vendre des médicaments vétérinaires à usage préventif |

7. Variations au sein des modèles idéaltypiques

Dans chaque configuration décrite par les deux modèles idéaltypiques construits dans cette étude (modèles pro-préventif et pro-curatif), on peut observer parmi les éleveurs des comportements ne correspondant pas à l'approche dominante, car déterminés par d'autres facteurs. Ces facteurs apportent donc des variations aux modèles idéaltypiques, et sont de deux ordres : intrinsèque, liés aux profils des élevages (ex. : type de production, taille) et extrinsèque, liés à l'environnement des élevages (ex. : historique sanitaire de la zone, offre vétérinaire locale). Nous avons observé une forte influence de ces facteurs sur la perception des enjeux sanitaires par les éleveurs et leur propension à adopter une approche préventive ou curative des questions sanitaires dans leur troupeau (l'ensemble des facteurs identifiés et la nature de leur influence sont résumés à la fin de cette sous-partie, dans le tableau 3).

a. L'influence des profils des élevages

L'engagement des éleveurs dans la surveillance sanitaire est d'autant plus important que le recours à des mesures préventives est étroitement associé aux logiques économiques de leur filière. En effet, plus l'impact d'une maladie est fort sur leur production plus ils sont prêts à investir du temps et de l'argent dans des mesures préventives spécifiques (Tableau 3). Cet engagement peut se matérialiser par 1) une plus grande part de mesures de prophylaxie sanitaire et médicale (ex. : dépistage, vaccination, mesures de biosécurité), 2) une relation plus étroite avec le vétérinaire qui est appelé de manière précoce à la détection d'un problème sanitaire dans l'élevage, et/ou 3) une adhésion au GDS qui favorise la mise en place de mesures préventives et de lutte le cas échéant, et qui permet une visibilité du statut sanitaire des élevages adhérents à l'échelle du département.

i. Les types d'élevage où la logique préventive domine

Elevages sélectionneurs (vendeurs de bovins reproducteurs)

Pour les éleveurs-sélectionneurs, la surveillance sanitaire des maladies infectieuses réglementées et non réglementées est fortement liée aux intérêts économiques. En effet, les bovins reproducteurs, notamment les taureaux de sélection, élevés pour la monte naturelle comme pour l'insémination artificielle, ont un fort potentiel de diffusion de ces maladies. C'est donc une nécessité économique pour les éleveurs sélectionneurs comme pour les stations de sélection des jeunes taureaux et les centres d'insémination artificielle, de pouvoir garantir officiellement l'innocuité de leur production.

« Tout veau qui va rentrer dans la station on veut connaître la qualification [de son] cheptel. Est-ce que l'éleveur a fait des recherches « paratuberculose » en groupes de 10. [Pour] les adhérents du GDS, le GDS en prend une partie à sa charge, les non adhérents ils se débrouillent. Parce que quand on achète un veau reproducteur on n'achète pas qu'un animal, on achète son historique, c'est surtout ça. » Eleveur-sélectionneur

Les filières de sélection des différentes races bovines ont pour la plupart fait le choix, à travers leurs représentants (organismes et entreprises de sélection), d'élargir les garanties accordées par la réglementation européenne et française à des maladies non réglementées. Elles ont notamment intégré à leur propre règlement des obligations de qualifications sanitaires des bovins vendus (ex. : statut « non IPI » pour la BVD) et des cheptels (ex. : statut « très probablement indemne de paratuberculose »). Il y a donc une forte pression commerciale sur les éleveurs pour qu'ils dépistent les principales maladies infectieuses dans leurs troupeaux.

« Un éleveur qui vend un mâle reproducteur doit s'assurer qu'il n'est pas porteur du gène tourneur [...], [vérifier si] son veau porteur [ou non] du gène culard [...], et [dépister] brucellose, leucose, [...] BVD aussi. Et [...] [pour la] paratuberculose [assurer la] qualification de son cheptel, [...] Aujourd'hui à la SICCA (société d'intérêt collectif agricole) le cahier des charges [précise] que tout ça doit être fait [à la vente d'un bovin reproducteur]. Comme il y a un cahier des charges, juridiquement l'éleveur qui achète et qui se fait plomber peut nous emmener au tribunal. » Eleveur-sélectionneur

Les départements A et B comptaient une proportion similaire d'élevages sélectionneurs : respectivement 14 % et 13 % (Système d'information génétique (SIG) 2019).

Elevages naisseurs ou naisseurs-engraisseurs (reproduction dans l'élevage)

Dans les élevages naisseurs, les veaux sont élevés depuis leur naissance jusqu'à un âge variable, allant de deux semaines, en élevage laitier, à huit mois, en élevage allaitant. Dans les élevages naisseurs-engraisseurs, les veaux sont conservés plus longtemps car ils sont engraisés sur place. Les élevages naisseurs et naisseurs-engraisseurs se différencient donc des élevages strictement engraisseurs par le fait que les veaux naissent sur place. Ils constituent donc la catégorie d'élevages concernée par les maladies abortives.

La BVD est transmissible verticalement (de la mère à son veau) et les veaux IPI, fortement excréteurs du virus et sans expression clinique de l'infection, apparaissent au cours d'une infection *in utero*. Il y a donc un risque supplémentaire associé à la BVD dans les élevages où ont lieu des naissances.

La paratuberculose ne s'exprime cliniquement que sur des animaux de plus de deux ans, donc essentiellement des bovins reproducteurs. Ce sont les bovins de plus de deux ans infectés subcliniques ou cliniques qui excrètent le plus la mycobactérie et les veaux dans leurs premiers mois de vie qui sont les plus sensibles à l'infection. Il y a donc un risque important de transmission de l'infection dans les élevages naisseurs et naisseurs-engraisseurs, où ces deux catégories d'animaux sont en contact.

L'apparition de veaux IPI signifie des pertes directes de production, pour les élevages allaitants mais aussi pour les élevages laitiers lorsqu'il s'agit de vêlages destinés au renouvellement du cheptel. Un veau dépisté IPI est éliminé du troupeau, c'est donc la valeur future d'un « produit entier » qui est perdue : une carcasse de bovin adulte, et la production laitière d'une vache en élevage laitier.

De la même manière, un avortement peut également entraîner une perte de production importante en élevage allaitant (par la mort de veaux à la naissance ou *in utero*) et laitier (par la mort de futures génisses de renouvellement et par l'absence ou la réduction de production de lait de la mère ayant avorté, selon le stade de gestation auquel l'avortement est survenu).

Une vache diagnostiquée infectée de paratuberculose sera vendue à l'abattoir au plus vite, avant l'apparition des premiers signes cliniques. Si la vache infectée n'exprime aucun signe clinique de la maladie, elle peut être engraisée pendant quelques semaines à quelques mois avant d'être vendue. En revanche, les vaches laitières en lactation ne peuvent pas être engraisées et sont donc vendues maigres, à un prix moindre.

Elevages laitiers : un suivi de production et de reproduction précis

Les élevages laitiers ont nettement plus souvent recours à l'insémination artificielle que les élevages allaitants. Ce type de pratique est plus souvent accompagné de diagnostics et de suivis de gestation (par le vétérinaire ou l'inséminateur) que la monte naturelle, car la date d'insémination est connue avec exactitude, contrairement à celle d'une saillie naturelle au pré. Le suivi de reproduction représente souvent la majorité de l'activité de suivi des cliniques vétérinaires. C'est aussi une bonne occasion pour le vétérinaire et l'éleveur de discuter plus largement de la santé générale du troupeau et d'évoquer les éventuels problèmes sanitaires présents dans l'élevage, en lien ou non avec la reproduction, permettant ainsi la mise en place précoce de mesures préventives.

Par ailleurs, les éleveurs laitiers ont généralement un suivi régulier et précis de la production laitière de leur troupeau et sont capables de détecter rapidement une baisse de production ou une variation anormale de paramètres de qualité du lait, signes souvent précurseurs de maladie, à l'échelle d'un individu ou du troupeau entier. Ces informations permettent aux éleveurs laitiers d'anticiper plus facilement des troubles sanitaires dans leur troupeau.

La proportion et le nombre d'élevages laitiers étaient similaires dans les deux départements étudiés (environ 50 % des élevages bovins, soit entre 1 000 et 1 500 élevages).

Elevages allaitants : les veaux, valeur centrale de production

Les élevages allaitants produisent de la viande bovine. Ils peuvent être naisseurs, naisseurs-engraisseurs, ou strictement engraisseurs. En élevage allaitant, les valeurs de production sont à la fois les vaches (en élevages naisseurs et naisseurs-engraisseurs) et les veaux (quel que soit le type d'élevage allaitant). Ce modèle économique est différent de celui des élevages laitiers (qui ne peuvent être que naisseurs ou naisseurs-engraisseurs), pour lesquels la majorité de la valeur de production du troupeau correspond uniquement aux vaches et aux génisses de renouvellement. Cette différence explique pourquoi les élevages allaitants mettent en place plus de mesures préventives pour éviter les problèmes sanitaires chez les veaux et appellent le vétérinaire de manière plus précoce en cas de baisse d'état général d'un veau.

La proportion et le nombre d'élevages allaitants étaient similaires dans les deux départements étudiés (environ 50 % des élevages bovins, soit entre 1 000 et 1 500 élevages).

ii. Les types d'élevage où la logique curative domine

Tout comme pour les élevages où la logique préventive domine, ceux où la logique curative domine sont fortement influencés dans leurs choix par des considérations économiques. Pour cette deuxième catégorie d'élevages, ces considérations dissuadent les éleveurs de mettre en œuvre des mesures préventives.

Elevages strictement engraisseurs (sans bovins reproducteurs)

Cette catégorie comprend :

- Les élevages produisant des veaux de boucherie, veaux de race laitière achetés à 2 ou 3 semaines et engraisés jusqu'à 6 mois (en bâtiment hors-sol) ;
- Les élevages engraisseurs produisant des jeunes bovins (taurillons et génisses) d'environ 18 mois à partir de broutards de 6 à 8 mois (les bovins séjournent 10 à 12 mois dans l'élevage, en bâtiment hors-sol ou au pâturage) ;
- Les élevages produisant des taurillons et génisses de 18 à 24 mois à partir de jeunes bovins qu'ils achètent et finissent d'engraisier (séjour d'environ 5 mois : achat, engraissement et revente en continu, par petits lots de bovins généralement, en bâtiment hors-sol ou au pâturage).

Ces élevages introduisent régulièrement un grand nombre de bovins de provenances variées. Cependant, ils mettent rarement en œuvre des mesures préventives vis-à-vis des maladies soumises aux plans de lutte du GDS ou des maladies réglementées et ils sont majoritairement dispensés des prophylaxies obligatoires, annuelle et à l'introduction. La reproduction des bovins n'étant pas réalisée sur place, ils ne sont pas concernés par les maladies abortives. Ayant peu de bovins de plus de trois ans et pas de bovin séjournant longtemps dans leur troupeau, les éleveurs engraisseurs stricts sont peu confrontés aux maladies de longue temporalité, comme la paratuberculose (incubation de plusieurs années). De plus, le nombre de bovins séjournant dans ces élevages au cours d'une campagne de production est souvent élevé, ce qui correspond à un montant de cotisation au GDS important pour des animaux qui sont présents peu de temps. Aussi, hormis la caisse coups-durs et les plans de lutte contre les diarrhées des veaux, voire les audits de bâtiment, ils ne sont pas concernés par la plupart des services du GDS. Par conséquent, les élevages de ce type adhèrent rarement au GDS.

Pour les maladies auxquelles nous nous intéressons dans notre raisonnement (maladies soumises à des plans sanitaires collectifs et maladies réglementées), les engraisseurs stricts mettent peu de mesures préventives en place. En revanche, ils peuvent avoir une approche curative ou préventive vis-à-vis des problématiques qui les concernent le plus, à savoir les diarrhées des veaux et les infections respiratoires. Dans ces deux types d'approche, les éleveurs appellent très peu le vétérinaire car ils peuvent agir en autonomie :

- Approche préventive : vaccination systématique du troupeau et réalisation de vides sanitaires entre chaque lot de bovins ;
- Approche curative : traitements antibiotiques, le plus souvent sans visite du vétérinaire et à partir d'un protocole de soins (Ministère de l'Agriculture and Ministère de la Santé, 2007) car ce sont des maladies fréquentes dans ces élevages.

Quelle que soit leur approche dominante, ces élevages contribuent donc très peu au maintien ou au renforcement de la présence des vétérinaires en élevage, ainsi qu'à la surveillance et la prévention collective des principales maladies d'élevage.

Le département A possédait une plus grande proportion d'élevages strictement engraisseurs, dont le nombre restait toutefois limité : 3 % (117 élevages), contre 1 % (36 élevages) dans le département B (BDNI 2015-2016).

Très petits élevages (moins de 10 bovins)

Dans ces élevages, les éleveurs ont plus souvent tendance à agir en curatif qu'en préventif. Deux situations fréquemment associées aux très petits élevages peuvent expliquer cela :

- l'éleveur possède un autre atelier de taille conséquente (bovins ou autre espèce) ou une autre activité professionnelle, agricole ou non (éleveurs doubles-actifs), qui engendre la majeure partie de son revenu et ce petit atelier bovin additionnel constitue une source de revenu complémentaire. Dans ce cas de figure, les dépenses associées à ce petit atelier sont réduites au minimum et les mesures préventives ne sont pas considérées comme rentables ;
- l'éleveur est en fin de carrière et souhaite arrêter prochainement sa production. Il ne craint alors pas les conséquences économiques à long terme d'un problème sanitaire.

Aussi, pour les mêmes raisons que ces éleveurs n'agissent pas en préventif, ils ne jugent pas non plus nécessaire de s'assurer en cas de coup-dur. Ils n'ont donc pas de raison d'adhérer au GDS.

Les très petits élevages étaient plus représentés dans le département B (23%), que dans le département A (14 %) (BDNI 2015-2016).

Elevages laitiers : une majorité des veaux de moindre valeur économique

En élevage laitier, les veaux mâles ainsi qu'une partie des veaux femelles (variable selon les exploitations et les années) sont vendus autour de deux semaines d'âge et seules les femelles conservées pour le renouvellement du troupeau ont une valeur économique conséquente. C'est la raison pour laquelle, à l'apparition d'un trouble sanitaire parmi les veaux destinés à la vente (ce qui représente la majorité des veaux du troupeau), les éleveurs ont préférentiellement recours à la gestion curative autonome du problème et appellent le vétérinaire tardivement, en dernier recours, s'ils ne parviennent pas à le maîtriser.

b. L'influence des facteurs extérieurs

La classification des caractéristiques d'élevage décrite ci-dessus apporte un premier niveau de compréhension de la manière dont les éleveurs s'impliquent dans la surveillance sanitaire, en s'inscrivant ou non dans l'approche dominante de la configuration à laquelle ils appartiennent (pro-préventive ou pro-curative). Cependant, cette classification doit nécessairement être mise en perspective avec des facteurs extérieurs. Ces facteurs influencent le comportement des éleveurs au même titre que la configuration locale du système d'acteurs, ou que le profil de leur élevage.

En effet, nous avons observé une logique de proximité qui influençait les éleveurs sur trois plans : 1) leur perception du risque associé aux maladies infectieuses, et donc leur capacité à les détecter ; 2) leur adhésion au GDS ; 3) leur choix de clinique vétérinaire (Tableau 3).

i. Les facteurs extérieurs pro-préventifs

L'historique sanitaire de l'élevage

Du fait des conséquences peu spécifiques de la paratuberculose et de la BVD, la principale raison pour laquelle des éleveurs recherchent ces maladies en amont ou y pensent lors d'apparition de cas cliniques est le fait qu'ils sachent être infectés (plan de lutte en cours) ou qu'ils aient été infectés récemment.

L'environnement de l'élevage

L'environnement direct a également un impact important sur la propension des éleveurs à réaliser une surveillance sanitaire dans leur élevage. Il agit à la fois sur leur

perception du risque associé aux différentes maladies et sur leur capacité à accéder à une tarification vétérinaire favorisant la mise en place de mesures préventives.

❖ **La proximité d'un élevage infecté et le statut sanitaire de la zone de l'élevage**

La présence d'autres élevages à proximité ne joue pas directement sur le niveau de surveillance. En revanche, un éleveur qui sait avoir un voisin actuellement ou récemment infecté renforcera sa surveillance de la maladie concernée dans son propre élevage. De la même manière, si l'éleveur se trouve dans une zone infectée, même s'il ne connaît pas le statut sanitaire des élevages de son voisinage direct, il sera plus vigilant et recherchera plus facilement la maladie dans son troupeau. Ceci est lié à une meilleure connaissance de cette maladie et de ses conséquences économiques potentielles, à une conscience du risque plus élevé d'infection et à l'attitude du vétérinaire et du GDS qui incitent plus fortement l'éleveur à rechercher cette maladie dans son élevage en cas de suspicion.

« Mes avortements sont bien souvent sur mes génisses. Ça correspond à du voisinage. Ce sont des bêtes que je mets [sur une parcelle éloignée] et j'ai un voisin là-bas qui a [beaucoup] de BVD. Les avortements, c'est toujours là-bas et j'ai eu des veaux qui ont eu la BVD avec des problèmes respiratoires, j'ai eu quelques IPI l'année dernière et celle d'avant. Donc j'essaie de lutter un peu pour ça. Ce voisin est anti-GDS. [...] En plus ses bêtes se sauvent dans les chemins, partout... On est deux voisins de ce gars-là à être embêtés avec la BVD. » Eleveur allaitant

Cet élément a peut-être un impact plus important dans le département B, où la densité moyenne des élevages bovins est d'environ 80 élevages/km² et où les zones d'élevage sont plus localisées, que dans le département A où la densité moyenne est d'environ 55 élevages/km² (rapport du nombre d'élevages bovins sur la superficie du département).

❖ **La présence d'une offre de forfait ou de conventionnement vétérinaire à proximité**

Le conventionnement et le forfait de suivi vétérinaire concernent uniquement des élevages situés dans le périmètre d'intervention de cabinets vétérinaires proposant ces types de pratique. En effet, dans leur choix de vétérinaire traitant, les éleveurs privilégient la réactivité en cas d'appel et la proximité de la clinique pour l'approvisionnement en médicaments vétérinaires du protocole de soins. L'approche de la surveillance sanitaire liée à ces pratiques est détaillée dans les deux points suivants :

➤ **Le forfait de suivi vétérinaire**

Les éleveurs pour lesquels le forfait vétérinaire présente un intérêt économique sont ceux qui souhaitent réaliser le suivi sanitaire de maladies non réglementées spécifiques à leur type de production, sans recourir pour autant à un suivi sanitaire global ; par exemple : suivi de reproduction en élevages laitiers et suivi des diarrhées des veaux ou de l'alimentation en élevages allaitants ou engraisseurs. Notons que plusieurs de ces suivis comme la reproduction et l'alimentation peuvent ne pas être réalisés par le vétérinaire mais par un technicien d'OPA.

➤ ***Le conventionnement (uniquement dans le département B)***

Les éleveurs conventionnés n'hésitent pas à solliciter le conseil ou même l'intervention de leur vétérinaire car la plupart des interventions de routine est incluse dans la convention. Cela correspond donc plutôt aux élevages ayant un suivi régulier et où le vétérinaire intervient souvent, ne serait-ce que pour du conseil téléphonique, soit du fait de contraintes liées au système d'élevage, soit du fait du choix de l'éleveur. Il s'agit souvent d'élevages où les animaux ont une plus grande valeur économique (ex. : élevages sélectionneurs) et d'élevages où le suivi de troupeau est essentiel (ex. : élevages naisseurs, nécessitant un suivi de la reproduction). Ceci étant, comme souligné dans le modèle idéaltypique du département B, les éleveurs conventionnés n'appellent pas leur vétérinaire de manière excessive car ils sont formés à effectuer les premiers soins en cas de baisse d'état d'un animal.

L'aide financière du GDS pour les mesures préventives

Les éleveurs qui donnent de l'importance au préventif (sélectionneurs, naisseurs et naisseurs-engraisseurs, conventionnés) sont plus conscients des risques liés aux maladies soumises à des plans de lutte du GDS. Ils perçoivent donc plus facilement l'adhésion au GDS comme rentable car pour ces maladies, le GDS prend en charge une partie des frais liés aux mesures préventives et curatives qu'ils pourraient mettre en place.

En élevages allaitants, la surveillance programmée annuelle obligatoire

Seuls les élevages allaitants sont visités par le vétérinaire sanitaire pour la réalisation de la surveillance programmée annuelle obligatoire de toutes les maladies réglementées, hormis la tuberculose bovine (dépistée essentiellement par un test allergique dans les élevages laitiers et allaitants, à une fréquence dépendant de la situation épidémiologique locale (Cavalerie et al., 2015)), car la surveillance du statut sanitaire des élevages allaitants se fait *via* des analyses de sang et celle des élevages laitiers *via* des analyses du lait de tank par le biais du contrôle laitier et donc sans intervention du vétérinaire. La surveillance programmée obligatoire peut être l'occasion pour le vétérinaire d'identifier des troubles sanitaires à la vue de l'état général des animaux dépistés. C'est un moyen supplémentaire de dépister

précocement d'autres maladies non réglementées comme la BVD et la paratuberculose, par l'observation des animaux mais aussi par le dépistage volontaire de ces maladies qui peut être ajouté aux analyses réalisées dans le cadre de la surveillance programmée obligatoire.

ii. Les facteurs extérieurs pro-curatifs

La facturation à l'acte des frais vétérinaires

Pour un éleveur appelant peu son vétérinaire traitant et chez qui aucun suivi particulier n'est réalisé, la facturation à l'acte est plus rentable que le conventionnement. Cependant, ce type de facturation peut avoir un effet pervers car, même si son coût global pour l'éleveur reste inférieur au conventionnement, chaque intervention du vétérinaire est facturée, contrairement au système de cotisation annuelle mis en place dans les GVC, et les médicaments vétérinaires sont vendus avec une plus grande marge. Ces facteurs peuvent pousser l'éleveur à recourir le moins possible au vétérinaire, voire à se fournir en médicaments vétérinaires auprès d'un groupement agréé. Ces éleveurs appelleront donc le plus souvent tardivement le vétérinaire et dans une logique curative. Par ailleurs, l'indemnisation potentielle par le GDS, *via* la caisse coups-durs, qui peut être complétée par une indemnisation régionale voire nationale, favorise l'action en curatif. En effet, en agissant en préventif, l'éleveur dépense de manière certaine pour mettre en place des mesures en amont de tout problème, en ayant pris en compte la balance coût-risque dans sa décision. En choisissant d'intervenir en curatif, il dépense uniquement en cas d'infection avérée, et soit les pertes économiques restent limitées (montant des pertes équivalent ou inférieur à ce qui aurait été dépensé en préventif), soit elles sont plus importantes et une partie des éventuelles pertes excessives peut être indemnisée. La combinaison d'une adhésion au GDS et d'une facturation à l'acte vétérinaire pourrait donc favoriser la logique curative.

Le vétérinaire sera sollicité par l'éleveur d'autant moins précocement lorsque :

- l'éleveur possède un protocole de soins précis, réalisé avec son vétérinaire et mis à jour tous les ans. Ce protocole lui permet d'avoir une démarche à suivre et un accès direct aux médicaments au comptoir du cabinet pour le traitement de maladies récurrentes dans son élevage et ne nécessitant pas une prise en charge complexe ;
- l'indemnisation potentielle des pertes économiques est perçue comme conséquente par l'éleveur (ce qui est souvent le cas dans le département B).

Les zones de faible adhésion au GDS

Il ressort des entretiens que les éleveurs de certaines zones géographiques sont nettement moins adhérents ou plus adhérents que la moyenne du département. Deux facteurs permettraient d'expliquer ce phénomène :

❖ **Le bouche-à-oreille en défaveur d'une adhésion au GDS**

L'influence sociale des éleveurs par leur entourage et leurs collègues éleveurs peut influencer leur adhésion au GDS, quelle que soit leur perception du risque associé aux différentes maladies et du seuil minimal de pertes acceptables dans leur élevage.

❖ **Le contexte d'adhésion du voisinage**

Que les raisons de l'adhésion des éleveurs soient le bénéfice commun (améliorer la situation sanitaire globale de la zone géographique ou de la filière) ou un avantage économique, s'ils sont situés dans une zone où le niveau d'adhésion au GDS est faible, ils peuvent être amenés à juger que leur adhésion n'est plus suffisamment efficace ou rentable, en fonction de leurs objectifs. En effet, si trop de voisins ne sont pas adhérents, les mesures préventives mises en place par les éleveurs peuvent ne plus suffire à protéger l'élevage de certaines maladies aisément transmissibles par le voisinage. Or si ces éleveurs choisissaient pour ces raisons de ne plus adhérer au GDS, l'intérêt économique des mesures préventives serait alors moindre et ils seraient par conséquent plus souvent amenés à agir en curatif.

*« L'adhésion au GDS c'est géographiquement dépendant. Il y a des tâches d'huile de non-adhérents. Dans une commune il y en a un qui part parce qu'il se fâche ou n'est pas satisfait et ça emmène les voisins. C'est vraiment comme ça que ça se passe. [...] Il y a beaucoup de non-adhérents et celui qui est adhérent au milieu des autres ne voit plus l'intérêt d'y être donc il part. »
Vétérinaire libéral*

L'aide financière du GDS pour les mesures curatives

Les éleveurs pour lesquels les frais vétérinaires sont plus élevés (non conventionnés, sans forfait de suivi) choisiront plus souvent d'appeler le vétérinaire tardivement et pour du curatif. Or plus l'appel au vétérinaire est tardif, plus la perte économique potentielle liée à la maladie est importante. Dans ce type de situation, les éleveurs jugeront rentable d'adhérer au GDS pour pouvoir bénéficier d'une indemnisation financière en cas de « coup-dur ». En effet, l'enquête a montré que ces indemnisations pouvaient être perçues comme une assurance justifiant à elle seule l'adhésion au GDS, même si les indemnisations ne concernaient que des pertes supérieures à un seuil donné, qu'elles n'étaient pas systématiquement accordées et qu'elles ne couvraient pas la totalité des pertes.

« [Le GDS] ne nous a pas [énormément] aidés mais il nous a quand-même aidé un peu, notamment sur la BVD. Donc on est quand-même plus forts [avec cette aide]. C'est là que le collectif présente tout son intérêt. S'il n'y avait pas ça, la BVD on aurait toujours pu courir pour être indemnisés. » Eleveur laitier

*« Je cotise au GDS [mais il] vaut mieux payer et ne pas s'en servir je crois. »
Eleveur mixte*

Tableau 3. Tableau des profils d'élevage et des facteurs extérieurs respectivement pro-préventifs et pro-curatifs.

| | Logique pro-préventive | Logique pro-curative |
|----------------------------|---|--|
| Types d'élevage | <p>Selon les risques associés à la production :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sélectionneurs • Naisseurs • Naisseurs-engraisseurs <p>Selon la valeur économique des animaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laitiers (pour les vaches et les génisses de renouvellement) • Allaitants (pour les veaux*) | <p>Selon les risques associés à la production :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Engraisseurs • Petits élevages <p>Selon la valeur économique des animaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laitiers (pour les veaux destinés à la vente) |
| Facteurs extérieurs | <p>Historique et voisinage :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Historique sanitaire • Proximité d'élevages infectés <p>Offre vétérinaire alentour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accès au conventionnement • Accès à un forfait de suivi vétérinaire <p>Perception de l'offre du GDS :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remboursement des mesures préventives jugé intéressant | <p>Elevages voisins :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zone peu adhérente au GDS (facteurs sociaux et économiques) <p>Offre vétérinaire alentour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facturation à l'acte vétérinaire <p>Perception de l'offre du GDS :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caisse « coups-durs » jugée intéressante |

** Les vaches allaitantes n'apparaissent pas dans ce tableau car elles sont le plus souvent concernées par des maladies qui sortent du cadre des maladies étudiées ici (ex. : carences, troubles obstétriques, etc.) ce qui ne nous a pas permis d'intégrer à cette analyse la logique sanitaire des éleveurs allaitants pour cette catégorie d'animaux.*

IV. Discussion de l'étude sociologique

Notre étude approfondie du réseau de surveillance sanitaire en filière bovine dans deux départements illustre l'interdépendance des acteurs au sein de ce réseau. Tous les acteurs dépendent des éleveurs pour l'accès à la matière de terrain, indispensable à la production de toute information. Ils dépendent également des vétérinaires pour leur expertise et en tant que premiers producteurs d'information formalisée. Nous discuterons dans cette partie de l'influence des vétérinaires sur la nature des informations échangées au sein de ce système d'acteurs et soulignerons l'importance d'identifier et de comprendre les interactions et les flux de ressources entre les acteurs afin de caractériser la production et la diffusion locales d'information pour la surveillance sanitaire.

1. Deux ressources clés sont à la base du système d'action

Les vétérinaires avaient un quasi-monopole sur deux ressources clés qui sont à la base du système d'action : la vente de médicaments vétérinaires et l'accès privilégié aux éleveurs, ce qui en faisait l'acteur clé du réseau. Leurs décisions étaient influencées par leur souhait de préserver cette place centrale. Cela explique que dans le département B, où leur position était bien établie et stable, ils se sont appuyés plus facilement sur les compétences du GDS pour leur activité de suivi. Dans ce contexte favorable, le modèle économique des GVC a pu se développer et perdurer. Dans cette forme de pratique clinique, l'approche préventive était plus rentable que l'approche curative. Ainsi, les vétérinaires des GVC produisaient plus d'informations collectives et précoces, qui circulaient en dehors du colloque singulier entre l'éleveur et le vétérinaire et qui étaient utiles à la surveillance sanitaire. Ce contexte socio-économique et ces mécanismes de production et de transmission de l'information sont exposés dans le modèle pro-préventif (Figure 4), où les jeux de pouvoir entre les acteurs sont favorables à la surveillance sanitaire.

A l'inverse, dans le département A où les vétérinaires subissaient une concurrence sur les deux ressources clés par des OPA agréées, ils protégeaient plus leur position de référent sanitaire des éleveurs, position également recherchée par le GDS. Même si les vétérinaires et le GDS collaboraient toujours en raison de leur intérêt mutuel pour les ressources échangées (ex. : expertise vétérinaire, logistique de suivi, etc.), les vétérinaires étaient attentifs à la zone de conflit avec le GDS autour de l'accès aux informations sanitaires des élevages. Dans ce contexte défavorable, les vétérinaires produisaient une information plus individuelle et plus tardive à travers une approche essentiellement curative, généralement plus rentable que l'approche préventive pour le modèle économique établi dans le département (pratique clinique classique). L'information sanitaire ne circulait pas systématiquement en dehors du colloque singulier (les acteurs de vue d'ensemble devaient passer par les vétérinaires pour

accéder à cette information) et ne pouvait pas être facilement utilisée pour la surveillance. Ce contexte socio-économique et ces mécanismes sont exposés dans le modèle pro-curatif (Figure 4), où les jeux de pouvoir entre les acteurs sont défavorables à la surveillance sanitaire.

2. Les jeux de pouvoir déterminent les flux d'information sanitaire

Pour comprendre le fonctionnement des dispositifs de surveillance sur le terrain, il est nécessaire de comprendre la manière dont les activités liées à la surveillance s'inscrivent dans le quotidien des acteurs du système. En effet, les activités de surveillance sont menées en complément d'autres pratiques (le soin, la prévention, la recherche, la production agricole, etc.), et pour comprendre comment l'information est produite et diffusée depuis le terrain pour la surveillance sanitaire, il faut comprendre les configurations d'acteurs, leurs interactions et leurs modèles professionnels et économiques (Fortané and Keck, 2015). Ce qui peut être analysé comme le résultat de la perception d'un risque sanitaire par les vétérinaires et les éleveurs, sous l'influence de facteurs individuels (Bronner et al., 2014), est également le résultat d'un comportement qui est façonné par la configuration locale (pro-préventive ou pro-curative dans notre étude). Les comportements des acteurs sont fortement déterminés par la disponibilité des ressources au sein du système auquel ils appartiennent, et les jeux de pouvoir construits autour de ces ressources entre les acteurs du système. Les vétérinaires et les éleveurs, bien qu'importants dans la production d'information sanitaire, constituent une partie de la chaîne d'information. La production et la diffusion d'information pour la surveillance sanitaire (ex. : déclaration des avortements pour la surveillance de la brucellose bovine) ne peuvent être comprises sans une compréhension globale du système d'acteurs au sein duquel les vétérinaires et les éleveurs interagissent. Nous avons notamment observé dans les deux ordres locaux étudiés une différence de crispation des vétérinaires autour de la vente de médicaments vétérinaires, selon les ressources dont ils disposaient. Nos modèles ont mis en évidence un lien entre le niveau de concurrence subit par les vétérinaires sur cette activité, et la contribution du système d'acteurs à la surveillance sanitaire. Un niveau de concurrence élevé sur la vente de médicaments vétérinaires conduit à un comportement collectif pro-curatif, et un niveau faible à un comportement collectif pro-préventif. Ces conclusions appellent à réaliser des études complémentaires afin de caractériser plus précisément le lien entre la concurrence sur la vente de médicaments vétérinaires et la contribution du système d'acteurs à la surveillance sanitaire, et de vérifier si ce lien est également présent dans d'autres ordres locaux.

Notre étude a montré que les enjeux professionnels avaient une importance majeure dans la surveillance sanitaire, en parallèle des enjeux sanitaires et épidémiologiques,

qui ne sont pas toujours prioritaires pour les acteurs. Ces résultats sont en accord avec les conclusions de l'analyse sociologique d'un autre système de surveillance en santé animale : le réseau français de surveillance de la résistance antimicrobienne des bactéries pathogènes d'origine animale, appelé "Resapath" (Fortané, 2015). Ces travaux avaient permis de démontrer que le Resapath produisait de l'ignorance par le décalage entre les référents ontologiques de chaque acteur impliqué : les vétérinaires et leurs "bactéries-maladies", les microbiologistes et leur "souche bactérienne", les épidémiologistes et leur "population bactérienne". Tous ces référents ontologiques étant la conséquence des intérêts spécifiques des acteurs en fonction de leur activité professionnelle.

3. Spécificité et limites de notre étude

Les deux modèles de cette étude sont entièrement basés sur le matériel de terrain collecté lors de notre enquête sociologique. Ils sont le résultat d'une série d'interprétations faites à partir du contenu des entretiens et de la littérature grise. Notre approche était inductive et consistait en des confrontations et des ajustements continus entre les modèles idéaltypiques et nos observations de terrain (Merton, 1968; Weber, 1965).

Notre terrain d'étude a été volontairement limité à deux départements. La représentativité n'était pas un objectif car notre but était de comprendre les mécanismes existants et d'explorer leur hétérogénéité. Nous n'avons pas cherché à déduire un modèle unique pouvant s'appliquer à tous les départements français. Nous avons donc besoin de deux terrains d'étude présentant des ordres locaux contrastés et des profils d'élevage bovin similaires, afin de comprendre les jeux de pouvoir et les règles d'interaction du système d'action étudié par comparaison de ces deux terrains. Maintenant que nous avons construit deux modèles idéaltypiques à partir de ces deux départements, il serait intéressant de tester leur robustesse dans d'autres départements, pour voir 1) comment nous pouvons améliorer ces modèles en les confrontant à des configurations similaires (pro-préventives / pro-curatives) dans d'autres systèmes d'action et 2) si ces modèles peuvent expliquer d'autres configurations ou si d'autres modèles doivent être définis. Par exemple, dans d'autres configurations pro-préventives, observerions-nous les mêmes types de collaborations et de transferts de compétences ? Dans d'autres configurations pro-curatives, observerions-nous une plus grande proportion d'actions préventives dues à l'organisation des vétérinaires dans les grandes cliniques et les groupes de cliniques ? Dans des configurations qui diffèrent à la fois des configurations pro-préventives et des configurations pro-curatives, identifierions-nous de nouvelles ressources clés ou de nouveaux acteurs locaux (ex. : interprofessions, coopératives, syndicats de races, etc.) qui pourraient influencer différemment les rapports de force entre les acteurs sanitaires ?

Nous nous sommes attachés à comprendre en quoi les configurations étudiées différaient dans les deux départements et nous n'avons pas cherché à expliquer comment ces situations ont été atteintes. Par conséquent, nous avons cherché à identifier les variables des modèles qui caractérisent les configurations, et non pas les facteurs explicatifs de leur mise en place. Néanmoins, comme nous l'avons souligné dans la description du modèle pro-préventif, l'histoire sociopolitique locale a une forte influence sur la création de certaines formes d'organisation, comme les GVC dans le département B. La confrontation de nos modèles explicatifs à d'autres départements ayant un contexte sociopolitique différent devrait nous permettre d'identifier si ce paramètre joue effectivement un rôle en tant que variable des configurations observées, ou s'il explique seulement l'apparition de certaines formes d'organisation sans expliquer leur persistance dans le système d'action actuel.

Il existe un grand nombre de profils d'élevage et de structure vétérinaire, qui peuvent avoir une influence sur le comportement des acteurs, comme évoqué dans nos résultats. Notre choix d'échelle d'analyse, l'échelle départementale, bien qu'il ait pour effet de lisser la diversité de ces acteurs, nous semblait être le mieux adapté à notre objectif de compréhension du fonctionnement du système d'acteurs de la surveillance sanitaire au niveau local, car le département est la plus petite échelle administrative de gestion de la surveillance sanitaire des maladies réglementées comme la brucellose bovine. Notre analyse s'est concentrée sur l'influence de l'ordre local observé sur la contribution des acteurs à la surveillance sanitaire, plutôt que sur l'influence des profils des acteurs de terrain, qui avait été analysée en partie dans une précédente étude (Bronner et al., 2014). Par manque de temps et de moyens, nous n'avons pas pu interroger un grand nombre d'acteurs de terrain (éleveurs et vétérinaires) de chaque profil, ni couvrir l'ensemble des profils existants. Néanmoins, nous avons pu interroger dans chaque département des vétérinaires parmi les profils de structure vétérinaire dominants, et des éleveurs parmi les profils les plus impliqués dans la surveillance sanitaire (certains modes de production - non inclus dans l'analyse - bénéficient de dérogations pour la surveillance des maladies réglementées car leurs pratiques présentent moins de risques de contamination ou de propagation pour ces maladies). En ce qui concerne les acteurs de vue d'ensemble (laboratoires d'analyses, services vétérinaires et GDS) et les acteurs périphériques (OPA, Conseils départementaux), peu de personnes étaient concernées par notre problématique dans chaque organisation, et nous avons pu rencontrer la plupart de ces personnes.

Partant des informations directement disponibles sur les profils d'élevage des départements pour choisir nos terrains d'étude (BDNI, (Bronner et al., 2015b)), nous n'avons pris en compte que les types de production (laitière, allaitante ou mixte), la taille moyenne des exploitations et le nombre total d'exploitations. Or, la contribution de l'atelier bovin au revenu global des éleveurs peut également jouer un rôle dans les relations que ces derniers construisent avec les autres acteurs de la filière bovine. Certains éleveurs peuvent avoir d'autres ateliers d'élevage ou des cultures végétales en parallèle de l'élevage bovin, voire avoir une seconde activité professionnelle, non agricole. Il serait intéressant de pouvoir tenir compte de la proportion d'éleveurs de

bovins pour lesquels l'atelier bovin représente une source minoritaire de revenu, dans le choix de départements pour des études complémentaires mobilisant nos modèles idéaltypiques. Ceci étant, d'après les échanges que nous avons eu avec les acteurs rencontrés dans les départements de l'étude, la proportion d'éleveurs ayant une activité non agricole complémentaire semblait plus importante dans le département B, qui a pourtant un niveau de déclaration des avortements supérieur au département A, et qui correspond au modèle pro-préventif. Le lien entre la place de l'atelier bovin dans le revenu de l'éleveur et son approche préventive ou curative des maladies d'élevage n'est donc pas évident.

4. Leviers d'action pour améliorer la surveillance événementielle

L'analyse des systèmes de surveillance sanitaire "du bas vers le haut" permet de comprendre l'origine et la nature des données qui sont collectées en relation avec les intérêts des acteurs qui les produisent. Nous avons mis en évidence trois caractéristiques qui permettent d'identifier la configuration d'un système d'action : 1) la pression de la concurrence exercée sur les activités des vétérinaires ; 2) le modèle économique et la forme d'organisation dominante des cliniques vétérinaires ; 3) le niveau de collaboration entre les principaux acteurs de la surveillance en dehors des crises sanitaires. Les deux premières caractéristiques affectent la genèse et la diffusion d'information utile pour la surveillance sanitaire et la troisième caractéristique affecte la réactivité du système d'acteurs en cas de crise sanitaire.

Comme le montrent d'autres études sociologiques, les conditions sociales et pratiques de production des données influencent largement l'efficacité des systèmes de surveillance sanitaire (Bronner et al., 2014; Fortané, 2015; Fortané and Keck, 2015). Dans notre étude, le modèle pro-préventif décrit une configuration d'acteurs où le risque de diffusion de la brucellose bovine est probablement plus faible, car le système de détection précoce basé sur la déclaration des avortements est plus efficace. Cette configuration est plus adaptée aux besoins de la surveillance sanitaire. Ainsi, plus les départements sont proches de cette configuration, plus la surveillance nationale est efficace. Nos modèles idéaltypiques permettent de comprendre comment un système d'action pourrait tendre vers une configuration ou l'autre si la structure des interactions sociales était modifiée, changeant ainsi les rapports de force entre les acteurs et affectant par conséquent leurs comportements. Par exemple, dans une configuration pro-curative où les vétérinaires identifieraient des services préventifs complémentaires à proposer aux éleveurs, associés à une forme de cotisation annuelle pouvant être largement adoptée dans leur clientèle, la rentabilité des actes préventifs augmenterait et ainsi la configuration pro-curative tendrait vers une configuration pro-préventive.

Cette lecture du système d'acteurs donne des indications sur les leviers potentiels pour améliorer la déclaration des avortements et la surveillance en général. Par exemple, si la contribution des vétérinaires aux plans de lutte du GDS était rendue systématique et formalisée afin qu'ils soient rémunérés pour ce service, ils pourraient se positionner comme le co-référent pour le suivi sanitaire des troupeaux avec le GDS. De cette façon, les vétérinaires protégeraient leur accès privilégié aux éleveurs. Une telle forme de collaboration permettrait également aux vétérinaires d'amplifier progressivement la part de leur revenu associée au conseil et de diminuer leur dépendance économique vis-à-vis de la vente de médicaments vétérinaires. Cela encouragerait mécaniquement un comportement pro-préventif et donc davantage de production d'information pour la surveillance (comme la déclaration des avortements), comme nous l'avons vu dans les résultats de cette étude. Lorsque l'enquête sociologique a été réalisée, une telle collaboration était en cours de développement dans le département A, et était déjà en place dans d'autres départements (données non publiées communiquées lors de l'enquête).

Un autre levier d'amélioration de la surveillance pourrait être la formation des vétérinaires, notamment la formation initiale dispensée par les écoles vétérinaires et la formation continue, notamment celle dispensée par l'École nationale des services vétérinaires et les DD(CS)PP. La formation est un moyen efficace de favoriser l'approche intégrative, populationnelle des maladies d'élevage, réglementées et non réglementées, et de repenser le partenariat entre vétérinaires et éleveurs autour d'une approche préventive des problématiques sanitaires en élevage.

Chapitre II

Approche épidémiologique

*** * ***

**Evaluation de l'efficacité du
système de surveillance-lutte de la
brucellose bovine et exploration
de scénarios alternatifs de
surveillance**

I. Contexte de l'étude épidémiologique

Dans cette étude, notre objectif était d'évaluer le rapport efficacité/coût du système français de surveillance de la brucellose bovine et d'identifier des pistes d'amélioration. Comme pour d'autres maladies des bovins dont la France est officiellement indemne (leucose bovine enzootique, hypodermose bovine), le système de surveillance de la brucellose bovine vise à détecter le plus rapidement possible tout cas introduit et à garantir le statut indemne du pays. Mis en place lorsque la maladie était fortement présente sur le territoire, ce système de surveillance a depuis peu évolué, en dépit de l'évolution favorable de la situation épidémiologique sur le territoire qui a mené à l'obtention du statut indemne. De récentes études ont toutefois mis en évidence le coût annuel élevé de la surveillance pour une maladie exotique (Hénaux et al. 2015) et une sensibilité limitée dans la pratique (Bronner et al., 2015a). Comme la brucellose bovine ne se propage pas très rapidement entre les élevages (par rapport à une maladie transmissible par voie aérienne par exemple), nous avons exploré dans cette étude un autre paradigme pour sa surveillance : viser à détecter la maladie dans un délai raisonnable, par opposition au premier cas. Ce changement d'objectif permettrait de réduire les coûts de surveillance, tout en maintenant un faible risque pour la santé humaine et en limitant le coût des mesures de lutte potentielles.

Le système de surveillance et de lutte contre la brucellose bovine en France coûte globalement environ 17 millions d'euros (M€) par an : 3,7 M€ à l'État et 13,3 M€ à la profession agricole (Hénaux et al., 2015). Ce coût représente 12 % du montant global des mesures de surveillance et de lutte pour l'ensemble des maladies réglementées de la filière bovine (Hénaux et al., 2017). Or, les ressources budgétaires et humaines allouées à la surveillance en santé animale sont en diminution depuis plusieurs années. Il est donc important de s'interroger sur la performance des systèmes de surveillance et de lutte en place, et sur une possible optimisation de l'allocation de ces ressources.

Une directive européenne impose aux Etats membres bénéficiant du statut « officiellement indemne de brucellose bovine » de prouver de manière continue qu'au moins 99,8 % de leurs élevages bovins sont officiellement indemnes (Communauté économique européenne, 1964). Le système de surveillance en place doit donc permettre de détecter sur une période d'un an au moins un élevage infecté sur le territoire national, lorsque la prévalence des élevages infectés est supérieure ou égale à 0,2 %. Le système de surveillance vise également une détection précoce de la maladie pour limiter le nombre d'élevages infectés au moment de la première détection de foyer. Il s'agit à la fois de limiter 1) le risque de transmission à l'humain via la consommation de produits au lait cru ou le contact avec des matières infectées, 2) l'ampleur et le coût des mesures de police sanitaire à mettre en place dans les foyers et autour. En effet, toute confirmation d'infection entraîne l'abattage total et le renouvellement du cheptel infecté.

Plusieurs travaux ont déjà exploré des pistes d'amélioration du système de surveillance-lutte de la brucellose bovine en France. Des réflexions ont été menées au sein de la Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale (Plateforme ESA) sur l'amélioration de l'efficacité et de la pertinence du dispositif de déclaration des avortements (Calavas et al., 2012; Groupe de suivi de la thématique « Avortements chez les ruminants » de la Plateforme ESA, 2016). Une étude a exploré la sensibilité du système actuel et de scénarios alternatifs de surveillance, en évaluant leur capacité à détecter la maladie lorsque moins de 0,2 % des élevages sont infectés, ce qui correspond au seuil maximal de référence européen, permettant ainsi de garantir le statut officiellement indemne de la France (Hénaux and Calavas, 2017). Cette étude utilisait la méthode des arbres de scénarios et tenait compte des coûts de surveillance dans la comparaison des scénarios. D'autres travaux ont également comparé l'efficacité de différentes stratégies de surveillance de la brucellose bovine à l'étranger, notamment en Grande-Bretagne et au Japon (England et al., 2004; Yamamoto et al., 2008), à travers des modèles de simulations. Ces études évaluaient la précocité de détection du système de surveillance à travers le délai de détection et le nombre d'élevages infectés au cours du temps, et ne tenaient pas compte des coûts de surveillance et de lutte. Les modèles développés dans ces deux études étaient dans le premier cas une simulation de Monte-Carlo pour le modèle intra-élevage et une formule mathématique déterministe pour le modèle inter-élevages (England et al., 2004), et dans le second cas, un modèle stochastique individu-centré (Yamamoto et al., 2008).

Notre étude épidémiologique s'inscrit dans la continuité de ces travaux. Nos questions de recherche étaient les suivantes : Dans quel délai le système de surveillance détecterait une introduction de la brucellose bovine sur le territoire ? Quelle est l'efficience du système de surveillance-lutte actuel ? Comment cette efficience peut-elle être améliorée ? Nous avons approfondi et précisé l'évaluation des performances et de l'efficience du système de surveillance-lutte de la brucellose bovine, en tenant compte de la dynamique de diffusion de la maladie, suite à sa réintroduction sur le territoire. Nous avons deux objectifs : 1) évaluer, pour les systèmes de surveillance actuel et alternatifs, la précocité de détection de la brucellose bovine suite à sa réintroduction en France ; 2) estimer le coût global de la surveillance (au niveau national) et de la lutte (à partir de scénarios de diffusion de la brucellose et de détection des foyers). Pour répondre à ces objectifs, nous avons développé un modèle de simulation qui tient compte de la dynamique de diffusion de la brucellose bovine dans et entre les élevages bovins français, suite à l'achat d'un bovin infecté (considéré aujourd'hui comme la principale source potentielle d'une réintroduction de la maladie en France).

II. Matériels et méthodes

1. Présentation générale du modèle

Nous avons développé un modèle mécaniste, stochastique, individu-centré, à temps discret pour simuler le système de gestion des exploitations bovines par les éleveurs, la propagation de la brucellose bovine dans les exploitations françaises, et la détection de l'infection par le système de surveillance. Nous avons choisi une période de quatre campagnes de production (du 1^{er} juillet au 30 juin), et un pas de temps d'une semaine qui permet une précision satisfaisante dans les résultats de la simulation sans exiger trop de temps et de puissance de simulation. Pour développer ce modèle, nous avons utilisé une architecture logicielle appelée "EMULSION", pour "Epidemiological Multi-Level Simulation" (Picault et al., 2019) (<https://sourcesup.renater.fr/www/emulsion-public/>). EMULSION a été créé pour aider à la conception et à la révision progressive de modèles épidémiologiques complexes impliquant plusieurs préoccupations (infection, démographie, surveillance, etc.), et à leur évaluation par des scientifiques non modélisateurs. Elle constitue une plateforme unique qui permet de modéliser de multiples paradigmes de modélisation (modèles à compartiments, individu-centrés ou métapopulationnels) et de multiples maladies. L'utilisation d'EMULSION lors du développement d'un modèle épidémiologique permet 1) la séparation entre la description du modèle et le code de simulation, rendant les composants du modèle explicites et facilement révisables, et 2) la conception d'un modèle à plusieurs niveaux dès l'origine, intégrant ainsi divers paradigmes de manière homogène (dans notre cas, les paradigmes basés sur l'individu et les métapopulations). Les composants du modèle (paramètres, hypothèses, processus, données) ont été exprimés sous la forme d'un fichier texte structuré (en langage YAML) et traités par le moteur de simulation générique EMULSION (version 1.1). Pour mettre en œuvre le modèle de la brucellose dans EMULSION, des processus spécifiques ont été identifiés et écrits dans un module Python supplémentaire par un informaticien, tandis que les autres composants du modèle ont été conçus et décrits dans un fichier YAML par une épidémiologiste. Ces documents sont accessibles sur demande et seront prochainement mis à disposition sur un dépôt public en ligne.

Notre modèle comportait quatre composantes : 1) démographique, avec les naissances et les décès des animaux, les aspects de gestion de l'exploitation (reproduction, lactation) et les mouvements des animaux ; 2) épidémiologique, avec la propagation de la maladie au sein des élevages bovins et entre eux ; 3) de surveillance-lutte, avec la simulation des mesures spécifiques associées à chaque scénario ; 4) économique, avec le coût des mesures de surveillance et de lutte.

Dans le modèle EMULSION, des "machines à états" (équivalentes aux diagrammes de flux des modèles épidémiologiques classiques) gèrent la dynamique des caractéristiques individuelles démographiques, épidémiologiques et de surveillance, prises en compte dans les trois premières composantes du modèle. Chaque machine

à états a été conçue avec des états, des transitions, des conditions, des durées et des valeurs de taux, de probabilité ou d'effectif spécifiques, selon les hypothèses de modélisation (Annexe 3). Par exemple, une machine à états gérait le niveau d'excrétion de la bactérie brucellique par les bovins infectés. Cette machine présentait trois états : non excréteur, faiblement excréteur et fortement excréteur. Tous les bovins sains avaient le statut non excréteur. S'ils étaient infectés, ils devenaient alors systématiquement faiblement excréteurs au moment de leur infection, et fortement excréteurs au moment de leur mise-bas ou de leur avortement. Ils restaient alors fortement excréteurs pendant neuf semaines, puis redevaient automatiquement faiblement excréteurs.

2. Composante démographique : naissances, décès, mouvements et conduites d'élevage

Chaque exploitation simulée par le modèle correspondait à un élevage « réel », caractérisé par un ensemble de variables décrivant la dynamique de la population de femelles uniquement.

La conduite d'élevage de chaque exploitation agricole a été simulée par le biais de trois processus, chacun représenté par une machine à états : 1) un processus physiologique, avec trois états de reproduction (correspondant aux quatre premiers mois de gestation, aux cinq derniers mois de gestation, et à un état hors gestation) ; 2) un processus d'élevage à deux états (en lactation et tarie), piloté par le processus physiologique ; 3) un processus de vieillissement à trois états (juvéniles avant la mise à la reproduction, juvéniles mis à la reproduction de moins de 24 mois, et adultes de 24 mois et plus). Les paramètres associés à ces processus sont décrits dans la première partie du Tableau 4. Pour la conversion de valeurs mensuelles en valeurs hebdomadaires, nous avons considéré un mois équivalant à 4,4 semaines.

Tableau 4. Définitions et valeurs des paramètres du modèle.

| Définition du paramètre <i>Nom dans le code YAML</i> | Valeur | Référence |
|--|--|---|
| Paramètres démographiques | | |
| Probabilité qu'un troupeau vende/prête un ou plusieurs animaux à un troupeau du même type (laitier ou allaitant) <i>proba_sell_to_same</i> | 0,7 | (Villard, 2016) |
| Probabilité hebdomadaire d'avortement pour les animaux sains (tout au long de la gestation) et pendant les quatre premiers mois de gestation pour les animaux infectés <i>proba_abortion_default</i> | 0,0046 | (Nusinovici et al., 2012) |
| Probabilité hebdomadaire d'avortement au cours des cinq derniers mois de gestation pour les animaux infectés <i>proba_abortion_infected</i> | 0,0779 | (Fensterbank, 1987; Plommet et al., 1973) |
| Probabilité hebdomadaire d'insémination ou de saillie fécondante <i>proba_successful_insemination</i> | 0,95 | (Raboisson et al., 2014) |
| Durée de gestation (semaines) <i>dur_gestation</i> | 41 | (hypothèse du modèle) |
| Probabilité qu'une vache donne naissance à un veau femelle <i>proba_female_calf</i> | 0,5 | (hypothèse du modèle) |
| Durée minimale entre le vêlage ou l'avortement et la remise à la reproduction (semaines) <i>dur_NoGestation</i> | 14 | (hypothèse du modèle) |
| Âge de mise à la reproduction (sélectionné aléatoirement dans l'intervalle de valeurs) (semaines) <i>dur_YoungerJuvenile</i> | [101 ; 119] | (hypothèse du modèle) |
| Paramètres épidémiologiques | | |
| Taux hebdomadaire de transmission horizontale due à la forte excrétion de bactéries brucelliques (période de forte excrétion : neuf semaines après le vêlage ou l'avortement d'une femelle infectée) <i>beta_HighShedder</i> | 0,2 ou 0,6 selon le contexte épidémiologique | (hypothèses du modèle) |

| | | |
|--|---------------------------|---|
| Taux hebdomadaire de transmission horizontale due à la présence de femelles faiblement excrétrices (i.e. infectées et en dehors de leur période de forte excrétion, telle que décrite ci-dessus) <i>beta_LowShedder</i> | 0,1 * beta_HighShedder | (hypothèse du modèle) |
| Probabilité que des animaux infectieux contaminent leur propre veau <i>proba_vertical_transmission</i> | 0,2 | (England et al., 2004; Yamamoto et al., 2008) |
| Paramètres de surveillance | | |
| Probabilité qu'un animal acheté soit testé si le troupeau d'origine ne présente pas de risque vis-à-vis de la brucellose bovine <i>proba_test_on_purchase_default</i> | 0,06 | (Hénaux and Calavas, 2017) |
| Probabilité pour un animal acheté d'être testé si le troupeau d'origine présente un risque vis-à-vis de la brucellose bovine <i>proba_test_on_purchase_risky</i> | 1 | (Ministère de l'Agriculture, 2008) |
| Sensibilité de l'épreuve de l'antigène tamponné (EAT) sur prélèvement sanguin (probabilité qu'un animal infecté soit testé positif) <i>Se_EAT</i> | 0,954 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Spécificité de l'EAT sur prélèvement sanguin (probabilité qu'un animal sain soit testé négatif) <i>Sp_EAT</i> | 0,977 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Sensibilité du test ELISA (dosage immuno-enzymatique) sur prélèvement sanguin <i>Se_ELISA</i> | 0,96 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Spécificité du test ELISA sur prélèvement sanguin <i>Sp_ELISA</i> | 0,938 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Sensibilité du test de fixation du complément (FC) sur prélèvement sanguin <i>Se_FC</i> | 0,89 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Spécificité du test de FC sur prélèvement sanguin <i>Sp_FC</i> | 0,835 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Sensibilité du test ELISA sur lait de tank (probabilité qu'un troupeau soit testé positif en présence de femelles infectées en lactation lorsque le test est réalisé) <i>Se_ELISA_milk</i> | 0,979 | (Gall and Nielsen, 2004) |
| Spécificité du test ELISA sur lait de tank (probabilité qu'un troupeau soit testé négatif en l'absence de femelles infectées en lactation lorsque le test est réalisé) <i>Sp_ELISA_milk</i> | 0,961 | (Gall and Nielsen, 2004) |

| | | |
|--|-----|--|
| Probabilité qu'un avortement soit détecté par l'éleveur <i>proba_abort_detection</i> | 0,3 | (Bronner et al., 2015a) |
| Délai entre la confirmation de l'infection du troupeau et la décision d'abattage (semaines) <i>delay_bacteriological_confirmation</i> | 1 | (hypothèse du modèle) |
| Délai de renouvellement d'un test sérologique, suite à un résultat positif lors d'un dépistage, dans un troupeau à risque vis-à-vis de la brucellose bovine (semaines) <i>confirmation_delay_risky</i> | 2 | (Direction générale de l'Alimentation, 2010) |
| Délai de renouvellement d'un test sérologique, suite à un résultat positif lors d'un dépistage, dans un troupeau non à risque vis-à-vis de la brucellose bovine (semaines) <i>confirmation_delay_safe</i> | 6 | (Direction générale de l'Alimentation, 2010) |

Afin de disposer d'un échantillon d'exploitations représentatif de la population couverte par le système de surveillance de la brucellose bovine en France, nous avons défini des profils-types de conduite d'élevage à partir des données de la BDNI, pour chaque semaine entre le 1^{er} juillet 2013 et le 30 juin 2017 (Figure 5). La BDNI contient notamment, pour l'ensemble des bovins de France, les dates de naissance et de mort, et les dates et les causes d'entrées (achat, prêt) et de sorties d'exploitation (vente, prêt, abattoir). Elle contient les numéros d'identification des bovins et les numéros d'exploitation.

Nous avons sélectionné un échantillon de 1 000 exploitations, de manière aléatoire parmi les exploitations bovines françaises en activité sur cette période. La typologie développée par (Sala et al., 2019) nous a permis de déterminer le type de production des exploitations. Les élevages strictement engraisseurs, qui ont une dérogation pour la surveillance de la brucellose bovine, et les élevages dont le type de production était indéterminé ont été exclus. Les élevages laitiers ou allaitants de moins de dix bovins étaient considérés comme des élevages "allaitants" dans notre échantillon, car dépistés annuellement sur sang. Nous avons supprimé de notre échantillon les exploitations dont le jeu de données était incomplet (ex. : informations manquantes sur les effectifs et/ou les mouvements). Nous avons ensuite lancé des simulations avec les exploitations restantes, sans introduire la maladie dans le modèle, pour vérifier la cohérence de la dynamique démographique simulée avec la dynamique réelle observée sur les quatre campagnes de nos jeux de données. La dynamique démographique du modèle était proche de la dynamique des données dans la plupart des cas, mais pour quelques troupeaux, les tailles simulées et observées différaient fortement (Annexe 4). Nous avons sélectionné les 75 % d'exploitations qui avaient les résultats de simulation les plus proches des données afin d'éliminer ces cas extrêmes (Figure 6). Notre échantillon final contenait 610 exploitations bovines représentatives, dont 40 % d'élevages laitiers, et 60 % d'élevages allaitants (Figure 5).

Figure 5. Processus de sélection des exploitations-types à partir de la base de données nationale d'identification des bovins (BDNI).

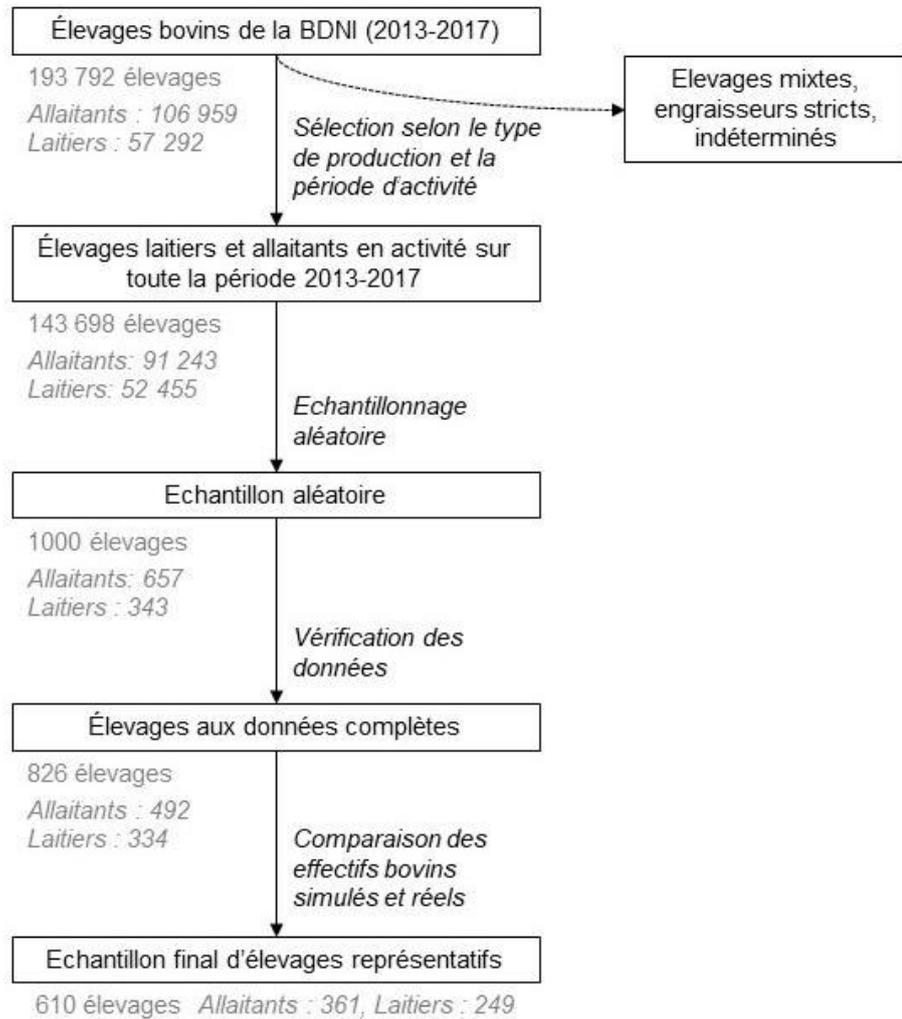
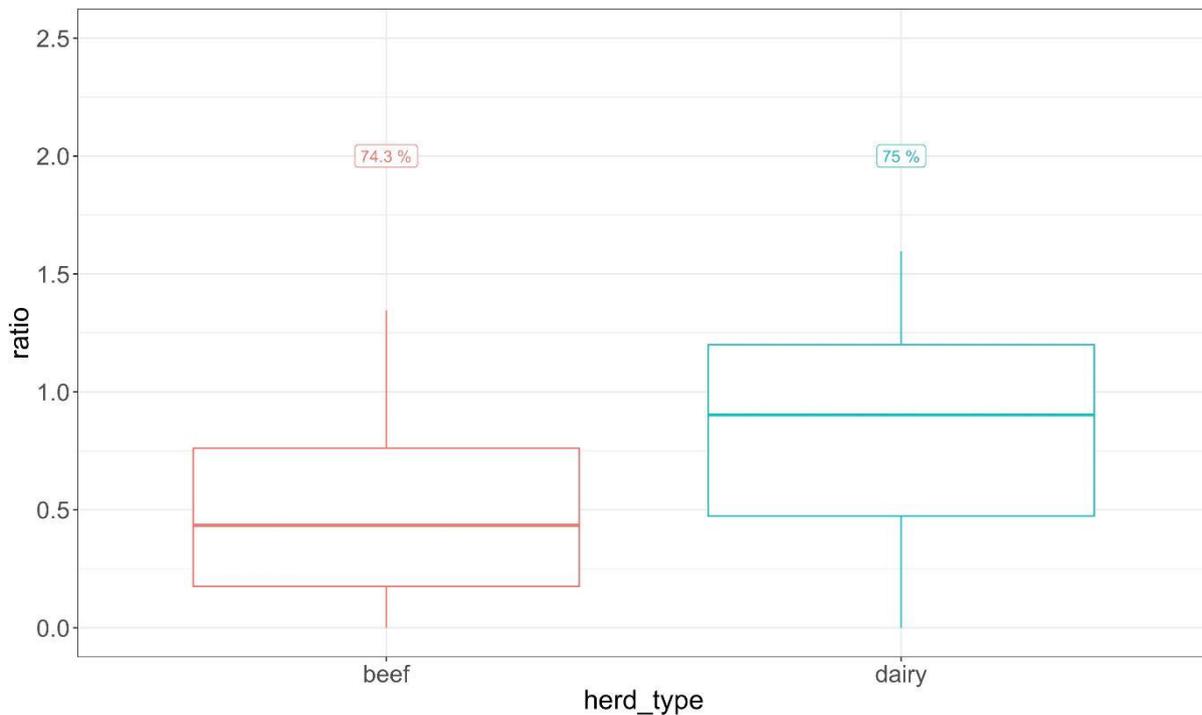


Figure 6. Ratios de la différence entre la taille des troupeaux simulés et réels, sur la taille des troupeaux réels, à la fin de la période de simulation, pour les 610 exploitations-types de notre échantillon final.

Le graphique présente la valeur de ce ratio pour les élevages allaitants (à gauche) et laitiers (à droite). Les pourcentages indiqués au-dessus de chaque box plot correspondent aux proportions d'exploitations sélectionnées parmi les exploitations simulées, pour chaque type de production.



Pour chaque exploitation simulée, notre jeu de données d'exploitations-types a été utilisé pour déterminer 1) la taille et la démographie par âge de chaque troupeau au moment (i.e. à la semaine) de leur introduction dans le modèle et 2) le nombre et la classe d'âge des animaux qui sont morts, ont été vendus ou loués à d'autres exploitations, vendus pour être abattus et achetés, dans les troupeaux simulés à chaque pas de temps de la simulation. Comme les avortements et la transmission verticale (de la vache à sa progéniture) influencent fortement la propagation et la détection de la brucellose bovine, nous avons simulé les naissances de manière mécaniste, afin de pouvoir mesurer et comparer les effets des stratégies de surveillance.

Les simulations reflétaient les mouvements réels, en termes de date des mouvements et de classe d'âge des animaux concernés. En effet, pour chaque mouvement, nous avons sélectionné les animaux en priorité en fonction de leur classe d'âge dans les données. S'il n'y avait aucun animal de la classe d'âge concernée à la date du mouvement dans le troupeau simulé, nous avons sélectionné les animaux dans la ou les classes d'âge adjacentes. Pour les abattages, nous avons donné la priorité aux femelles non gestantes, et si le troupeau n'en contenait aucune, nous avons

sélectionné des femelles gestantes dans la même classe d'âge. Pour les ventes, la classe d'âge était le seul critère de choix (c'est-à-dire que les femelles vendues étaient choisies au hasard dans la classe d'âge, quels que soient leurs stades physiologiques de reproduction et de lactation).

Seules les ventes d'animaux infectés conduisaient à l'introduction de nouveaux troupeaux (les troupeaux acheteurs) dans la simulation ; les ventes d'animaux sains étaient simulées dans l'élevage source par le départ des animaux concernés mais n'entraînaient pas l'introduction de nouveaux élevages dans la simulation. Tous les animaux achetés par les troupeaux simulés étaient considérés comme indemnes d'infection et provenant d'un troupeau non à risque vis-à-vis de la brucellose bovine. La classe d'âge de chaque animal acheté a été définie à partir des données, et leurs états physiologique et d'élevage ont été définis de manière aléatoire, sous certaines conditions pour éviter des combinaisons irréalistes (par exemple, des femelles qui seraient gestantes ou en lactation avant la mise à la reproduction).

3. Composante épidémiologique : diffusion de la brucellose bovine au sein du troupeau et entre les troupeaux

La composante épidémiologique a été entièrement déterminée par les hypothèses et paramètres du modèle (sur la base de la littérature scientifique et technique). Nous avons considéré dans notre modèle trois modes de transmission de la brucellose bovine : 1) la transmission verticale des vaches infectées à leur progéniture, *in utero*, à la naissance ou par le lait ; 2) la transmission horizontale au sein des élevages par contact avec des matières infectées ; 3) la transmission entre les troupeaux par le mouvement d'un animal infecté.

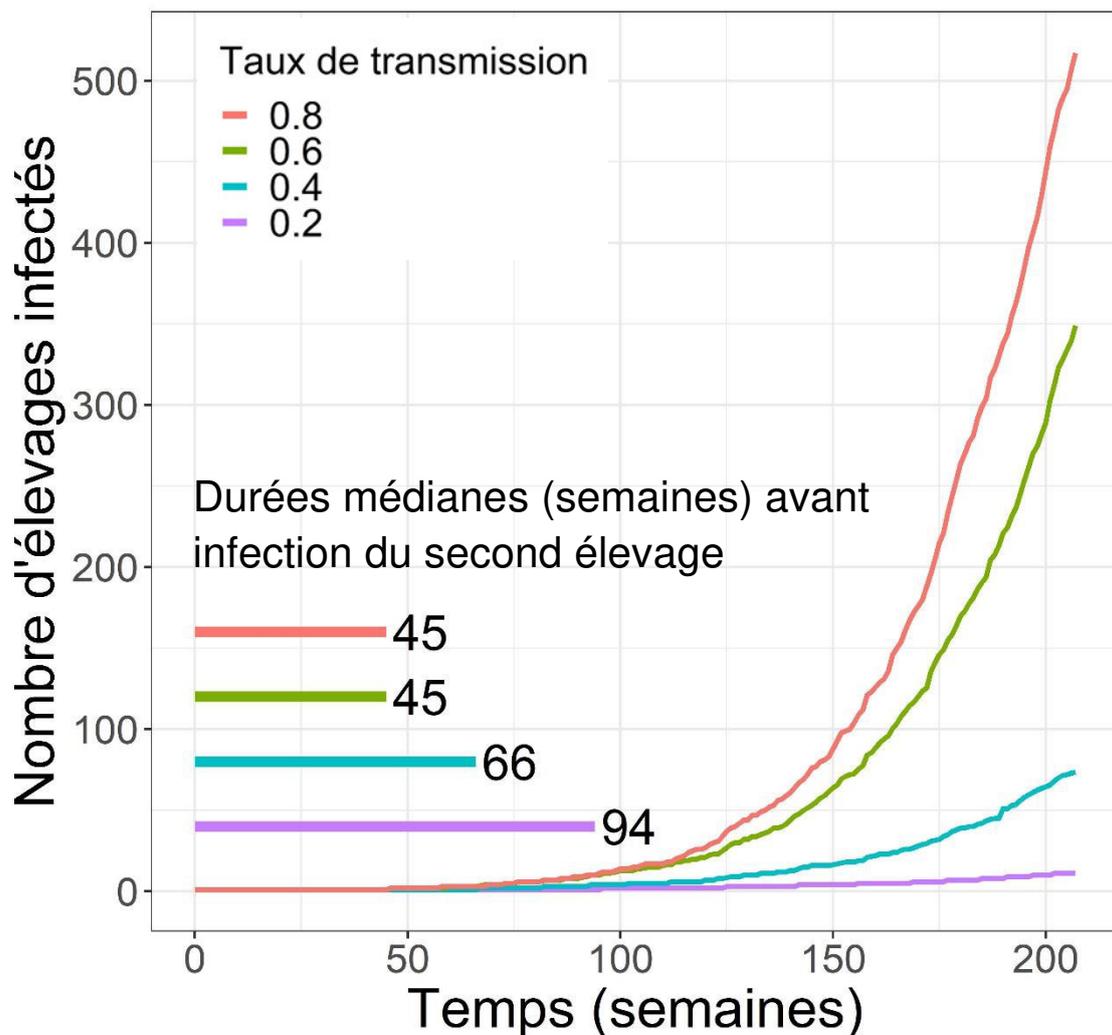
La moitié des naissances simulées correspondaient à des naissances de veaux femelles. Les vaches infectées transmettaient l'infection à leur veau avec une probabilité de 0,2 (Tableau 4). La transmission horizontale au sein des troupeaux se produisait principalement après le vêlage ou l'avortement d'une femelle infectée, car les sécrétions utérines, le placenta et l'avorton sont alors très virulents. Le modèle associait deux taux de transmission différents aux femelles infectées (en supposant une force d'infection fréquence-dépendante), selon leur stade physiologique : nous les avons considérées fortement excrétrices dans les deux mois suivant leur vêlage ou leur avortement, et faiblement excrétrices le reste du temps (Philippon et al., 1970) (Tableau 4). Les bovins étaient réceptifs à l'infection à tous les âges (Philippon et al., 1972).

Peu de données étant disponibles pour modéliser la transmission horizontale de la brucellose bovine au sein du troupeau, nous avons testé quatre valeurs de taux de transmission horizontale ("beta_HighShedder") dans des simulations préliminaires :

0,2, 0,4, 0,6 et 0,8. Nous avons sélectionné deux de ces quatre valeurs (Tableau 4) pour le taux de transmission des bovins fortement excréteurs afin de simuler deux contextes épidémiologiques différents, en fonction de la transmissibilité de la bactérie. La première valeur sélectionnée (0,2) a été associée à un contexte de transmissibilité faible (c'est-à-dire une diffusion lente au sein du troupeau et entre les troupeaux). La deuxième valeur (0,6) a été associée à un contexte de transmissibilité élevée (c'est-à-dire une diffusion plus rapide et plus large au sein du troupeau et entre les troupeaux) (Figure 7).

Figure 7. Évolution du nombre de troupeaux infectés au cours du temps (semaines), pour les quatre valeurs testées du taux de transmission horizontale au sein du troupeau.

Les segments indiquent la durée médiane (semaines) pendant laquelle un seul élevage est infecté. Les résultats apparaissent sur le graphique dans le même ordre que la légende pour les quatre valeurs testées.



La transmission de la maladie entre les troupeaux a été simulée par la vente d'animaux infectés à d'autres troupeaux. Les ventes d'animaux infectés ont entraîné l'introduction des troupeaux acheteurs dans la simulation. Les troupeaux acheteurs de bovins infectés étaient sélectionnés parmi les 610 exploitations-types, en appliquant une probabilité de 0,7 que le troupeau acheteur soit du même type de production (laitière ou allaitante) que le troupeau vendeur (Tableau 4). Les troupeaux acheteurs ont été introduits au moment du mouvement et ont été sélectionnés en priorité parmi les exploitations-types où un achat a été enregistré au moment du mouvement. Chaque fois qu'un élevage simulé a vendu ou prêté plus d'un animal infecté la même semaine, ces animaux ont été introduits au hasard dans un ou plusieurs élevages.

4. Composante surveillance-lutte : conception des scénarios

Le système de surveillance actuel et les mesures de lutte ont été déterminés à partir de la réglementation française (Ministère de l'Agriculture, 2008), et les scénarios de surveillance alternatifs à partir des connaissances disponibles, de sorte à répondre aux obligations de la réglementation européenne (Communauté économique européenne, 1964). Pour chaque simulation, la détection et la confirmation d'une infection provoquait l'abattage systématique de tous les animaux de l'exploitation concernée.

Le scénario de base simulait le système de surveillance actuel. Il était composé de trois dispositifs de surveillance :

- la déclaration obligatoire de tous les avortements détectés pour le dépistage de la brucellose bovine (appelée modalité de surveillance A1 ci-dessous) ;
- le dépistage annuel sur échantillon de sang de 20 % des animaux adultes (24 mois et plus) dans tous les troupeaux allaitants et le dépistage annuel sur lait de tank dans tous les troupeaux laitiers (P1) ;
- le dépistage des animaux adultes achetés (24 mois et plus) s'ils proviennent d'un troupeau à risque ou si leur transport a duré plus de six jours (I1).

Les scénarios alternatifs étaient des combinaisons de différentes versions de ces trois dispositifs de surveillance, y compris les trois modalités décrites ci-dessus et les quatre suivantes :

- la déclaration obligatoire des séries de deux avortements ou plus sur une période de quatre semaines (A2) ;
- la déclaration obligatoire des séries d'avortements avec une campagne de sensibilisation pour augmenter le taux de déclaration (A3) ;
- le dépistage annuel sur sang de tous les animaux adultes (24 mois et plus) dans un tiers des troupeaux allaitants, sélectionnés aléatoirement, et le dépistage annuel sur lait de tank de tous les troupeaux laitiers (P2) ;
- pas de dépistage obligatoire des animaux achetés (I2).

Dans notre modèle, la probabilité de déclarer un avortement dépendait du nombre d'avortements détectés au cours des trois semaines précédentes et de la semaine en cours (c'est-à-dire sur une période de quatre semaines). Le tableau 5 décrit les probabilités de déclaration d'avortement qui correspondent à chaque modalité de déclaration (A1, A2 ou A3). Ces probabilités ont été supposées, sur la base d'une étude sur la déclaration d'avortement (Bronner et al., 2014). Nous avons considéré quatre probabilités de déclaration d'avortement, selon que l'éleveur ait détecté un, deux, trois, ou quatre avortements et plus dans son troupeau en quatre semaines consécutives (Tableau 5).

Tableau 5. Probabilités de déclaration d'avortement, selon la modalité de déclaration (A1, A2 ou A3).

A1 : déclaration obligatoire, pour le dépistage de la brucellose bovine, de tous les avortements détectés

A2 : déclaration obligatoire des séries de deux avortements ou plus sur une période de quatre semaines,

A3 : modalité A2 avec une campagne de sensibilisation pour augmenter le taux de déclaration.

La probabilité de déclarer chaque avortement dépend du nombre d'avortements détectés dans le troupeau en quatre semaines consécutives (un, deux, trois, et quatre ou plus).

| Définition du paramètre <i>Nom dans le code YAML</i> | A1 | | A2 | | A3 | |
|--|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Allaitant | Laitier | Allaitant | Laitier | Allaitant | Laitier |
| Probabilité qu'un avortement détecté soit déclaré, sachant qu'aucun autre avortement n'a été détecté dans le troupeau en quatre semaines consécutives (dont la semaine en cours) <i>proba_declare_isolated_abortion</i> | 0,21 | 0,41 | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| Probabilité que le deuxième avortement détecté en quatre semaines soit déclaré <i>proba_declare_second_abortion</i> | 0,40 | 0,60 | 0,40 | 0,60 | 0,50 | 0,70 |
| Probabilité que le troisième avortement détecté en quatre semaines soit déclaré <i>proba_declare_third_abortion</i> | 0,60 | 0,80 | 0,60 | 0,80 | 0,70 | 0,90 |
| Probabilité que le quatrième avortement détecté ou plus en quatre semaines soit déclaré <i>proba_declare_many_abortions</i> | 0,80 | 0,90 | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 0,95 |

Nous avons fixé pour chaque troupeau simulé les dates du dépistage annuel sur la période des quatre campagnes. Pour les troupeaux allaitants, les semaines de dépistage pour chaque campagne ont été tirées dans une distribution normale ajustée sur les données (en numéros de semaine de l'année civile) de la base de données Sigal, pour l'année 2013 (médiane : 10 ; intervalle interquartiles : [5 ; 18]). Quant aux troupeaux laitiers, les dates ont été choisies au hasard pour chaque campagne.

En ce qui concerne les contrôles à l'introduction, ils ont été réalisés avec une probabilité de 0,06 pour les bovins provenant de troupeaux « non à risque », et systématiquement pour les bovins provenant de troupeaux « à risque ». Les troupeaux dits « à risque » dans cette étude (sous-entendu « à risque accru d'infection et de transmission de la brucellose bovine ») ont été identifiés dans notre jeu de données, comme étant les exploitations dont le taux de rotation des femelles était supérieur à 40 % (Ministère de l'Agriculture, 2008). Pour chaque troupeau, nous avons défini ce taux de rotation comme le rapport entre le nombre de femelles achetées et le nombre total moyen de femelles du troupeau, sur la période des quatre campagnes de production. Les troupeaux à risque représentaient 6 % des exploitations de notre échantillon.

5. Composante économique : Calcul des coûts de surveillance et de lutte

La composante économique a été déterminée par les sorties du modèle et les données économiques pour le coût des mesures de lutte, et uniquement par les données pour le coût des mesures de surveillance, calculé à l'échelle nationale. Pour estimer le coût de la surveillance au niveau national, nous avons calculé les nombres annuels d'interventions et d'analyses associés à chaque système de surveillance, et multiplié ces nombres par les coûts unitaires des interventions et des analyses correspondant.

Nous nous sommes appuyés sur la littérature scientifique pour estimer le montant des honoraires vétérinaires et le coût unitaire des analyses (Hénaux et al., 2015). Les tableaux 6 et 7 résument les coûts que nous avons utilisés pour l'évaluation économique des scénarios de surveillance et de lutte testés. Dans l'étude (Hénaux et al., 2015), les honoraires vétérinaires associés à la déclaration des avortements étaient donnés en AMV (actes médicaux vétérinaires), tels qu'ils sont indiqués dans la réglementation (Ministère de l'Agriculture, 2008), nous avons donc transposé directement leur montant à partir de la valeur d'un AMV en 2020, soit 14,18 € hors taxe (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2012). En revanche, les honoraires vétérinaires associés au dépistage annuel et au contrôle à l'introduction étaient donnés en coûts médians, calculés à partir de données de 2013. Nous avons donc converti ces coûts médians en AMV, puis transposé leur montant en utilisant la valeur d'un AMV en 2020. L'État prend en charge les interventions liées à la déclaration de

l'avortement, et les éleveurs celles liées au dépistage annuel et au contrôle à l'introduction. Nous avons considéré le coût total de chaque système de surveillance comme l'addition des coûts pour l'État et pour la profession agricole.

Tableau 6. Honoraires vétérinaires utilisés pour l'évaluation des coûts de surveillance, en fonction du dispositif de surveillance.

Les montants ont été calculés à partir de la réglementation pour la déclaration des avortements, et de coûts médians pour le dépistage annuel et le contrôle à l'introduction.

| Intervention | Montant des honoraires (€ hors taxe) | | |
|---|--------------------------------------|------------------|---------------------------|
| | Déclaration des avortements | Dépistage annuel | Contrôle à l'introduction |
| Visite du vétérinaire | 28,36 | 24,33 | 28,36 |
| Prélèvement d'organes génitaux, placenta, fœtus pour bactériologie (par animal échantillonné) | 7,09 | - | - |
| Prélèvement pour un test sérologique (par animal échantillonné) | 2,84 | 2,34 | 2,42 |
| Indemnisations des frais de déplacement (par kilomètre) ⁽¹⁾ | 0,32 | - | - |
| Indemnisations de la durée du déplacement (par kilomètre) | 0,95 | - | - |
| Indemnisation forfaitaire des frais et durée de déplacement | - | 8,83 | 13,70 |

⁽¹⁾ L'indemnité kilométrique dépend du type de véhicule et de la distance parcourue. En 2013, elle variait de 0,23 € à 0,43 € HT/km. L'allocation de 0,32 € HT/km correspond aux véhicules de 6 à 7 chevaux fiscaux et à une distance parcourue inférieure à 2 000 km.

Tableau 7. Coûts unitaires des analyses, utilisés pour l'évaluation des coûts de surveillance (médianes et intervalles interquartiles).

| Méthode d'analyse | Coût unitaire (€ hors taxe) (médiane et intervalle interquartile) | |
|--------------------------------------|--|------------------|
| Bactériologie | 75,06 | [47,98 - 89,25] |
| Epreuve de l'antigène tamponné (EAT) | 2,02 | [1,77 - 2,6] |
| Test de fixation du complément (FC) | 6,52 | [5,59 - 8,71] |
| ELISA sur serum individuel | 7,00 | [5,75 - 7,47] |
| ELISA sur lait de tank | 3,245 | [2,875 - 5,1175] |
| ELISA sur mélange de sérums | 8,91 | [6,17 - 11,5] |

Pour les modalités de surveillance actuelles, nous avons utilisé les nombres annuels d'interventions et d'analyses calculés dans une étude précédente (Hénaux et al., 2015) à partir des bases de données Sigal et BDNI, pour la déclaration des avortements (A1), le contrôle à l'introduction (I1) et le dépistage programmé (P1). Pour la modalité alternative de dépistage annuel (P2), la surveillance programmée couvrirait tous les troupeaux laitiers et donc le nombre d'échantillons était le même que pour P1. En ce qui concerne les troupeaux allaitants, chaque dépistage annuel dans un troupeau incluait une visite vétérinaire, et un échantillon de sang pour chaque animal testé. Nous avons estimé le nombre de visites dans P2 en considérant un tiers des visites réalisées dans P1. Etant donné que dans le scénario P2, 100 % des bovins de 24 mois et plus sont testés (contre 20 % dans P1), nous avons estimé le nombre d'échantillons dans P2 en multipliant le nombre d'échantillons de P1 par 0,33/0,2. Chaque échantillon de sang dans P2 a été associé à un test ELISA ou à un test EAT et à un test de fixation du complément, dans les mêmes proportions que dans P1. En ce qui concerne la modalité de déclaration des avortements A2, nous avons estimé le nombre de déclarations d'avortement sur la base du nombre de déclarations dans A1, en supposant que 70% des avortements déclarés faisaient partie d'une série d'avortements (données non publiées), et en considérant une probabilité moyenne de 0,5 de déclarer une série d'avortements. Cette probabilité a été estimée à partir des probabilités de déclarer une série de deux avortements sur une période de quatre semaines dans un troupeau allaitant et un troupeau laitier considérées dans le modèle pour A2 (respectivement 0,4 et 0,6 ; Tableau 5). En ce qui concerne la modalité A3, nous avons estimé le nombre annuel de déclarations d'avortements en France en extrapolant les résultats de notre modèle. Nous avons calculé le rapport moyen du nombre total de déclarations faites lors des simulations avec la modalité A3 sur le nombre de déclarations lors des simulations avec A2 (toutes autres modalités de surveillance étant égales par ailleurs), et nous avons multiplié ce rapport par le nombre de déclarations estimé pour A2 au niveau national. Pour les modalités A2 et A3, une

seule visite vétérinaire a été associée à la déclaration d'une série de deux avortements. Chaque avortement de la série a été associé à un échantillon de sang et, dans les mêmes proportions que pour A1, à un échantillon de placenta, de fœtus ou d'organe génital, à un test ELISA sur sérum individuel ou à un test EAT, à un test de fixation du complément et à une bactériologie.

Pour calculer les coûts de lutte, nous avons pris en compte les indemnités minimales que les éleveurs reçoivent de l'État, lorsque leur troupeau est infecté. Ces indemnités concernent l'abattage de tous les animaux de leur troupeau, leur remplacement et la désinfection de leurs bâtiments. Nous avons estimé les indemnités pour l'abattage et le remplacement des bovins d'un troupeau à partir des indemnités indiquées dans la réglementation pour l'abattage diagnostic de bovins dans le cadre d'une suspicion brucellique (Ministère de l'Agriculture and Ministère des Comptes publics, 2009, 2001). Les montants pris en compte sont les suivants :

- 1 075 € par bovin âgé de moins de 24 mois, pour son abattage et son remplacement ;
- 2 075 € par bovin de 24 mois ou plus, pour son abattage et son remplacement.

Nous avons estimé l'indemnité pour la désinfection des bâtiments à 15 € par bovin (quel que soit son âge), à partir des coûts des foyers de 2012 en France (données non publiées du ministère de l'agriculture).

Dans le calcul des coûts de lutte, nous n'avons pas inclus les autres indemnités potentielles et les coûts directs ou indirects pour les éleveurs qui ne sont pas couverts par les indemnités, car ils sont très variables et aucune donnée n'était disponible pour leur estimation.

Les coûts totaux associés aux mesures de lutte ont été calculés pour chaque simulation sur la base du nombre de troupeaux infectés et du nombre d'animaux dans ces troupeaux au moment de la première confirmation de l'infection d'un troupeau.

6. Évaluation de l'efficacité des scénarios de surveillance-lutte

Pour chaque scénario testé, nous avons évalué la performance du système de surveillance à travers deux indicateurs: 1) le délai médian entre l'introduction de l'infection dans le modèle et la confirmation de l'infection dans un troupeau (i.e. précocité), 2) le nombre médian de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection.

Nous avons estimé le coût global de chaque scénario, qui est le coût médian des mesures de surveillance et de lutte correspondantes. Enfin, nous avons évalué et

comparé l'efficacité des scénarios en nous basant sur leurs différences en termes d'indicateurs de performance et de coût global.

7. Conditions initiales et procédure de simulation

Afin de réduire le temps de calcul des simulations, chaque simulation a commencé avec un seul troupeau, choisi au hasard parmi les 610 exploitations représentatives. Nous avons introduit un animal adulte infecté dans l'élevage initial à une semaine aléatoire au cours de la première campagne de production. Les simulations se terminaient dès qu'un élevage infecté était confirmé, car nous supposons que les élevages infectés seraient rapidement détectés (par le système de surveillance ou les enquêtes épidémiologiques) et confirmés puis assainis. À la fin des simulations, certains élevages pouvaient donc être détectés et en cours de confirmation. Les simulations se terminaient systématiquement après quatre campagnes de production si aucune infection n'était confirmée au cours de cette période.

Nous avons testé sept scénarios de surveillance, chacun dans les deux contextes épidémiologiques (transmissibilités faible et élevée). L'ensemble des combinaisons possibles de scénarios de surveillance et de contextes épidémiologiques constituaient quatorze « plans d'expérience ». Pour chaque plan d'expérience, nous avons effectué 2 000 simulations, soit 28 000 simulations au total.

III. Résultats

1. Simulations sans détection de l'infection

Dans 28 % de toutes les simulations (7 827 simulations sur 28 000), aucune infection n'a été confirmée sur la période des quatre campagnes. Cela correspond à deux situations : 1) l'infection a persisté pendant les quatre campagnes et n'a jamais été détectée (dans 86 % des cas ; 6 715/7 827) ; 2) l'infection a disparu spontanément de tous les troupeaux infectés avant toute détection (les animaux infectés ont été abattus ou sont morts avant leur détection) (dans 14 % des cas).

Ces situations se produisent plus fréquemment dans le contexte d'une transmissibilité plus faible : elles représentent 36 % de toutes les simulations lorsque le taux de transmission horizontale est de 0,2, et 19 % lorsqu'il est de 0,6. Dans les deux contextes, les proportions de simulations avec et sans persistance de l'infection étaient similaires.

2. Simulations avec détection de l'infection

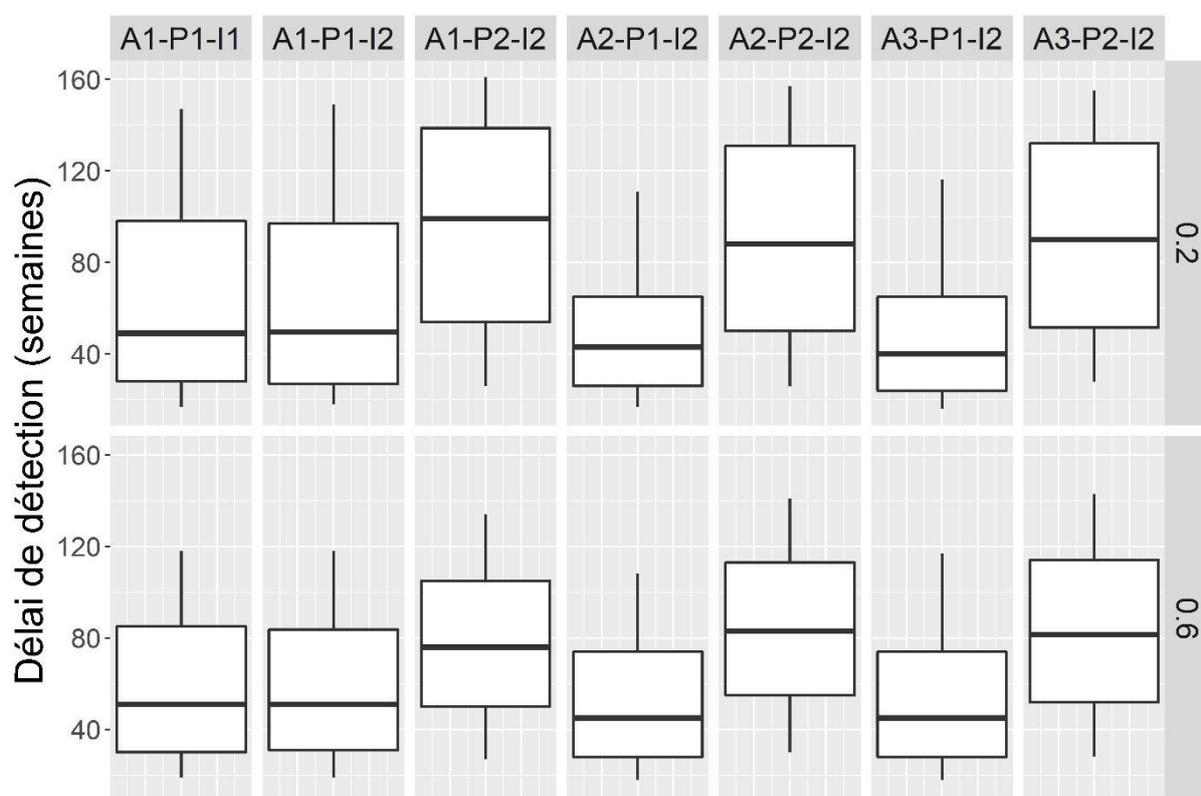
a. Délai de détection

Le délai de détection était la durée entre l'introduction de l'infection dans le modèle et la première confirmation de l'infection dans un troupeau simulé. Pour tous les plans d'expérience, le délai de détection médian était compris entre 40 et 99 semaines pour le taux de transmission le plus faible et entre 45 et 83 semaines pour le taux de transmission le plus élevé (Figure 8). Ce délai n'a pas varié de manière significative entre les scénarios de surveillance, ni entre les contextes épidémiologiques (comme le suggère le chevauchement des intervalles interquartiles). Cependant, nous avons pu noter quatre tendances. 1) L'arrêt des contrôles à l'introduction (I2) n'a pas semblé affecter le délai de détection (comparaison entre les scénarios A1-P1-I1 et A1-P1-I2). 2) Lorsque seules des séries d'avortements devaient être déclarées (A2 et A3), la variabilité du délai de détection entre les simulations était réduite, et ce de manière plus sensible dans le contexte d'une transmissibilité moindre de l'infection. 3) Lorsque seul un tiers des troupeaux allaitants était contrôlé chaque année (P2), le délai de détection avait tendance à augmenter et à être plus variable entre les simulations, et ces deux tendances étaient plus sensibles dans le contexte d'une transmissibilité plus faible de l'infection. 4) La variabilité du délai de détection entre les simulations était plus faible pour tous les scénarios de surveillance dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée de l'infection.

En conclusion, la couverture du dépistage annuel (P1 contre P2) semble affecter à la fois la valeur médiane et la variabilité du délai de détection, la déclaration d'avortement (A1 contre A2 et A3) semble n'affecter que sa variabilité, et la présence ou l'absence de contrôles à l'introduction (I1 contre I2) semble n'avoir aucun effet sur le délai de détection.

Figure 8. Délai entre l'introduction de l'infection dans le modèle et la première confirmation d'une infection dans un troupeau (délai de détection), pour chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission).

Lignes centrales : médianes ; limites horizontales des rectangles : premier et troisième quartiles ; extrémités des lignes verticales : premier et neuvième déciles.



b. Nombre de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection

Pour chaque scénario, nous avons examiné le nombre de troupeaux infectés lorsque la première confirmation d'une infection est survenue dans le modèle. Dans 80 % des simulations, pour tous les scénarios de surveillance, ce nombre variait entre un et huit troupeaux infectés dans le contexte d'une transmissibilité plus faible, et entre un et

vingt-sept troupeaux infectés dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée (Tableau 8).

Nous n'avons pas observé de différence significative du nombre de troupeaux infectés à la confirmation de l'infection parmi tous les plans d'expérience. Cependant, nous avons noté des tendances différentes, en fonction du contexte épidémiologique. Dans le contexte d'une transmissibilité plus faible, le nombre médian de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection était le même pour tous les scénarios de surveillance (un troupeau : celui dont l'infection a été confirmée), mais sa variabilité (intervalle interquartile) augmentait lorsque seulement un tiers des troupeaux allaitants étaient contrôlés chaque année (P2). Dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée, cette modalité de surveillance (P2) a été associée à l'augmentation à la fois de la valeur médiane et de la variabilité du nombre de troupeaux infectés. Dans le même contexte épidémiologique, avec les modalités P2 et I2, le passage de la déclaration de tous les avortements (A1) à la déclaration des séries d'avortements (A2 et A3) a augmenté à la fois la valeur médiane et la variabilité du nombre de troupeaux infectés. Cependant, l'augmentation de la probabilité de déclaration (A3 contre A2) n'a pas eu d'effet sur le nombre de troupeaux infectés.

Tableau 8. Nombre de troupeaux infectés au moment de la première confirmation de l'infection.

Le tableau présente, pour chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission) : la médiane, les premier et neuvième déciles entre crochets, et le maximum entre parenthèses (le minimum était d'un troupeau infecté dans tous les plans d'expérience).

| Taux de transmission | A1-P1-I1 | A1-P1-I2 | A1-P2-I2 | A2-P1-I2 | A2-P2-I2 | A3-P1-I2 | A3-P2-I2 |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,2 | 1 [1-3] (19) | 1 [1-3] (25) | 1 [1-7] (33) | 1 [1-3] (27) | 1 [1-8] (41) | 1 [1-3] (18) | 1 [1-7] (30) |
| 0,6 | 1 [1-8] (57) | 1 [1-8] (77) | 2 [1-19] (92) | 1 [1-11] (71) | 3 [1-27] (113) | 1 [1-10] (74) | 3 [1-27] (96) |

c. Précocité de chaque dispositif de surveillance

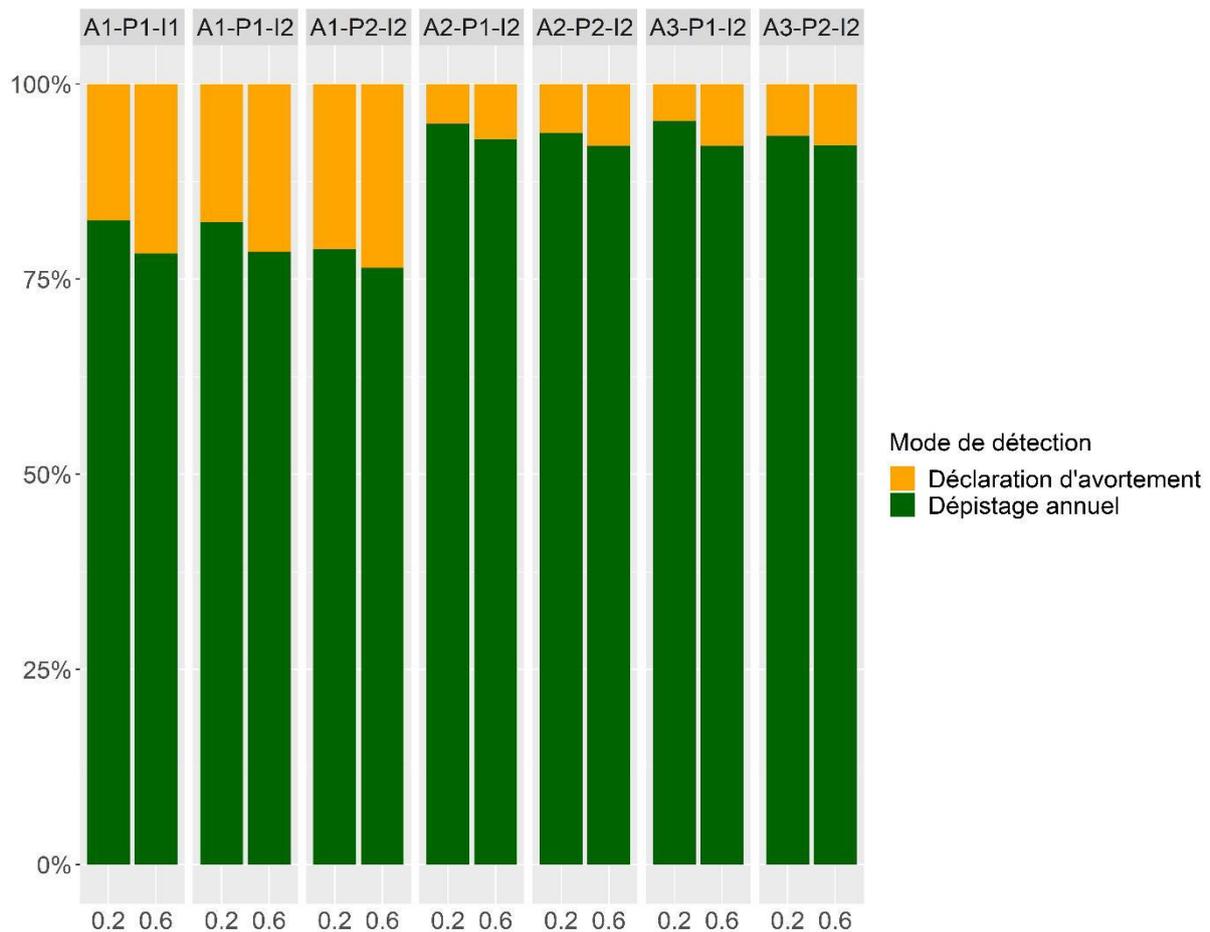
La proportion médiane d'élevages infectés au cours de la simulation qui avaient été détectés au moment de la première confirmation d'infection était de 100 % pour tous les plans d'expérience, hormis ceux qui combinaient un dépistage annuel partiel (P2) et un contexte de transmissibilité élevée. En effet, lorsque la transmissibilité était élevée, pour les scénarios A1-P2-I2, A2-P2-I2 et A3-P2-I2, entre 41 % et 66 % des élevages infectés au cours de la simulation avaient été détectés au moment de la première confirmation d'infection. Quel que soit le plan d'expérience, entre 76% et 95% des troupeaux infectés détectés (confirmés ou en attente de confirmation) l'avaient été par le dépistage annuel des troupeaux (P1 et P2). Quasiment aucun troupeau infecté

n'a été détecté par les contrôles à l'introduction (0,07 % en moyenne) sur l'ensemble des simulations du scénario de surveillance actuel (A1-P1-I1), seul scénario avec une modalité de contrôle à l'introduction (I1) (Figure 9). Ceci est certainement dû à la faible probabilité de contrôle à l'introduction (0,06 pour les élevages non à risque, 1 pour les élevages à risque, qui représentent 6 % des exploitations de notre échantillon).

Pour chaque plan d'expérience, nous n'avons observé aucune différence significative dans la proportion de détections par chaque dispositif de surveillance entre les deux contextes épidémiologiques. Cependant, nous avons noté que la proportion de détections par la déclaration des avortements a diminué de plus de 10% en passant de la déclaration de tous les avortements (A1) à la déclaration des séries d'avortements (A2 et A3), au profit de la surveillance programmée. Ces proportions n'ont pas changé lorsque la probabilité de déclarer des séries d'avortements était plus élevée (A2 contre A3).

Figure 9. Proportions des détections d'infection dues à la déclaration d'avortement (A1, A2 ou A3) et au dépistage annuel (P1 ou P2), pour chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission).

La modalité de contrôle à l'introduction n'est pas représentée sur ce graphique ; elle n'a presque jamais permis la détection de l'infection (0,07 % des détections en moyenne) dans le scénario où elle est présente (A1-P1-I1).



d. Proportion de détection en fonction du type de production

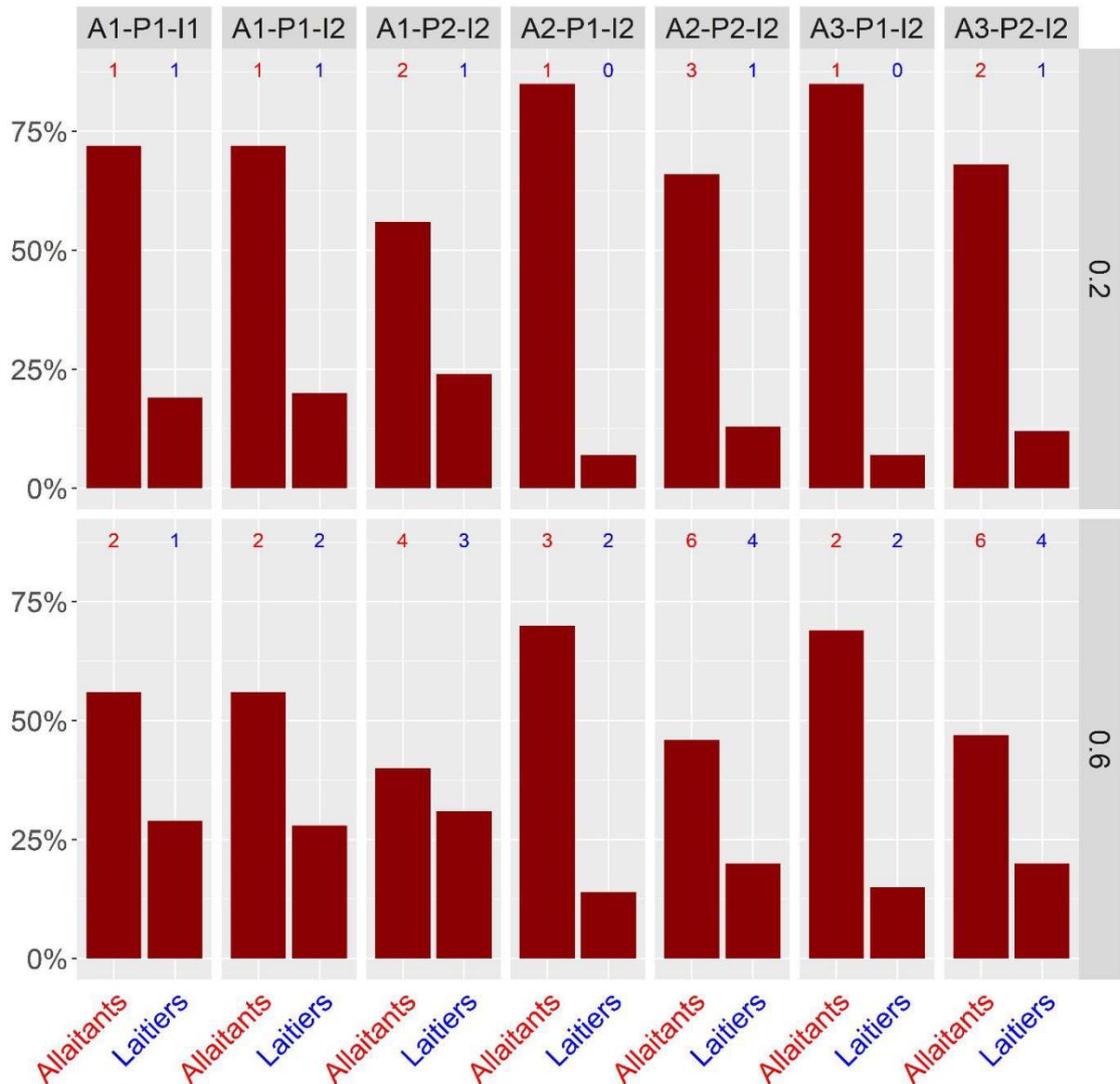
Dans tous les plans d'expérience, entre 1 et 6 troupeaux ont été infectés en moyenne, avant la première confirmation d'une infection. Dans le contexte d'une transmissibilité plus faible, c'était en moyenne 0 à 1 troupeau laitier infecté et 1 à 3 troupeaux allaitants, et dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée, c'était en moyenne 1 à 4 troupeaux laitiers et 2 à 6 troupeaux bovins (Figure 10).

En production allaitante, la proportion de troupeaux infectés détectés au moment de la première confirmation était toujours plus élevée qu'en production laitière. Cette différence était plus sensible dans le contexte d'une transmissibilité plus faible : en moyenne, 72 % des troupeaux allaitants infectés et seulement 15 % des troupeaux

laitiers infectés avaient été récemment détectés, contre, respectivement, 55 % et 22 % dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée. Le passage de la déclaration de tous les avortements (A1) à la déclaration des séries d'avortements (A2 et A3) a accentué cet écart, en augmentant la proportion de troupeaux infectés détectés en production allaitante et en la réduisant en production laitière. Cela est très probablement dû à la probabilité plus élevée de déclarer un avortement isolé en production laitière (Tableau 5). Au contraire, en passant du dépistage annuel de tous les troupeaux allaitants (P1) au dépistage annuel d'un tiers de ces troupeaux (P2), l'écart entre les proportions de troupeaux infectés détectés a été réduit par une diminution de cette proportion en production allaitante et une augmentation en production laitière.

Figure 10. Proportion moyenne de troupeaux infectés ayant été détectés par le système de surveillance, pour chaque type de production, chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission).

Les chiffres au-dessus des barres représentent le nombre moyen de troupeaux infectés par simulation pour chaque type de production et chaque plan d'expérience. Nous n'avons pris en compte que les simulations où l'infection a été confirmée (72 % de toutes les simulations).



3. Coût global des mesures de surveillance et de lutte

Le nombre d'interventions techniques (visites vétérinaires, échantillons et analyses) estimé pour chaque modalité de surveillance à l'échelle nationale et les coûts associés sont indiqués dans les tableaux 9 et 10, respectivement. Le tableau 11 présente trois coûts pour chaque plan d'expérience : 1) le coût annuel de surveillance, calculé en additionnant le coût estimé de chaque modalité de surveillance mise en œuvre ; 2) les coûts médians de lutte, calculés à partir du nombre et de la taille des troupeaux infectés au moment de la première confirmation de l'infection ; 3) le coût global, calculé en additionnant les coûts annuels de surveillance et les coûts de lutte correspondants.

Tableau 9. Estimation du nombre annuel d'interventions techniques et d'analyses réalisées à l'échelle nationale, pour chaque modalité des trois dispositifs de surveillance.

(ELISA : enzyme-linked immunosorbent assay (dosage immuno-enzymatique) ; EAT : épreuve de l'antigène tamponné ; FC : test de fixation du complément)

| Intervention / Analyse | A1 | A2 | A3 | P1 (allaitants) | P1,P2 (laitiers) | P2 (allaitants) | I1 | I2 |
|-----------------------------|--|---|---|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|----|
| Visites vétérinaires | 60 578 | 10 601 | 11 605 | 125 139 | - | 41 713 | 48 064 | 0 |
| Échantillons | 58 213 ⁽¹⁾ 11 305 ^c | 20 375 ⁽¹⁾ 3 957 ⁽²⁾ | 22 305 ⁽¹⁾ 4 332 ⁽²⁾ | 1 453 004 ⁽¹⁾ | - | 2 421 673 ⁽¹⁾ | 138 399 ⁽¹⁾ | 0 |
| ELISA sur lait de tank | - | - | - | - | 62 949 | - | - | - |
| ELISA sur sérum individuel | 21 685 | 5 931 | 6 493 | 21 266 | - | 35 070 | 33 146 | 0 |
| ELISA sur mélange de sérums | - | | | 793 412 | - | 1 308 408 | 10 975 | 0 |
| EAT | 55 836 | 15 271 | 16 718 | 653 812 | - | 1 078 195 | 141 855 | 0 |
| FC | 6 957 | 2 435 | 2 666 | 1 474 | - | 2 457 | 784 | 0 |
| Bactériologie | 2 391 | 837 | 916 | - | - | - | - | - |

⁽¹⁾ Prélèvements de sang ; ⁽²⁾ Prélèvements d'organes génitaux (femelles), placenta ou fœtus.

Tableau 10. Estimation des coûts annuels (€ hors taxe) des interventions techniques et des analyses réalisées à l'échelle nationale, pour chaque modalité des trois dispositifs de surveillance.

| Intervention / Analyse | A1 | A2 | A3 | P1 (allaitants) | P1,P2 (laitiers) | P2 (allaitants) | I1 | I2 |
|-------------------------------|---|--|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------|
| Visites vétérinaires | 2 867 763 | 501 858 | 549 400 | 4 148 547 | - | 1 382 849 | 2 021 514 | 0 |
| Échantillons | 165 092 ⁽¹⁾ 80 152 ⁽²⁾ | 57 782 ⁽¹⁾ 28 053 ⁽²⁾ | 63 256 ⁽¹⁾ 30 711 ⁽²⁾ | 3 406 660 ⁽¹⁾ | - | 5 677 766 ⁽¹⁾ | 334 404 ⁽¹⁾ | 0 |
| ELISA sur lait de tank | - | - | - | - | 204 270 | - | - | - |
| ELISA sur sérum individuel | 151 795 | 41 517 | 45 449 | 148 862 | - | 245 487 | 232 022 | 0 |
| ELISA sur mélange de sérums | | | | 7 069 301 | - | 11 657 919 | 97 787 | 0 |
| EAT | 112 789 | 30 848 | 33 770 | 1 320 700 | - | 2 177 955 | 286 547 | 0 |
| FC | 45 360 | 15 876 | 17 380 | 9 610 | - | 16 017 | 5 112 | 0 |
| Bactériologie | 179 468 | 62 814 | 68 764 | - | - | - | - | - |
| TOTAL | 3 602 419 | 738 749 | 808 730 | 16 103 680 | 204 270 | 21 157 993 | 2 977 386 | 0 |

⁽¹⁾ Prélèvements de sang ; ⁽²⁾ Prélèvements d'organes génitaux (femelles), placenta ou fœtus.

Tableau 11. Estimation des coûts annuels de surveillance et de lutte (millions € hors taxe) associés à chaque plan d'expérience.

Les coûts sont présentés pour chaque scénario de surveillance et chaque contexte épidémiologique (taux de transmission, noté « Beta »). Pour les coûts de lutte et les coûts totaux, le tableau indique la médiane, et les premier et neuvième déciles entre crochets.

| Coût annuel (millions € hors taxe) | Beta | A1-P1-I1 | A1-P1-I2 | A1-P2-I2 | A2-P1-I2 | A2-P2-I2 | A3-P1-I2 | A3-P2-I2 |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Surveillance | 0,2 et 0,6 | 22,887 | 19,910 | 24,965 | 17,047 | 22,101 | 17,117 | 22,171 |
| Lutte | 0,2 | 0,154 [0,023-0,654] | 0,168 [0,027-0,700] | 0,259 [0,042-1,750] | 0,150 [0,016-0,540] | 0,258 [0,041-1,940] | 0,146 [0,024-0,609] | 0,260 [0,036-1,663] |
| | 0,6 | 0,221 [0,038-1,627] | 0,226 [0,035-1,676] | 0,383 [0,068-4,222] | 0,226 [0,029-2,216] | 0,670 [0,054-5,766] | 0,220 [0,034-2,269] | 0,626 [0,060-5,900] |
| Total | 0,2 | 23,041 [22,911-23,542] | 20,079 [19,938-20,610] | 25,223 [25,007-26,714] | 17,197 [17,063-17,587] | 22,359 [22,142-24,041] | 17,263 [17,141-17,725] | 22,431 [22,207-23,834] |
| | 0,6 | 23,108 [22,926-24,515] | 20,136 [19,945-21,586] | 25,347 [25,033-29,187] | 17,272 [17,076-19,262] | 22,771 [22,155-27,867] | 17,337 [17,150-19,385] | 22,797 [22,231-28,071] |

Nous avons observé que, pour tous les scénarios de surveillance-lutte, les coûts globaux médians étaient similaires entre les deux contextes épidémiologiques. Cependant, leur variabilité était plus importante dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée, en raison de la plus grande variabilité du nombre de troupeaux infectés au moment de la détection (Tableau 8) dans ce contexte. Dans ce qui suit, nous ne précisons pas le contexte épidémiologique des résultats, car les observations s'appliquent aux deux contextes.

Les scénarios les moins coûteux, en prenant en compte la surveillance et la lutte, sont ceux sans contrôle à l'introduction (I2), avec le dépistage annuel de tous les troupeaux allaitants (P1), et avec la déclaration obligatoire des séries d'avortements (A2 et A3). Ces scénarios ont réduit le coût global médian d'environ 26 % (- 6 millions €) par rapport au scénario actuel de surveillance-lutte (A1-P1-I1) (Tableau 11).

Tous les scénarios dans lesquels seul un tiers des troupeaux allaitants est dépisté chaque année (P2) étaient associés à un coût de lutte plus élevé, et étaient globalement soit aussi coûteux (A2-P2-I2 ; A3-P2-I2), soit plus coûteux (A1-P2-I2) que

le scénario de surveillance-lutte actuel. Les coûts globaux médians des scénarios avec dépistage annuel d'un tiers des troupeaux allaitants (P2) étaient systématiquement supérieurs d'environ 5 millions d'euros (25 à 29 %) aux coûts globaux médians des scénarios avec dépistage annuel de tous les troupeaux allaitants (P1), toutes les autres modalités étant égales. Les coûts globaux médians des scénarios avec déclaration obligatoire des séries d'avortements (A2 et A3) étaient systématiquement inférieurs d'environ 3 millions d'euros (12 à 15 %) aux coûts globaux médians des scénarios avec déclaration obligatoire de tous les avortements (A1), toutes les autres modalités étant égales. La suppression des contrôles à l'introduction du système de surveillance actuel (c'est-à-dire le scénario A1-P1-I2) a réduit le coût global médian (coûts de surveillance et de lutte) d'environ 13 % (- 3 millions €).

4. Identification des scénarios les plus efficaces

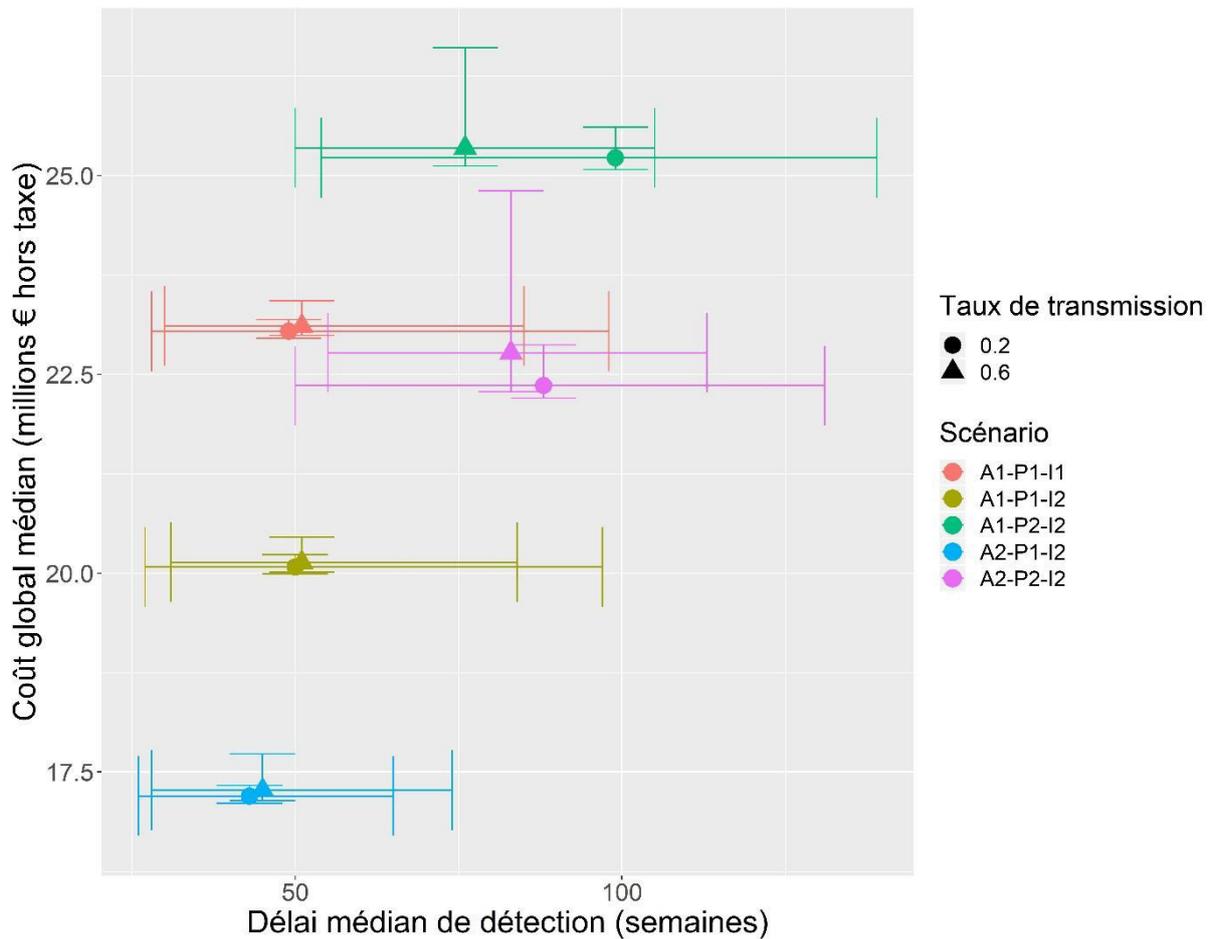
a. Quel que soit le contexte épidémiologique

Pour les deux contextes épidémiologiques, le dépistage annuel semblait être le dispositif qui influençait le plus le coût et l'efficacité des systèmes de surveillance-lutte que nous avons testés dans notre modèle (Figure 11). En passant du dépistage annuel de tous les troupeaux allaitants (P1) au dépistage annuel d'un tiers des troupeaux (P2), le coût de la surveillance a augmenté de 25 à 29 % (Tableau 11), et la performance du système de surveillance a diminué, avec un délai de détection plus long (diminution de la précocité) et un nombre plus élevé de troupeaux infectés au moment de la détection, ce qui a également entraîné une augmentation des coûts de lutte.

Dans les deux contextes épidémiologiques, la suppression des contrôles à l'introduction a amélioré l'efficacité du système de surveillance-lutte (Figure 11). En effet, cette suppression a réduit le coût de la surveillance (Tableau 11) sans affecter la précocité de détection du système de surveillance (Figure 8, Tableau 8), et donc sans affecter les coûts de lutte (Tableau 11).

Le passage de la déclaration de tous les avortements (A1) à la déclaration des séries d'avortements (A2 et A3) a légèrement amélioré l'efficacité du système de surveillance-lutte, puisqu'il a permis de réduire son coût global de 12 à 15 % sans diminuer sa précocité de manière significative (Tableaux 8 et 11, Figures 8 et 11). L'amélioration de la probabilité de déclarer des séries d'avortements (A3), telle que testée dans ce modèle, n'a pas amélioré l'efficacité du système.

Figure 11. Relation entre le coût global de la surveillance et de la lutte (millions € hors taxe) et le délai de détection de l'infection, pour chaque scénario testé. Les intervalles interquartiles sont représentés de part et d'autre des points, en abscisse et en ordonnée. Les scénarios A3-P1-I2 et A3-P2-I2 ne sont pas représentés car ils sont superposés respectivement aux scénarios A2-P1-I2 et A2-P2-I2 pour le contexte épidémiologique correspondant.



b. Selon le contexte épidémiologique

Le contexte épidémiologique n'influait pas de manière sensible l'efficacité des systèmes de surveillance-lutte (Figure 11). L'augmentation de la transmissibilité de l'infection a eu pour principal effet d'accroître la variabilité des résultats, comme le nombre de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection, et donc le coût des mesures de lutte (Tableaux 8 et 11). Les coûts globaux sont restés similaires pour chaque scénario dans les deux contextes épidémiologiques.

Néanmoins, nous avons constaté que le dépistage annuel d'un tiers des troupeaux allaitants (P2) au lieu de la totalité (P1) avait un effet négatif plus sensible sur l'efficacité du système de surveillance-lutte dans un contexte de transmissibilité plus

élevée. En effet, dans ce contexte épidémiologique, la valeur médiane et la variabilité du nombre de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection ont augmenté de manière plus sensible lors du passage de la modalité P1 à la modalité P2, toutes les autres modalités étant égales (Tableau 8).

Nous avons également constaté que la déclaration de séries d'avortements (A2 et A3) au lieu de tous les avortements (A1) améliorerait moins l'efficacité du système de surveillance-lutte dans le contexte d'une transmissibilité plus élevée et dans les scénarios avec les modalités P2 et I2. En effet, dans ces cas particuliers, ce changement de modalités (toutes les autres modalités étant égales) a eu un effet négatif plus sensible sur la précocité de détection du système de surveillance, car il a augmenté à la fois la valeur médiane et la variabilité du nombre de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection (Tableau 8), sans différence significative toutefois.

5. Analyse de la sensibilité des résultats de simulation aux paramètres d'entrée

Nous avons réalisé une analyse de sensibilité afin d'identifier les paramètres d'entrée ayant un impact fort sur la variabilité des principales sorties du modèle. Nous avons testé cinq paramètres d'entrée pour lesquels nous avons peu ou pas d'information, et qui étaient susceptibles d'influencer fortement les sorties du modèle :

- Le taux de transmission horizontale ;
- La probabilité de déclaration du premier avortement ;
- La probabilité d'avortement des femelles saines ;
- La probabilité d'avortement des femelles infectées ;
- La probabilité de vente à un élevage de même type de production.

Nous avons testé trois valeurs pour chaque paramètre : la valeur nominale +/- 20 %. Nous avons utilisé la méthode des plans factoriels fractionnaires (Kobilinsky et al., 2017) afin d'obtenir un nombre optimal de combinaisons de valeurs pour les cinq paramètres testés, en utilisant le package « Planor » du logiciel de statistiques R. Au total, nous avons simulé 81 combinaisons de valeurs pour ces cinq paramètres d'entrée. Pour chaque combinaison, nous avons réalisé 200 simulations, avec le scénario de surveillance actuel pour l'ensemble des simulations. Nous avons sélectionné aléatoirement 200 élevages bovins parmi notre échantillon d'élevages représentatifs qui ont servi d'élevage index dans les simulations ; la même sélection d'élevages a été utilisée pour les simulations de chaque combinaison de valeurs. Nous avons ensuite réalisé une analyse de variance (ANOVA) des sorties du modèle, afin de mesurer l'effet des paramètres d'entrée sur la variabilité des sorties.

La figure 12 présente la contribution des principaux paramètres d'influence à la variabilité des cinq sorties du modèle observées :

- Le délai de détection (« delai_detection ») ;
- Le nombre d'élevages (quel que soit le type de production) infectés en cours de simulation (« nb_elev_inf ») ;
- Le nombre d'élevages laitiers infectés en cours de simulation (« nb_elev_dairy_inf ») ;
- Le nombre d'élevages allaitants infectés en cours de simulation (« nb_elev_beef_inf ») ;
- Le nombre d'élevages (quel que soit le type de production) infectés à la première confirmation d'infection (« nb_elev_inf_final »).

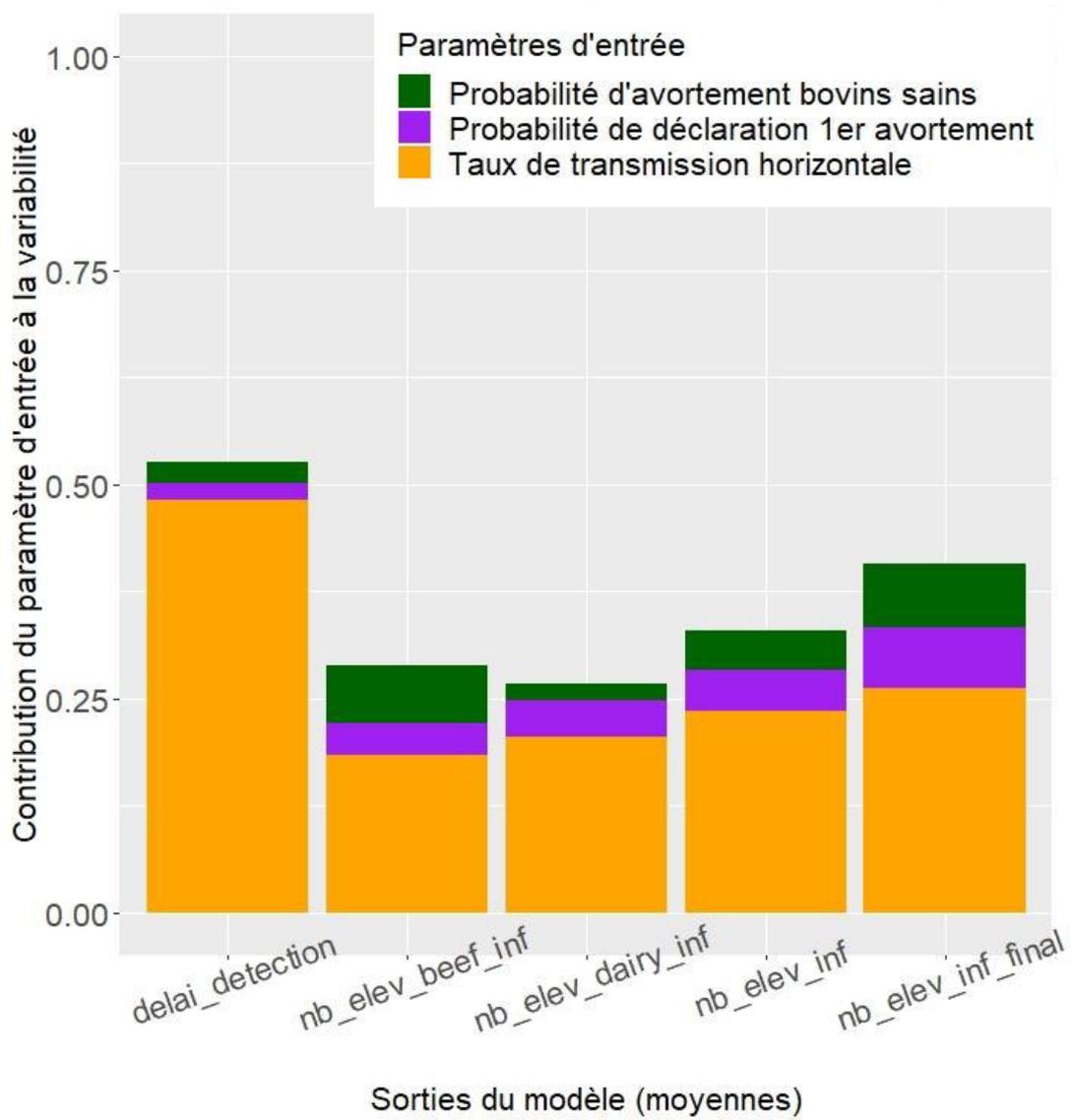
On peut observer que les paramètres ayant la plus grande influence sur les sorties du modèle sont le taux de transmission horizontale - qui contribue à près de 50 % à la variabilité du délai de détection - et, dans une moindre mesure, la probabilité d'avortement des femelles saines et la probabilité de déclaration du premier avortement (Figure 12). Lorsque l'on fixait le type de production des élevages initiaux (laitier ou allaitant), un autre paramètre d'entrée influençait de manière non négligeable l'ensemble des sorties observées : la probabilité de vente à un élevage de même type de production. Les deux paramètres dont l'estimation devrait être améliorée en priorité pour augmenter la fiabilité du modèle, compte tenu des résultats de cette analyse de sensibilité, sont donc le taux de transmission horizontale et la probabilité de vente à un élevage de même type de production.

On constate également que les paramètres d'entrée testés ne contribuent pas à l'ensemble de la variabilité des cinq sorties observées (Figure 12). Entre 50 et 75 % de leur variabilité reste inexplicée. Cette part de variabilité résiduelle pourrait être due à trois éléments : 1) l'interaction entre les paramètres testés, qui est négligeable ici et ne permet donc pas d'expliquer cette part résiduelle ; 2) la variabilité d'autres paramètres d'entrée non testés dans cette analyse de sensibilité, (ex. : l'âge de mise à la reproduction, la durée de gestation, la durée du post partum, la période de forte excrétion bactérienne) ; 3) la variabilité intrinsèque du modèle (ex. : le stade physiologique des femelles achetées et vendues, la distribution des âges et des stades physiologiques des animaux dans les élevages au moment de l'achat d'un bovin infecté, le choix de l'élevage achetant un bovin infecté).

Figure 12. Part de la variabilité pour cinq sorties du modèle expliquée par les paramètres d'entrée les plus influents.

Cette analyse a été réalisée sans distinction du type de production de l'élevage initial. Les trois paramètres cités sur cette figure font partie d'une présélection de cinq paramètres : le taux de transmission horizontale, la probabilité de déclaration du premier avortement, la probabilité d'avortement des femelles saines, la probabilité

d'avortement des femelles infectées, et la probabilité de vente à un élevage de même type de production.



IV. Discussion

1. Principaux résultats de notre étude

Notre objectif était d'évaluer l'efficacité des scénarios actuels et alternatifs de surveillance-lutte de la brucellose bovine en France, dans le contexte d'un statut indemne, et de l'introduction de la maladie dans le pays par l'achat d'un animal infecté. Pour atteindre cet objectif, nous avons développé un modèle de simulation mécaniste, stochastique et individu-centré. Nous avons testé *via* ce modèle sept scénarios de surveillance, chacun dans deux contextes épidémiologiques (transmissibilités faible et élevée). Tous les scénarios testés étaient conformes à la réglementation européenne (Communauté économique européenne, 1964). Nous avons conçu les scénarios en fonction des connaissances disponibles sur les mesures de surveillance actuellement mises en œuvre dans d'autres pays européens (Hénaux et al., 2018). Nous avons constaté que, en contexte de faible comme de forte transmissibilité, aucun des sept systèmes de surveillance-lutte testés n'était significativement plus efficace que les autres. Cependant nous avons identifié des effets spécifiques des modalités alternatives de surveillance sur l'efficacité du système de surveillance-lutte dans son ensemble : 1) une amélioration de l'efficacité lors de la suppression des contrôles à l'introduction, 2) une diminution de l'efficacité lors du dépistage annuel d'un tiers des troupeaux allaitants au lieu de la totalité, et 3) une légère amélioration de l'efficacité lors de la déclaration de séries d'avortements (deux ou plus en un mois) au lieu de tout avortement.

Les troupeaux allaitants infectés semblaient être proportionnellement plus détectés que les troupeaux laitiers, et principalement par le dépistage annuel. Ce résultat est contre-intuitif car, dans les troupeaux laitiers, la proportion d'animaux soumis à un dépistage annuel (par le biais de l'analyse sur lait de tank) est censée être plus élevée que les 20 % d'animaux testés dans les troupeaux allaitants. Les sensibilités et les spécificités des méthodes d'analyse utilisées dans chaque type de production sont très proches et ne peuvent donc pas expliquer ce phénomène. Cependant, dans les troupeaux allaitants, la sélection annuelle des animaux à tester était basée sur le risque dans notre modèle, d'après les recommandations du ministère de l'Agriculture (Direction générale de l'Alimentation, 2005), alors que dans les troupeaux laitiers, elle était basée sur leur stade de lactation (seules les vaches en lactation étaient testées). Par exemple, dans les troupeaux allaitants, tous les animaux achetés après le dernier dépistage annuel et non testés à l'achat étaient prioritaires pour le dépistage annuel suivant. Cela pourrait expliquer notre observation sur la proportion de troupeaux infectés détectés dans chaque type de production.

2. Amélioration de la précocité de détection

Dans notre modèle, lorsqu'un tiers des troupeaux allaitants était soumis à un dépistage annuel, la totalité des troupeaux allaitants était dépistée tous les trois ans, et les années de dépistage de chaque troupeau étaient sélectionnées de manière aléatoire par période de trois ans. Cela revenait donc à une sélection aléatoire des troupeaux dépistés chaque année, d'où une diminution de la performance du système de surveillance. Cette performance pourrait être améliorée en procédant à une sélection des troupeaux à dépister basée du risque (comme suggéré par les résultats d'une précédente étude de modélisation ; (Hénaux and Calavas, 2017)), c'est-à-dire en sélectionnant chaque année tous les troupeaux à risque et en choisissant au hasard les autres troupeaux pour atteindre un tiers des troupeaux allaitants. De cette manière, les troupeaux à risque seraient dépistés chaque année, et les autres troupeaux seraient dépistés au moins tous les quatre à cinq ans. En effet, nous supposons qu'il y a entre 6 % et 10% d'élevages à risque en France, en étendant notre définition d'élevage à risque 1) aux élevages ayant des types de production ou pratiques d'élevage à risque vis-à-vis de la brucellose bovine (ex. : production de lait cru, transhumance), 2) aux élevages liés à un ancien foyer ou à un réservoir sauvage (ex. : bouquetins *Capra ibex* dans les Alpes), et 3) aux élevages pour lesquels un défaut de gestion des risques sanitaires a été identifié par les services vétérinaires (Ministère de l'Agriculture, 2008). Ainsi, entre 20 % et 24 % des troupeaux non à risque pourraient être dépistés chaque année en complément des troupeaux à risque.

Dans le cadre d'un dépistage annuel basé sur le risque, le coût de la surveillance serait plus élevé pour les éleveurs de troupeaux à risque. Une mutualisation des coûts liés à la surveillance annuelle entre tous les éleveurs pourrait éviter cette disparité. Cette mutualisation pourrait être organisée à l'échelle du département par les groupements de défense sanitaire (GDS) – associations organisant la lutte collective contre les maladies d'élevage - soit pour leurs seuls membres (ce qui serait un moyen d'inciter les élevages à risque à adhérer au GDS), soit pour l'ensemble des éleveurs du département. Dans le second cas, la mutualisation entre tous les éleveurs sans exception nécessiterait un règlement pour la rendre obligatoire, et la collaboration entre le GDS et les services vétérinaires (DD(CS)PP) pour la mettre en œuvre dans toutes les exploitations.

3. Amélioration de la surveillance événementielle

Comme nous l'avons vu dans notre étude, le fait de déclarer des séries d'avortements au lieu de tous les avortements pourrait améliorer l'efficacité globale du système de surveillance-lutte. Néanmoins, la déclaration des avortements et la recherche de *Brucella spp.* devraient rester à la charge de l'État dès les premiers avortements détectés, afin de maintenir le taux de déclaration dans les exploitations où tout

avortements doit faire l'objet d'une recherche diagnostique. C'est le cas des exploitations de la filière lait cru. Ce paiement par l'État à partir du premier avortement détecté encouragerait également les éleveurs à déclarer tout avortement isolé suspect, même si leur déclaration n'est pas obligatoire.

L'amélioration de la probabilité de déclarer des séries d'avortements n'a pas influencé l'efficacité du système, selon les hypothèses de notre modèle. Ceci peut être dû à une faible occurrence des séries d'avortements, et/ou à une faible contribution de la surveillance événementielle aux performances globales du système de surveillance, du fait d'une forte sous-déclaration des avortements, ce qui va dans le sens des résultats de plusieurs études (Bronner et al., 2015a; Hénaux and Calavas, 2017). Afin de mieux expliquer ce résultat, il serait intéressant d'explorer l'occurrence des séries d'avortements dans les contextes épidémiologiques testés. Il serait également intéressant de tester si la probabilité de déclaration des séries d'avortements peut contribuer à améliorer la précocité de détection du système de surveillance, et si oui, dans quelles conditions, afin d'estimer si la valeur minimale permettant cette amélioration est un objectif réalisable en pratique.

Les économies réalisées en améliorant l'efficacité du système de surveillance-lutte (par exemple en arrêtant les contrôles à l'introduction et en déclarant les séries d'avortements au lieu de tous) pourraient être réaffectées à l'amélioration de l'efficacité du dispositif de surveillance événementielle. Cela pourrait être réalisé, par exemple, en sensibilisant davantage les éleveurs à l'intérêt de déclarer les séries d'avortements et de réaliser des analyses diagnostiques, pour rechercher la brucellose bovine et d'autres maladies abortives, réglementées ou non.

4. Spécificités de notre modèle

Nous nous sommes intéressés dans cette étude à l'efficacité de chaque scénario de surveillance testé par rapport à son coût global. En modélisation, les coûts associés aux systèmes de surveillance sont rarement pris en compte dans l'évaluation de leur performance, souvent par manque de données. Ainsi, les précédents modèles de diffusion de la brucellose bovine au sein des élevages et entre les élevages ne prenaient pas en compte la composante économique (England et al., 2004; Yamamoto et al., 2008). Notre étude apporte un éclairage complémentaire de l'approche de ces deux modèles, en tenant compte du coût global associé à chaque scénario.

L'efficacité du système français de surveillance-lutte de la brucellose bovine a été explorée dans une étude par arbre de scénarios (Hénaux and Calavas, 2017). Cette étude a constitué une évaluation de la sensibilité globale du système de surveillance et du coût associé aux dispositifs de surveillance. Nous avons choisi de développer un modèle de simulation afin d'augmenter la précision de ces évaluations et de les compléter. En effet, même si la méthode de l'arbre de scénarios est bien adaptée pour

évaluer la capacité d'un système de surveillance à prouver l'absence de maladie dans un pays (Cameron et al., 2014), elle ne permet pas d'évaluer la précocité de détection de la maladie après une éventuelle réintroduction dans le pays. Grâce à la modélisation, nous avons pu prendre en compte les mouvements des animaux et la dynamique de diffusion de la maladie, ce qui a également permis d'évaluer plus précisément le coût associé aux mesures de lutte. Grâce aux informations complémentaires apportées par la modélisation, le décideur a accès à une vision plus large des caractéristiques du système de surveillance-lutte et de ses améliorations potentielles. Par exemple, notre modèle a montré que le délai médian de détection d'un foyer brucellique par le système de surveillance actuel était de 49 semaines et que dans environ 80% des cas entre 1 et 3 élevages étaient infectés à la première confirmation d'infection. Le modèle a également montré que pour l'ensemble des scénarios de surveillance-lutte, dans les deux contextes de transmissibilité testés, le nombre médian d'élevages infectés à la première confirmation d'infection était compris entre 1 et 3 élevages. Ces résultats indiquent que, sous les hypothèses de notre modèle et dans les contextes épidémiologiques testés, pour l'ensemble des scénarios, le risque de contamination humaine reste relativement faible.

Nous avons choisi de simuler les mouvements des animaux à partir d'un jeu de données sur quatre ans, associées à un échantillon d'exploitations-types, plutôt qu'en reproduisant l'ensemble du réseau d'échanges entre les exploitations bovines françaises. Ainsi, pour chaque exploitation concernée, à chaque simulation, le modèle a reproduit les ventes/prêts et les achats aux mêmes dates que les données (lorsque cela était possible), mais pas entre les mêmes exploitations. Cette méthode présente deux avantages : 1) elle est simple à mettre en œuvre car elle ne nécessite pas la cartographie de tous les échanges concernant les exploitations françaises, ni le suivi des exploitations non infectées, et 2) elle induit plus de stochasticité sur les voies de transmission entre les troupeaux que dans un réseau fixe de mouvements entre exploitations. Le principal inconvénient de cette méthode était le manque de précision dans la sélection du profil des exploitations acheteuses ou loueuses, selon les profils des exploitations vendeuses ou prêteuses. Cependant, des études ont montré qu'il n'y avait pas de schéma clair et récurrent concernant les caractéristiques des exploitations reliées par des échanges d'animaux (Villard, 2016), hormis une probabilité plus élevée de vendre ou de prêter des animaux à une exploitation du même type de production, que nous avons prise en compte dans notre modèle. Une autre étude a montré que la moitié des mouvements d'animaux passaient par des négociants intermédiaires comme les marchés ou les centres de rassemblement (Bendali et al., 2010), ce qui explique en partie pourquoi il n'y a pas de correspondance particulière entre les profils des exploitations qui échangent des animaux entre elles. Nous n'avons pas pris en compte le séjour potentiel des animaux dans les centres de rassemblement ou les marchés lors de la simulation des mouvements, car les données concernant ces intermédiaires sont incomplètes et donc difficiles à exploiter pour la modélisation. Les temps de séjour des animaux dans les centres de rassemblement et marchés sont relativement courts, et les animaux concernés par ces séjours sont rarement en

période post-partum (période de forte excrétion chez les bovins infectés). Le risque de transmission de la brucellose bovine lors de ces séjours reste donc relativement faible.

Dans notre modèle, nous avons défini des valeurs identiques pour les paramètres démographiques des troupeaux allaitants et laitiers (âge de mise à la reproduction, durée de gestation et durée du post-partum), de sorte que la dynamique démographique simulée soit relativement bien ajustée à la dynamique démographique des données. Néanmoins, l'écart entre les données simulées et observées, principalement dû aux paramètres démographiques du modèle, pourrait être encore réduit en précisant nos estimations de ces paramètres pour chaque type de production. Pour ce faire, nous pourrions recourir à la méthode du maximum de vraisemblance (Hobbs and Hilborn, 2006), en optimisant l'ajustement aux données de la dynamique démographique simulée, à partir d'un panel de valeurs à tester.

5. Limites de la composante épidémiologique du modèle

Nous avons choisi de simuler deux contextes épidémiologiques différents (taux de transmissibilité faible et élevé), car la transmissibilité de la brucellose varie au sein des souches de *Brucella ssp.* et entre elles (Philippon et al., 1970, 1971). De plus, ces deux contextes épidémiologiques permettaient de tenir compte du fait que la brucellose bovine peut provoquer des avortements sporadiques ou en série (Fensterbank, 1987; Rautureau et al., 2013). Il n'y avait pas de données nationales pour valider la dynamique épidémiologique de notre modèle, car la France est officiellement indemne de brucellose bovine depuis 2005. Deux foyers sont apparus en France en 2012 ; néanmoins, dans les deux cas, la détection et l'assainissement de l'exploitation infectée ont été réalisés avant que d'autres exploitations n'aient été infectées. La dynamique épidémiologique simulée par notre modèle restait réaliste compte tenu des données disponibles sur des foyers européens, survenus en Irlande et en Belgique dans les années 1990-2000 (Abernethy et al., 2006, 2011; Federal Agency for the Safety of the Food Chain (AFSCA), 2011).

Notre modèle n'incluait pas la transmission de la maladie par le voisinage, qui peut se produire au pâturage, pendant la transhumance ou par une transmission indirecte *via* du matériel, des véhicules ou personnes contaminés. Cela conduit à une sous-estimation potentielle de la diffusion de la brucellose bovine entre troupeaux. Il n'existe pas de données sur ce mode de transmission dans le contexte de l'agriculture française, d'où la difficulté d'estimer la valeur d'un paramètre associé, surtout dans un modèle non spatialisé.

Par ailleurs, les mâles n'ont pas été inclus dans notre modèle, car nous avons supposé qu'ils contribuaient peu à la diffusion de la brucellose bovine pour trois raisons. 1) Les statuts de la brucellose bovine des taureaux de reproduction et de leur semence sont strictement contrôlés en France, d'où un faible risque de transmission associé. 2) En

général, le risque de transmission vénérienne de la brucellose bovine est considéré comme très faible (Philippon et al., 1970). 3) Les veaux mâles soit deviennent des taureaux reproducteurs (auquel cas ils sont concernés par les deux points précédents), soit sont abattus avant leur maturité sexuelle (auquel cas l'excrétion de la bactérie par les veaux potentiellement infectés est très faible).

Dans notre modèle, une fois qu'un animal a été infecté, il reste infectieux toute sa vie, et son pic d'excrétion bactérienne se produit pendant les deux mois qui suivent son avortement ou son vêlage, à toutes les parités. Nous avons décidé de modéliser la transmission horizontale avec deux statuts infectieux (en fonction de l'excrétion bactérienne supposée), haute et basse, chacun associé à une valeur de taux de transmission différente. Dans d'autres études utilisant des modèles de brucellose bovine à temps discret et individu-centrés, avec un pas de temps d'un mois (England et al., 2004; Yamamoto et al., 2008) le taux de transmission horizontale a été gradué en 12 valeurs mensuelles supposées, à partir du mois de l'avortement infectieux ou du vêlage. Nous avons décidé de ne considérer que deux valeurs possibles pour le taux de transmission horizontale, afin de limiter la complexité de notre modèle qui comportait déjà de nombreux processus et paramètres, et de minimiser le nombre de paramètres supposés, qui limitent l'interprétation des résultats de la simulation. Nous procéderons prochainement à une analyse de la sensibilité des sorties de simulation aux paramètres d'entrée. Les résultats de cette analyse seront présentés au jury de thèse lors de la soutenance.

6. Estimation des coûts : limite et interprétation

Les coûts globaux de chaque scénario de surveillance-lutte ont été estimés à partir des données disponibles sur les analyses et les interventions techniques (Hénaux et al., 2015), et les indemnités de l'État pour les exploitations infectées (Ministère de l'Agriculture and Ministère des Comptes publics, 2001, 2009). Elles ne comprenaient pas les ressources humaines et matérielles nécessaires au fonctionnement du système de surveillance et à la mise en œuvre des mesures de lutte (par exemple, bâtiments, coûts de maintenance, formation, coordination du réseau, enquêtes épidémiologiques, etc.). Ces coûts n'ont jamais été estimés. Ils concernent l'État, les éleveurs et les GDS, qui mettent en œuvre des programmes de surveillance et de lutte contre des maladies réglementées et non réglementées. En raison de ce manque d'information, nous avons sous-estimé les coûts associés à chaque scénario de surveillance-lutte. Cela nous a également conduits à sous-estimer l'écart entre les coûts globaux des scénarios où le nombre de troupeaux infectés, et donc les coûts de lutte, étaient sensiblement différents. Toutefois, dans le contexte d'une transmissibilité faible, nous n'avons pas observé de différence significative dans le nombre de troupeaux infectés au moment de la confirmation de l'infection entre les scénarios de surveillance-lutte, et dans le contexte d'une transmissibilité élevée, la différence est

restée faible. En conséquence, nous avons supposé que nos résultats concernant la comparaison de l'efficacité des scénarios de surveillance-lutte resteraient les mêmes avec ou sans inclusion de ces coûts de gestion administrative et d'animation du système de surveillance.

En France, d'autres maladies (réglementées et non réglementées) sont recherchées en parallèle de la brucellose bovine lors des visites annuelles de dépistage et des contrôles à l'introduction, et certains échantillons peuvent être utilisés pour différentes analyses. Une étude a estimé que 30 % des frais vétérinaires du système actuel de surveillance de la brucellose bovine (visites et prélèvements sanguins) étaient partagés avec d'autres maladies réglementées : la tuberculose bovine, la rhinotrachéite infectieuse bovine (IBR) et la leucose bovine enzootique (Hénaux et al., 2017, 2015). Les économies potentielles sur le système de surveillance de la brucellose bovine seraient donc inférieures à celles estimées dans cette étude, lorsque ces économies sont principalement dues à une diminution des frais vétérinaires. Par exemple, si l'on considère un scénario alternatif de surveillance de la brucellose bovine dans lequel un tiers des élevages allaitants est dépisté (contre tous les élevages allaitants pour le système actuel), les frais de visite vétérinaire et de prélèvement des échantillons de sang ne s'annuleraient pas pour les deux tiers restant des élevages allaitants. Pour ces élevages, les frais de visite et de prélèvement seraient engagés dans tous les cas pour le dépistage de l'IBR (dépistage annuel sur sang de tous les élevages allaitants), voire de la tuberculose bovine (dépistage annuel par un test allergique des élevages à risque vis-à-vis de la tuberculose bovine). Seule la leucose bovine enzootique pourrait, dans un tel scénario de surveillance, rester couplée au dépistage de la brucellose bovine. En effet, la leucose bovine enzootique est dépistée annuellement par analyse sérologique sur 20 % des bovins de 24 mois ou plus dans 20 % des élevages allaitants, échantillon qui pourrait être inclus dans l'échantillon d'élevages et de bovins dépistés pour la brucellose bovine. À l'inverse, les éleveurs allaitants concernés par le dépistage de la brucellose bovine pour l'année en cours n'auraient pas de prélèvements de sang supplémentaires à réaliser, car l'IBR est dépistée annuellement sur tous les bovins de 24 mois ou plus. Le même prélèvement de sang pourrait donc permettre les deux dépistages, et son coût pourrait donc être mutualisé entre ces deux maladies.

Discussion générale

*** * ***

Acceptabilité des modalités de surveillance testées et impacts potentiels sur les relations entre acteurs sanitaires selon leur organisation locale

I. Conclusions de l'étude sociologique

Dans la première partie de ce travail, nous avons cherché à comprendre l'influence de l'organisation des acteurs locaux sur leur contribution à la surveillance sanitaire (notamment la surveillance événementielle). Pour cela, nous avons réalisé une enquête sociologique dans deux départements, nommés A et B. Les profils de production bovine étaient similaires dans ces deux départements mais le taux de déclaration des avortements était sensiblement plus élevé dans le département B. À partir de l'analyse des ordres locaux observés dans ces deux terrains d'étude, nous avons construit deux modèles socio-économiques : un modèle pro-curatif expliquant les mécanismes en jeu dans le département A, et un modèle pro-préventif dans le département B. Ces modèles ont mis en évidence un lien entre le niveau de concurrence subit par les vétérinaires sur la vente de médicaments vétérinaires et la contribution globale du système d'acteurs à la surveillance sanitaire, montrant ainsi que des facteurs socio-économiques influencent le niveau de surveillance sanitaire local.

Le modèle pro-préventif contribuait plus fortement à la surveillance sanitaire que le modèle pro-curatif. En effet, la nature de l'information produite dans cette configuration d'acteurs correspondait aux besoins de la surveillance (une information collective et précoce), et circulait de manière plus fluide entre les acteurs. De ce fait, on peut s'attendre à ce que la surveillance événementielle des maladies réglementées, comme la brucellose bovine, soit plus facile à mettre en œuvre dans le modèle pro-préventif. Néanmoins, cela ne signifie pas nécessairement que la surveillance événementielle soit plus efficace dans tout ordre local correspondant au modèle pro-préventif par rapport à un ordre local du modèle pro-curatif, car, comme nous l'avons vu, d'autres variables contribuent à déterminer le comportement des acteurs, comme le profil des élevages et l'historique sanitaire de leur voisinage.

Un élément important de nos résultats était la place centrale des vétérinaires au sein du système d'acteurs, et l'influence majeure qu'ils avaient sur la surveillance sanitaire. Par ailleurs, nos résultats confortent les conclusions de précédentes études, établissant un lien entre les pratiques des vétérinaires (en termes de soin comme de surveillance) et leurs modèles économiques (Fortané, 2020). Dans le cadre de notre étude, le comportement des vétérinaires semblait dépendre de l'évolution de leur profession vers plus ou moins d'indépendance économique vis-à-vis de la vente de médicaments vétérinaires, notamment par le développement de nouvelles ressources, comme le conseil sanitaire en élevage et le suivi de troupeau. Le modèle économique de la profession vétérinaire pourrait donc constituer un levier permettant la transition vers des approches plus préventives, qui peuvent elles-mêmes favoriser un fonctionnement plus efficace de la surveillance.

La réglementation produite par l'Etat français dans l'Histoire récente a contribué à protéger les ressources existantes de la profession vétérinaire (ex. : leur monopole sur

la prescription des médicaments et l'inspection des abattoirs). Malgré l'impact direct de cette réglementation sur l'évolution de la profession vétérinaire et de la relation entre vétérinaires et éleveurs, et sur le positionnement des vétérinaires dans le réseau des acteurs (Bonnaud and Fortané, 2018), la France a connu une diminution continue de la densité du réseau des vétérinaires ruraux au cours des dernières décennies (Tirado et al., 2019). En conséquence, dans certains départements, la mise en œuvre de la surveillance des maladies réglementées est devenue problématique car certains actes ne peuvent être pratiqués que par des vétérinaires. Dans un tel contexte, la compréhension des relations de pouvoir entre les acteurs locaux est utile non seulement pour améliorer la remontée d'information pour la surveillance événementielle, mais aussi pour renforcer le maillage des vétérinaires ruraux sur le terrain. En effet, cette réduction de la pratique vétérinaire rurale pourrait être limitée localement, en favorisant l'évolution d'un ordre local de type pro-curatif vers un type pro-préventif, par exemple en développant le rôle de référent sanitaire des vétérinaires au sein des élevages, de sorte à augmenter leur part de revenu liée à l'activité de conseil. Les structures vétérinaires rurales seraient alors plus stables car elles dépendraient moins de la vente de médicaments vétérinaires, qui peut être soumise localement à une forte concurrence.

II. Conclusions de l'étude épidémiologique

Le modèle épidémiologique mécaniste, stochastique et individu-centré que nous avons développé, nous a permis d'une part d'évaluer les capacités du système actuel de surveillance à détecter une épidémie de brucellose bovine sur le territoire suite à l'introduction d'un animal infecté et, d'autre part, d'explorer des pistes d'amélioration de l'efficacité du système de surveillance-lutte. Nous avons comparé l'efficacité des différents scénarios de surveillance-lutte à travers la comparaison de deux indicateurs de performance de la surveillance (le délai de détection de l'infection et le nombre d'élevages infectés à la première confirmation d'infection) et du coût global de la surveillance et de la lutte, calculés pour chaque scénario. Le système de surveillance actuel a permis la détection de l'infection dans un délai médian de 49 semaines, avec 1 à 3 élevages infectés à la première confirmation d'infection dans environ 80% des simulations. Pour l'ensemble des scénarios de surveillance-lutte testés, en contexte de transmissibilité faible ou forte, le nombre médian d'élevages infectés à la première confirmation d'infection était compris entre 1 et 3 élevages. Ces résultats indiquent que, sous les hypothèses de notre modèle et dans les contextes épidémiologiques testés, pour l'ensemble des scénarios de surveillance-lutte, le risque de contamination humaine reste relativement faible. Nous avons constaté que, dans un contexte de faible comme de forte transmissibilité, aucun des sept scénarios de surveillance-lutte testés n'était significativement plus efficace que les autres. Cependant nous avons identifié des effets spécifiques des modalités alternatives de surveillance sur l'efficacité du système de surveillance-lutte dans son ensemble : 1) une amélioration

de l'efficience lors de la suppression des contrôles à l'introduction, 2) une diminution de l'efficience lors du dépistage annuel d'un tiers des troupeaux allaitants (sélectionnés de manière aléatoire) au lieu de la totalité, et 3) une légère amélioration de l'efficience lors de la déclaration de séries d'avortements (deux ou plus en un mois) au lieu de tout avortement.

III. Nuance et éclairage des conclusions de l'étude épidémiologique, en fonction de la configuration locale des acteurs sanitaires

1. Impact des modalités alternatives de surveillance testées sur les deux modèles idéaltypiques

Comme l'illustre notre étude sociologique, la surveillance épidémiologique est par nature une activité multiple, qui n'a pas toujours le même sens, et ne présente pas les mêmes intérêts pour les acteurs concernés. La surveillance est un assemblage de différentes pratiques (Enticott, 2017; Enticott and Ward, 2019). Nous verrons dans cette sous-partie de quelle manière les pratiques de surveillance de la brucellose bovine s'articulent avec les autres pratiques des vétérinaires et des éleveurs, en fonction de l'ordre local auquel ils appartiennent.

a. Le paradoxe de la déclaration des avortements

Le taux de déclaration des avortements étant supérieur dans la configuration préventive des acteurs du sanitaire (illustrée par le département B de notre étude sociologique), nous pourrions nous attendre à un discours des vétérinaires ruraux en faveur de la déclaration de tout avortement. Inversement, dans la configuration curative (illustrée par le département A), nous pourrions nous attendre à un discours des vétérinaires en faveur de la déclaration des séries d'avortements plutôt que de tout avortement. Comme nous l'avons constaté au cours de notre enquête, la réalité est plus nuancée, ce qui s'explique par le niveau de confiance et de collaboration entre les éleveurs et les vétérinaires dans chaque configuration. Dans un modèle préventif, le passage à la déclaration des séries d'avortements irait dans le sens de l'approche pro-préventive des vétérinaires pour trois raisons principalement. 1) Des protocoles de diagnostic différentiel des avortements sont mis en place dans le cadre du suivi régulier des élevages, or ces protocoles sont déclenchés à partir du deuxième avortement en un mois ce qui correspond au seuil de déclaration des avortements. Un

changement de réglementation irait donc dans le sens du discours des vétérinaires. 2) Les vétérinaires transfèrent des compétences aux éleveurs qui améliorent leur détection des avortements. Il est donc moins risqué de passer à côté d'un nombre conséquent d'avortements si le seuil de déclaration obligatoire augmente. 3) Les vétérinaires qui effectuent un suivi de troupeau sont présents dans les élevages de leur clientèle plusieurs fois par an, voire par mois en dehors de toute intervention. Le risque de ne pas détecter à temps un foyer brucellique est donc moindre dans ces élevages, et les vétérinaires n'ont pas besoin de renforcer leur présence en élevage à travers des opérations réglementaires de surveillance sanitaire. Au contraire, dans le modèle pro-curatif, la déclaration obligatoire de tout avortement permet aux vétérinaires 1) de renforcer leur présence dans les élevages ; 2) d'avoir un seuil d'alerte minimal qui compense le manque de suivi régulier dans certains élevages de leur clientèle et l'absence de transfert de compétence aux éleveurs pour une meilleure détection des avortements.

Le passage de la déclaration de tout avortement (modalité A1 du modèle de simulation) à la déclaration des séries de deux avortements ou plus en un mois (modalités A2 et A3) serait donc plus facile à opérer dans une configuration préventive que pro-curative. Ceci étant, dans une configuration pro-curative, ce changement de seuil de déclaration pourrait être l'occasion de renforcer la collaboration entre GDS et vétérinaires à travers la mise en place d'un protocole plus complet, homogène et systématique de diagnostic différentiel des avortements à l'échelle du département, et la sensibilisation des éleveurs autour de ce protocole. Cela permettrait aux vétérinaires comme au GDS de renforcer leur présence dans les élevages, et aux vétérinaires d'augmenter la part de leur revenu liée à une approche préventive, même si cette augmentation reste limitée.

b. Le rôle de la surveillance programmée dans la relation éleveurs-vétérinaires

Nous avons vu dans notre étude épidémiologique que le dépistage annuel d'un tiers des élevages allaitants sélectionnés de manière aléatoire plutôt que de la totalité conduisait à une diminution de l'efficacité du système de surveillance-lutte de la brucellose bovine, à la fois par une augmentation de son coût global et par une diminution de sa précocité de détection. Cependant, la précocité de détection pourrait être améliorée pour cette modalité de dépistage annuel si l'échantillon dépisté était en partie ciblé sur le risque. Cette modalité reste donc intéressante à explorer en ce qui concerne notamment son impact et son applicabilité au sein du système d'acteurs locaux de la surveillance.

Comme évoqué dans la discussion du chapitre II sur l'estimation des coûts dans notre modèle, le changement des modalités de la surveillance programmée (arrêt des

contrôles à l'introduction, dépistage annuel d'un tiers des élevages allaitants plutôt que tous) conduirait certainement pour les éleveurs à des économies moindres que celles estimées dans notre étude, puisque d'autres maladies réglementées, comme l'IBR, sont dépistées annuellement sur tous les bovins de 24 mois ou plus dans tous les élevages allaitants. L'arrêt des contrôles à l'introduction et la diminution du nombre d'élevages où la brucellose bovine est dépistée annuellement affecteraient donc peu le revenu des vétérinaires lié à ces deux dispositifs de surveillance, ainsi que leur présence dans les élevages de leur clientèle.

Ceci étant, dans l'hypothèse d'une évolution favorable du statut sanitaire de la France vis-à-vis notamment de l'IBR, seule maladie encore recherchée annuellement dans tous les élevages bovins, la fréquence de dépistage de cette maladie pourrait diminuer. Le nombre d'élevages allaitants dépistés annuellement pour une maladie réglementée, quelle qu'elle soit, diminuerait donc, mécaniquement (en considérant par ailleurs le scénario de dépistage annuel partiel de la brucellose bovine). Il serait alors important de s'interroger sur l'impact de cette diminution sur la relation éleveurs-vétérinaires, dans chaque modèle idéaltypique. Dans le modèle pro-préventif, le vétérinaire est présent régulièrement dans les élevages de sa clientèle où il effectue un suivi de troupeau. La diminution du nombre d'élevages qu'il visite pour un dépistage annuel obligatoire aura donc peu d'impact sur sa proximité avec les éleveurs. En revanche, dans le modèle pro-curatif, le vétérinaire n'a pas une présence régulière dans les élevages, car les interventions curatives sont ponctuelles et coûteuses, ce qui pousse les éleveurs à l'automédication pour éviter autant que possible les interventions vétérinaires. Le dépistage annuel des maladies réglementées est donc pour les vétérinaires un moyen de conserver leur accès privilégié aux éleveurs, dans des élevages qui ne font quasiment jamais appel à eux. La visite sanitaire bovine est une visite annuelle et obligatoire pour tous les élevages bovins, organisée autour d'un questionnaire sur une thématique sanitaire, que le vétérinaire et l'éleveur remplissent ensemble. Cette visite annuelle a été imposée par l'Etat afin de maintenir une présence minimale des vétérinaires dans les élevages. Cependant, la visite sanitaire bovine n'est pas toujours suffisante pour maintenir ou encourager l'échange d'informations sanitaires entre vétérinaires et éleveurs. Par ailleurs, la perte potentielle de revenu liée à une diminution du nombre global de bovins dépistés affecterait plus fortement les cliniques vétérinaires classiques qui, contrairement aux GVC du modèle pro-préventif, n'ont pas de revenu minimum assuré par une cotisation annuelle des éleveurs.

c. Le coût potentiel de l'amélioration de la surveillance selon les modèles idéaltypiques

Nos résultats suggèrent que le modèle pro-préventif contribue plus fortement à la surveillance sanitaire que le modèle pro-curatif. Un moyen d'améliorer la surveillance dans un modèle pro-curatif serait donc de créer les conditions nécessaires à un

changement d'organisation des acteurs, d'une configuration pro-curative vers une configuration pro-préventive. Or, tout changement d'organisation entre les acteurs serait nécessairement motivé par la création de nouvelles opportunités ou capacités d'action pour les vétérinaires, acteurs-clés déterminant l'organisation générale du système, et donc la circulation d'information au sein du système. Supposons que dans une configuration pro-curative, sans modification de la surveillance des maladies réglementées, les relations entre acteurs soient modifiées de sorte à produire et diffuser une information sanitaire plus utile à la surveillance au niveau départemental. Les vétérinaires auraient alors besoin, pour évoluer vers une approche majoritairement préventive, de développer une source de revenu qui puisse se substituer à la vente de médicaments vétérinaires et la réalisation d'actes curatifs, comme le conseil sanitaire en élevage. Par exemple, si les vétérinaires et le GDS mettaient en place une collaboration autour de plans de lutte contre des maladies non réglementées, les vétérinaires devraient être rémunérés par les éleveurs pour le temps associé au suivi de ces plans en élevage. Cela se traduirait mécaniquement par un coût supplémentaire pour les éleveurs au moment du changement d'organisation, même si, à long terme, l'approche préventive est plus rentable pour eux (diminution des pertes de production et des frais liés à l'apparition de maladies dans leur troupeau). Ainsi, pour atteindre un même niveau d'efficacité de la surveillance sanitaire locale en général (maladies réglementées et non réglementées), le coût de l'amélioration de la surveillance serait plus élevé dans une configuration pro-curative que dans une configuration pro-préventive, puisque, dans une configuration pro-curative, à l'éventuel coût d'amélioration des systèmes de surveillance des maladies réglementées s'ajouterait le coût de la réorganisation des acteurs.

Dans la configuration pro-préventive, la concurrence est faible sur la vente de médicaments vétérinaires, et les vétérinaires de GVC ont un revenu minimum fixe assuré par les cotisations annuelles des éleveurs. La collaboration entre vétérinaires de GVC et GDS se fait donc déjà, sans générer de revenu spécifique pour les vétérinaires, et donc de coûts supplémentaires pour les éleveurs. Si une telle collaboration devait être mise en place dans une configuration pro-curative, le surcoût lié au basculement du pro-curatif vers le pro-préventif étant supporté par les éleveurs, ces derniers pourraient être moins enclins à dépenser de l'argent pour la surveillance des maladies réglementées, pour lesquelles la situation épidémiologique est globalement perçue comme favorable. Cela pourrait notamment être un obstacle à la mutualisation de coûts associés à une surveillance programmée ciblée sur les élevages à risque.

La surveillance programmée des maladies réglementées, notamment leur dépistage annuel, est une source d'activité et de revenu fixe et cyclique pour les vétérinaires ruraux, et, dans une moindre mesure, pour les GDS. Dans le modèle pro-curatif cette source de revenu contribue fortement au maintien de la position dominante des vétérinaires au sein du réseau local d'acteurs, car leur revenu lié à la vente de médicaments vétérinaires est instable du fait de la concurrence qu'ils subissent dans ce domaine. Une diminution du revenu liée à une réduction de la couverture de la

surveillance des maladies réglementées provoquerait donc certainement, en compensation, une augmentation de la collaboration entre les vétérinaires et le GDS, de sorte à créer une nouvelle source de revenu pour les vétérinaires. Comme vu précédemment, le développement de cette collaboration entre vétérinaires et GDS serait associé à un coût supplémentaire pour les éleveurs. À l’opposé, dans le modèle pro-préventif, l’impact d’une diminution du revenu lié à la surveillance des maladies réglementées sur la position des vétérinaires au sein du réseau d’acteurs serait certainement faible et ne provoquerait donc pas de réorganisation compensatoire des activités et des relations entre acteurs. Cela ne provoquerait donc pas de coût additionnel pour les éleveurs. Le coût global réel (en termes de ressources financières et humaines) d’un changement dans la surveillance programmée des maladies réglementées serait donc plus important dans une configuration pro-curative que dans une configuration pro-préventive.

De la même manière, le coût humain et financier de l’amélioration du taux de déclaration des avortements serait certainement plus élevé dans une configuration pro-curative que dans une configuration pro-préventive. Cette amélioration serait obtenue essentiellement par la sensibilisation des éleveurs à la déclaration et au diagnostic différentiel des avortements, et par l’utilisation d’un protocole standardisé de diagnostic différentiel des avortements. Dans une configuration pro-curative, l’activité liée à la sensibilisation des éleveurs et au développement d’un protocole standardisé (lorsqu’un tel protocole n’existe pas déjà) s’intégrerait plus difficilement à la pratique habituelle des vétérinaires dans une configuration pro-curative où ils effectuent peu de suivi d’élevage. Ces activités s’additionneraient donc à leur activité actuelle dans une configuration pro-curative, générant un coût supplémentaire pour les éleveurs, alors qu’elles pourraient s’intégrer à leur activité actuelle de suivi dans une configuration pro-préventive. Aussi, il serait intéressant de mettre ces éléments en regard avec les valeurs minimales des probabilités de déclaration des avortements qui, dans notre modèle de simulation, amélioreraient la précocité de détection de la brucellose bovine de manière significative. Nous pourrions ainsi estimer si un tel objectif semble envisageable dans chacune des deux configurations d’acteurs.

2. Considération des modalités alternatives de surveillance en fonction des acteurs concernés

Les coûts associés aux différents scénarios de surveillance-lutte dans notre étude épidémiologique sont des coûts globaux. Or, selon leur nature ils ne concernent pas les mêmes financeurs (la surveillance événementielle et la lutte sont payés par l’Etat, la surveillance programmée par les éleveurs), ni les mêmes exécutants et donc bénéficiaires des revenus associés à ces mesures (les visites et les prélèvements sont réalisés par les vétérinaires, et les analyses par les laboratoires). Ainsi, selon la nature

des économies réalisées, elles n'impacteront pas les mêmes acteurs, positivement comme négativement. Il est important d'anticiper ces impacts lors de modifications de systèmes de surveillance, et de pouvoir les caractériser en fonction des configurations locales d'acteurs. Par exemple, dans un modèle pro-préventif, où les vétérinaires ont une position dominante stable au sein du réseau, un changement qui diminue leur accès privilégié aux éleveurs et augmente l'activité des laboratoires d'analyses (comme diminuer le nombre d'élevages inclus dans la surveillance et augmenter le nombre de bovins dépistés annuellement) ne modifiera certainement pas le rapport de force entre les acteurs, alors que la même modification pourrait provoquer une modification du positionnement des vétérinaires vis-à-vis des autres acteurs dans un modèle pro-curatif où leur place est certes dominante, mais instable.

Par ailleurs, nous avons vu que certains coûts étaient mutualisés entre maladies et que la séparation artificielle des systèmes de surveillance par maladie réglementée était inadaptée à une réflexion sur l'impact économique de leur modification, bien qu'elle soit utile à une réflexion sur la pertinence du système en fonction de la situation épidémiologique de la maladie concernée. Si la plupart des coûts mutualisés entre maladies concernent le même financeur, puisqu'il s'agit des coûts de dépistage annuel qui incombent entièrement aux éleveurs, il existe des coûts dont la mutualisation concerne des financeurs différents. C'est le cas pour la recherche de maladies abortives suite une déclaration d'avortement. L'Etat prend alors en charge la visite du vétérinaire, et l'ensemble des prélèvements et des analyses réalisés pour la recherche de brucellose bovine. Or à cette occasion, les éleveurs peuvent profiter de cette visite et du prélèvement sanguin pour demander la recherche d'autres maladies abortives non réglementées (ex. : fièvre Q, néosporose, BVD, etc.). Dans ce cas-là, si la déclaration de séries d'avortements devenait obligatoire et prise en charge uniquement à partir de deux avortements ou plus en un mois, il est possible que les éleveurs soient moins enclins à investiguer les avortements isolés, du fait que la visite vétérinaire et le prélèvement sanguin seraient alors à leur charge. Cette situation illustre l'importance pour le décideur de prendre en compte l'ensemble du contexte sanitaire des élevages bovins (concernant les maladies réglementées et non réglementées) et les enjeux professionnels des acteurs de terrain, dans ses décisions concernant les modifications à apporter au dispositif de surveillance d'une maladie réglementée, qui s'intègre dans une surveillance sanitaire globale.

3. Perspectives de ces travaux

La démarche de notre étude sociologique était inductive. Elle consistait à faire « parler le terrain » grâce aux données collectées à partir des discours des acteurs, et à les confronter avec d'autres sources collectées (rapports, bilans chiffrés, etc.). L'interprétation de ces différentes sources nous a conduits à construire des modèles idéaltypiques, qui sont une simplification des traits caractéristiques des mécanismes

observés. Ces modèles idéaltypiques sont un outil pour l'analyse. Ils ont ensuite vocation à être testés sur d'autres terrains pour vérifier leur robustesse et progressivement affiner la généralité de l'analyse. Il serait notamment intéressant de voir si les deux modèles présentés dans ce travail parviennent à expliquer d'autres configurations locales ou si, au contraire, ils sont contredits.

Notre étude sociologique appelle donc à la réalisation d'études complémentaires, notamment afin de vérifier si le lien entre la concurrence sur la vente de médicaments vétérinaires et les freins à la circulation des informations sanitaires se vérifie dans d'autres départements.

Les résultats de notre étude sociologique pourraient être utilisés comme support de réflexion concernant l'évolution de la profession vétérinaire et les différentes manières de favoriser une approche préventive des maladies d'élevage, en Administration centrale, en école vétérinaire, ou dans des instances consultatives locales telles que les Conseils régionaux d'orientation de la politique sanitaire animale et végétale (CROPSAV) - présidés par le préfet de région et composés des préfets départementaux et des organisations professionnelles agricoles et vétérinaires. Les instances locales sont le lieu opportun pour explorer les possibilités d'évolution de l'organisation locale des acteurs de la filière bovine pour favoriser l'approche préventive des maladies d'élevage. L'Administration centrale et les écoles vétérinaires constituent quant à elles des lieux privilégiés pour repenser le partenariat entre vétérinaires et éleveurs et les pratiques de soin vétérinaire (médecine individuelle vs. populationnelle, approche curative vs. préventive).

Concernant notre étude épidémiologique, le modèle que nous avons développé pourrait être utilisé pour tester d'autres scénarios de surveillance-lutte, plus spécifiques. Par exemple, nous pourrions tester un scénario de déclaration des avortements et/ou de dépistage annuel basés sur le risque. Dans le premier cas, il s'agirait de la déclaration obligatoire de tous les avortements pour les troupeaux présentant un risque vis-à-vis de la brucellose bovine, et la déclaration des séries de deux avortements ou plus en un mois pour les autres troupeaux. Dans le second cas, il s'agirait d'un dépistage annuel des troupeaux à risque, et pluriannuel des autres troupeaux. L'exploration de ces scénarios nécessiterait cependant l'acquisition de données supplémentaires, afin de caractériser les élevages à risque. Actuellement, notre modèle considère comme élevages à risque uniquement les élevages ayant un taux de rotation supérieur à 40%. En réalité, cette catégorie s'étend à d'autres élevages (Ministère de l'Agriculture, 2008), pour lesquels nous manquons de données : 1) les élevages ayant des types de production ou pratiques d'élevage à risque vis-à-vis de la brucellose bovine (ex. : production de lait cru, transhumance), 2) les élevages liés à un ancien foyer ou à un réservoir sauvage (ex. : bouquetins *Capra ibex* dans les Alpes), et 3) les élevages pour lesquels un défaut de gestion des risques sanitaires a été identifié par les services vétérinaires.

Nous pourrions également tester différentes modalités de lutte *via* notre modèle, comme l'abattage des adultes positifs au lieu de tous les bovins des troupeaux

infectés, avec une surveillance intensifiée de ces troupeaux (dépistage annuel de 100 % des adultes) pendant les trois années suivant leur assainissement. Actuellement, la simulation de l'abattage partiel des troupeaux infectés est limitée, par manque de données sur le niveau d'efficacité de cette mesure pour assainir les troupeaux, et sur la réalisation des enquêtes épidémiologiques.

Notre modèle de simulation pourrait également contribuer à l'évaluation de l'efficacité d'un système de surveillance syndromique pour détecter des anomalies dans la survenue d'avortements, qui ne seraient pas détectées par la surveillance événementielle en raison d'un faible taux de déclaration (Bronner et al., 2013). Par exemple, les données d'insémination artificielle recueillies en routine dans les élevages laitiers pourraient être utilisées pour concevoir un indicateur de détection des avortements à moyen terme (Bronner et al., 2015c). Pour évaluer ce type de surveillance, il faudrait passer par plusieurs étapes. 1) Modéliser sur une période de calibrage une série temporelle de l'indicateur choisi, comme par exemple le taux d'incidence des avortements à moyen terme (Bronner et al., 2015c). 2) Vérifier l'ajustement du modèle aux données sur une période de test. 3) Recueillir dans notre modèle les valeurs simulées du taux d'incidence des avortements à moyen terme, et les ajouter aux données observées sur la période de test. 4) Appliquer un algorithme de détection des avortements pour évaluer la sensibilité de ce dispositif de surveillance à la détection d'une légère augmentation du nombre d'avortements à moyen terme dus à des infections de brucellose bovine. L'utilité d'une telle approche de surveillance a été mise en évidence pour la détection des élevages infectés par la fièvre catarrhale ovine en France (Bronner et al., 2015c)

Par ailleurs, notre modèle pourrait être affiné notamment par l'amélioration de la précision des paramètres démographiques (âge de mise à la reproduction, durée de gestation et durée du post-partum), des connaissances permettant l'estimation des coûts de lutte (ex. : coûts associés aux enquêtes épidémiologiques, coûts liés aux pertes de productions en fonction du type de production et du profil de l'élevage, etc.), et des paramètres et hypothèses épidémiologiques du modèle (ex. : taux de transmission verticale et horizontale, niveau de risque associé à la transmission par le voisinage, etc.).

IV. Prise de recul

1. Les difficultés d'une thèse interdisciplinaire

L'étude sociologique a nécessité un temps conséquent de formation aux aspects théorique et pratique de la sociologie, afin d'intégrer le mode de réflexion propre à cette discipline et les bonnes pratiques à adopter lors des enquêtes de terrain pour

optimiser la qualité et la quantité d'information récoltée et éviter les biais en entretien. Une formation théorique sur plusieurs mois a permis l'acquisition de bases en sociologie des organisations. À cela s'ajoutent les temps d'enquête et d'analyse des résultats, eux-mêmes longs par nature. Par la suite, l'étude épidémiologique a bénéficié de l'outil EMULSION, qui a toutefois nécessité un temps de formation et d'adaptation, de même que les autres outils utilisés pour le développement du modèle de simulation et l'analyse de ses sorties (ex. : familiarisation avec les langages de programmation YAML, SQL et R), entraînant un temps limité pour la calibration du modèle (également chronophage), l'analyse des sorties du modèle et l'obtention de résultats complémentaires (telle que l'analyse de sensibilité ou la calibration et simulation d'autres scénarios). En conséquence, la période dédiée à la mise en perspective des résultats des deux études était limitée, alors même que ce temps de confrontation constitue la plus-value d'une thèse interdisciplinaire.

Les types de réflexion et d'activités associés à chacune des deux études étaient très différents. Il était donc difficile de poursuivre l'avancement des deux volets en parallèle. Les étapes importantes de chaque étude ont été réalisées autant que possible de manière séquentielle, de sorte à éviter le coût de la nécessaire réadaptation aux outils et aux réflexions propres à chaque approche, après tout arrêt prolongé de l'étude. Du fait de cette différence marquée de démarche et d'angle de réflexion entre les deux approches, la mise en perspective des résultats des deux études était à la fois intéressante et difficile.

Enfin, comme toute thèse interdisciplinaire, cette thèse avait le défaut de sa qualité : s'il était très enrichissant d'acquérir des compétences dans des disciplines aussi différentes que la sociologie et la modélisation en épidémiologie, il était aussi frustrant de ne pas pouvoir aller plus loin dans chaque approche, notamment dans la maîtrise des outils mobilisés en modélisation, et dans l'aboutissement de la démarche sociologique, telle qu'elle est réalisée classiquement (mobilisation importante de cadres théoriques sociologiques, validation des résultats auprès des acteurs enquêtés, etc.).

2. L'intérêt de l'approche interdisciplinaire

Un des risques inhérents à la modélisation en épidémiologie est de s'éloigner des réalités du terrain qu'elle étudie. En effet, la construction d'un modèle de simulation nécessite parfois de mobiliser des experts, voire des organisations professionnelles pour la définition de ses hypothèses et l'estimation de ses paramètres, mais elle reste relativement déconnectée des acteurs de terrain. L'approche sociologique permet de maintenir ce lien entre le terrain et le laboratoire de recherche, ce qui peut faire évoluer les hypothèses de travail en fonction des informations nouvelles qui émergent du

terrain. À notre échelle nous n'avons pas atteint ce stade, mais ces travaux ouvrent de nouvelles perspectives d'approche interdisciplinaire pour des projets futurs.

De la même manière, la modélisation peut aussi combler certaines limites de la sociologie. Dans le cadre de ces travaux, l'approche sociologique nous a permis de comprendre quels facteurs déterminaient la production et la circulation des informations, et ainsi d'identifier des leviers d'amélioration potentiels de la surveillance sanitaire globale au niveau local. Nous avons ensuite pu contextualiser ces leviers identifiés, au regard des résultats du modèle de simulation, dans le cadre d'une modification du système de surveillance au niveau national (ex. : amélioration de l'efficacité du système de surveillance de la brucellose bovine par la déclaration obligatoire de séries d'avortements). Cette confrontation des approches sociologique et épidémiologique soulève également la question de l'échelle la plus pertinente à considérer pour améliorer l'efficacité de la surveillance sanitaire globale d'une maladie réglementée : l'échelle locale ou nationale.

Cette collaboration a également apporté plusieurs regards naïfs sur le sujet d'étude, à travers un point de vue de modélisateur et de sociologue, qui ont permis à l'équipe d'épidémiologie de prendre du recul sur un sujet qu'elle avait l'habitude de manipuler. Cela a permis notamment d'envisager certaines problématiques classiques sous un nouvel angle. Par exemple, l'approche sociologique a permis de sortir du cadre habituel de la surveillance sanitaire pour identifier l'influence que pouvaient avoir des activités et des enjeux extérieurs, sur la surveillance (ex. : la vente de médicaments vétérinaires).

Enfin, cette thèse a été l'occasion d'une ouverture scientifique, à l'image de son comité de suivi qui réunissait des compétences en informatique et modélisation, épidémiologie humaine et animale, sciences politiques, sociologie, économie de la santé animale, microbiologie et administration en santé publique vétérinaire. C'était une expérience enrichissante de construction d'un réseau interdisciplinaire et de mobilisation d'expertises variées autour d'une problématique donnée.

Bibliographie

- Abernethy, D.A., Moscard-Costello, J., Dickson, E., Harwood, R., Burns, K., McKillop, E., McDowell, S., Pfeiffer, D.U., 2011. Epidemiology and management of a bovine brucellosis cluster in Northern Ireland. *Prev. Vet. Med.* 98, 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.11.002>
- Abernethy, D.A., Pfeiffer, D.U., Watt, R., Denny, G.O., McCullough, S., McDowell, S.W.J., 2006. Epidemiology of bovine brucellosis in Northern Ireland between 1990 and 2000. *Veterinary Record* 158, 717–721. <https://doi.org/10.1136/vr.158.21.717>
- Article L5143-6, 2014. , Code de la santé publique.
- Bendali, F., Besson, P., Masselin-Silvin, S., Ezanno, P., Bareille, N., 2010. Mouvements de bovins impliquant des opérateurs commerciaux : description des pratiques sanitaires et des flux d'animaux dans la région du Grand Ouest. (Présentation orale). Journées Rencontres Recherches Ruminants (3R).
- Bernoux, P., 2009. La sociologie des organisations - Initiation théorique suivie de douze cas pratiques, Points. ed, Points Essais. Paris.
- Bonnaud, L., Fortané, N., 2018. L'État sanitaire de la profession vétérinaire. Action publique et régulation de l'activité professionnelle. *Sociologie* 9, 253–268. <https://doi.org/10.3917/socio.093.0253>
- Brandenburger, A., Nalebuff, B., 1996. La Co-opétition : Une révolution dans la manière de jouer concurrence et coopération, Village Mondial. ed.
- Bronner, A., Gay, E., Fortané, N., Palussière, M., Hendrikx, P., Hénaux, V., Calavas, D., 2015a. Quantitative and qualitative assessment of the bovine abortion surveillance system in France. *Prev. Vet. Med.* 120, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.02.019>
- Bronner, A., Hénaux, V., Fortané, N., Hendrikx, P., Calavas, D., 2014. Why do farmers and veterinarians not report all bovine abortions, as requested by the clinical brucellosis surveillance system in France? *BMC Vet. Res.* 10, 93–104. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-93>
- Bronner, A., Hénaux, V., Vergne, T., Vinard, J.-L., Morignat, E., Hendrikx, P., Calavas, D., Gay, E., 2013. Assessing the Mandatory Bovine Abortion Notification System in France Using Unilist Capture-Recapture Approach. *PLoS ONE* 8, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063246>
- Bronner, A., Morignat, E., Gay, E., Vergne, T., Fournié, G., Pfeiffer, D.U., Calavas, D., 2015b. Iso-population partition: An innovative epidemiological approach to mapping and analyzing spatially aggregated data. *Prev. Vet. Med.* 122, 253–256. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.11.008>
- Bronner, A., Morignat, E., Hénaux, V., Madouasse, A., Gay, E., Calavas, D., 2015c. Devising an Indicator to Detect Mid-Term Abortions in Dairy Cattle: A First Step Towards Syndromic Surveillance of Abortive Diseases. *Plos One* 10, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119012>

- Bulletin Épidémiologique Santé animale et Alimentation, Numéro 71, Spécial Maladies animales réglementées et émergentes (MRE) - Bilan 2014, 2015.
- Calavas, D., Fediaevsky, A., Collin, E., Touratier, A., Amar, P., Moquay, V., Marcé, C., Bronner, A., Hendriks, P., 2012. Plateforme nationale de surveillance épidémiologique en santé animale : missions prioritaires et organisation. Bull. Épid. Santé Anim. Alim. 48, 2–5.
- Cameron, A., Njeumi, F., Chibeu, D., Martin, T., 2014. Risk-based disease surveillance: a manual for veterinarians on the design and analysis of surveillance for demonstration of freedom from disease, FAO animal production and health manuals. FAO, Rome.
- Carpenter, D., 2010. Reputation and Power: Organizational Image and Pharmaceutical Regulation at the FDA, Princeton University Press. ed. Princeton.
- Cavalerie, L., Courcoul, A., Boschioli, M.L., Réveillaud, E., Gay, P., 2015. Tuberculose bovine Tuberculose bovine en France en 2014 : une situation stable. Bull. Épid. Santé Anim. Alim. 71, 8.
- Communauté économique européenne, 1964. DIRECTIVE DU CONSEIL du 26 juin 1964 relative à des problèmes de police sanitaire en matière d'échanges intracommunautaires d'animaux des espèces bovine et porcine.
- Crozier, M., Friedberg, E., 2014. L'Acteur et le système. Les Contraintes de l'action collective, Points. ed, Points Essais. Paris.
- Dedieu, F., Jouzel, J.-N., Prete, G., 2015. Governing by Ignoring: The Production and the Function of the Under-Reporting of Farm-Workers' Pesticide Poisoning in French and Californian Regulations, in: Routledge International Handbook of Ignorance Studies. Matthias Gross, Linsey McGoey, pp. 297–307.
- Delabouglise, A., Antoine-Moussiaux, N., Phan, T.D., Dao, D.C., Nguyen, T.T., Truong, B.D., Nguyen, X.N.T., Vu, T.D., Nguyen, K.V., Le, H.T., Salem, G., Peyre, M., 2016. The Perceived Value of Passive Animal Health Surveillance: The Case of Highly Pathogenic Avian Influenza in Vietnam. Zoonoses Public Health 63, 112–128. <https://doi.org/10.1111/zph.12212>
- Direction générale de l'Alimentation, 2012. Note de service du 30 mai 2012. Délégation de missions administratives relatives à la surveillance sanitaire des exploitations au regard des maladies reconnues contagieuses - conventions Etat / GDS – année 2012, NS DGAL/SDSPA/N2012-8111.
- Direction générale de l'Alimentation, 2010. Note de service du 31 août 2010. Brucellose des bovinés: application de l'arrêté du 22 avril 2008 révisé, NS DGAL/SDSPA/N2010-8252.
- Direction générale de l'Alimentation, 2007. Note de service du 20 septembre 2007. Gestion administrative des groupements agréés au titre des articles L. 5143-6 à L. 5143-8 du code de la santé publique à délivrer certains médicaments vétérinaires., NS DGAL/SDSPA/N2007-8240.
- Direction générale de l'Alimentation, 2005. Note de service du 08 novembre 2005. Prophylaxie de la brucellose bovine. Application de l'arrêté du 3 novembre 2005, NS DGAL/SDSPA/N2005-8251.

- England, T., Kelly, L., Jones, R.D., MacMillan, A., Wooldridge, M., 2004. A simulation model of brucellosis spread in British cattle under several testing regimes. *Prev. Vet. Med.* 63, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.01.009>
- Enticott, G., 2017. Navigating veterinary borderlands: ‘heiferlumps’, epidemiological boundaries and the control of animal disease in New Zealand. *Trans. Inst. Br. Geogr.* 42, 153–165. <https://doi.org/10.1111/tran.12155>
- Enticott, G., Ward, K., 2019. Mapping careful epidemiology: Spatialities, materialities, and subjectivities in the management of animal disease. *The Geographical Journal* 186, 12. <https://doi.org/10.1111/geoj.12341>
- Federal Agency for the Safety of the Food Chain (AFSCA), 2011. An outbreak of Bovine Brucellosis in Belgium. (Présentation orale). Standing Committee of the Food Chain and Animal Health.
- Fensterbank, R., 1987. Some aspects of experimental bovine brucellosis. *Annales de Recherches Vétérinaires* 18, 421–428.
- Forar, A.L., Gay, J.M., Hancock, D.D., 1995. The frequency of endemic fetal loss in dairy cattle: A review. *Theriogenology* 43, 989–1000. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(95\)00063-E](https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)00063-E)
- Fortané, N., 2020. Antimicrobial resistance: preventive approaches to the rescue? Professional expertise and business model of French “industrial” veterinarians. *Rev. Agric. Food. Environ. Stud.* 26. <https://doi.org/10.1007/s41130-019-00098-4>
- Fortané, N., 2015. La surveillance comme dispositif-frontière La triple ontologie des bactéries résistantes d’origine animale. *Revue d’Anthropologie des Connaissances* 9, 265–290. <https://doi.org/10.3917/rac.027.0265>
- Fortané, N., Keck, F., 2015. Ce que fait la biosécurité à la surveillance des animaux. *Revue d’Anthropologie des Connaissances* 9, 125–137. <https://doi.org/10.3917/rac.027.0125>
- Friedberg, E., 1997. *Le pouvoir et la règle, Dynamique de l’action organisée*, Le Seuil. ed, Points Essais. Paris.
- Gache, K., 2018. Dispositif Oscar, Retour d’expérience après une année de fonctionnement. Document technique de la Plateforme ESA.
- Gall, D., Nielsen, K., 2004. Serological diagnosis of bovine brucellosis : a review of test performance and cost comparison. *Rev. Sci. Tech. OIE* 23, 939–1002. <https://doi.org/10.20506/rst.23.3.1545>
- Groupe de suivi de la thématique « Avortements chez les ruminants » de la Plateforme ESA, 2016. Observatoire et suivi des causes d’avortements chez les ruminants Mise en place d’un dispositif de valorisation des résultats de diagnostic différentiel des avortements. Document technique de la Plateforme ESA.
- Hénaux, V., Bronner, A., Perrin, J.-B., Touratier, A., Calavas, D., 2015. Évaluation du coût global du dispositif de surveillance de la brucellose bovine en France en 2013. *Bull. Épid. Santé Anim. Alim.* 69, 28–35.
- Hénaux, V., Calavas, D., 2017. Evaluation of the cost-effectiveness of bovine brucellosis surveillance in a disease-free country using stochastic scenario tree modelling. *PLOS ONE* 12, 21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183037>

- Hénaux, V., Jaÿ, M., Siebeke, C., Calavas, D., Ponsart, C., 2018. Review of bovine brucellosis surveillance in Europe in 2015. *Rev. Sci. Tech. OIE* 37, 805–821. <https://doi.org/10.20506/rst.37.3.2887>
- Hénaux, V., Ngwa-Mbot, D., Memeteau, S., Touratier, A., Bronner, A., Calavas, D., 2017. Première estimation des coûts vétérinaires et de laboratoire de la surveillance et de la lutte vis-à-vis des maladies réglementées chez les ruminants en France en 2014. *Bull. Épid. Santé Anim. Alim.* 79, 2–11.
- Hobbs, N.T., Hilborn, R., 2006. Alternatives To Statistical Hypothesis Testing In Ecology: A Guide To Self Teaching. *Ecological Applications* 16, 5–19. <https://doi.org/10.1890/04-0645>
- Hoinville, L., 2013. Animal Health Surveillance Terminology Final Report from Pre-ICAHS Workshop.
- Hovingh, E., 2009. Diagnosing and Preventing Abortion Problems. *Virginia Cooperative Extension* 404–289, 3.
- Kobilinsky, A., Monod, H., Bailey, R.A., 2017. Automatic generation of generalised regular factorial designs. *Computational Statistics & Data Analysis* 113, 311–329. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2016.09.003>
- Loi du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République, 2015. , Loi 2015-991.
- Megid, J., Antonio Mathias, L., A. Robles, C., 2010. Clinical Manifestations of Brucellosis in Domestic Animals and Humans. *TOVSJ* 4, 119–126. <https://doi.org/10.2174/1874318801004010119>
- Merton, R.K., 1968. *Social Theory and Social Structure*, The Free Press. ed. New York, NY.
- Ministère de l'Agriculture, 2008. Arrêté du 22 avril 2008 fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective et à la police sanitaire de la brucellose des bovinés, NOR: AGRG0808894A.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2012. Arrêté du 21 décembre 2012 fixant le montant de l'acte médical vétérinaire en application de l'article L. 203-10 du code rural et de la pêche maritime, NOR: AGRG1239939A.
- Ministère de l'Agriculture, Ministère de la Santé, 2011. Arrêté du 28 juin 2011 fixant la liste des médicaments vétérinaires prévue au deuxième alinéa de l'article L. 5143-6 du code de la santé publique, NOR : AGRG1117920A.
- Ministère de l'Agriculture, Ministère de la Santé, 2007. Arrêté du 24 avril 2007 relatif à la surveillance sanitaire et aux soins régulièrement confiés au vétérinaire pris en application de l'article L. 5143-2 du code de la santé publique, NOR: SANP0751491A.
- Ministère de l'Agriculture, Ministère des Comptes publics, 2009. Arrêté du 17 juin 2009 fixant les mesures financières relatives à la lutte contre la brucellose bovine et à la lutte contre la tuberculose bovine et caprine.
- Ministère de l'Agriculture, Ministère des Comptes publics, 2001. Arrêté du 30 mars 2001 fixant les modalités de l'estimation des animaux abattus et des denrées et produits détruits sur ordre de l'administration, NOR: AGRG0100727A.

- Nusinovici, S., Seegers, H., Joly, A., Beaudeau, F., Fourichon, C., 2012. Increase in the occurrence of abortions associated with exposure to the Bluetongue virus serotype 8 in naïve dairy herds. *Theriogenology* 78, 1140–1151. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.05.010>
- Office international des épizooties (OIE), 2017. Carte de distribution de la brucellose bovine dans le monde. WAHIS Interface. URL https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Diseaseinformation/Diseasedistributionmap/index/newlang/fr?disease_type_hidden=0&disease_id_hidden=182&selected_disease_name_hidden=Brucellose+%28Brucella+abortus%29+%282006+-%29+%29&disease_type=0&disease_id_terrestrial=182&species_t=0&disease_id_aquatic=-999&species_a=0&sta_method=semesterly&selected_start_year=2017&selected_report_period=2&selected_start_month=1 (accessed 4.22.20).
- Olsen, S.C., Johnson, C., 2011. Comparison of Abortion and Infection after Experimental Challenge of Pregnant Bison and Cattle with *Brucella abortus* Strain 2308. *Clin. Vaccine Immunol.* 18, 2075–2078. <https://doi.org/10.1128/CVI.05383-11>
- Organisation des Nations unies pour l’Alimentation et l’Agriculture (FAO), 2011. Challenges of animal health information systems and surveillance for animal diseases and zoonoses (Compte-rendu de séminaire international organisé par la FAO, 23-26 Novembre 2010, Rome, Italie.).
- Pandolfi, F., Zanella, G., Zientara, S., Sailleau, C., Dion, F., Garin, E., Bréard, E., Grandcollot-Chabot, M., Mollaret, E., Bronner, A., Calavas, D., Tourette, I., 2018. Les signes cliniques induits par les virus BTV-4 et BTV-8 en France métropolitaine. *Bull. Épid. Santé Anim. Alim.* 84, 6.
- Philippon, A., Renoux, G., Plommet, M., 1972. Brucellose bovine expérimentale XI. - Infection par “*Brucella melitensis*.” *Ann. Rech. Vet.* 3, 13–22.
- Philippon, A., Renoux, G., Plommet, M., 1970. Brucellose bovine expérimentale III. – Excrétion vaginale de *brucella abortus* avant et après la mise bas. *Ann. Rech. Vet.* 1, 215–224.
- Philippon, A., Renoux, G., Plommet, M., 1971. Brucellose bovine expérimentale V. - Excrétion de “*brucella abortus*” par le colostrum et le lait. *Ann. Rech. Vet.* 2, 59–67.
- Picault, S., Huang, Y.-L., Sicard, V., Arnoux, S., Beaunée, G., Ezanno, P., 2019. EMULSION: Transparent and flexible multiscale stochastic models in human, animal and plant epidemiology. *PLoS Comput. Biol.* 15, 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007342>
- Plommet, M., Fensterbank, R., Renoux, G., Gestin, J., Philippon, A., Borde, R., Marly, J., Dufrenoy, J., Barrault, F., et al., 1973. Brucellose bovine expérimentale XII. Persistance à l’âge adulte de l’infection congénitale de la génisse. *Ann. Rech. Vet.* 4, 419–435.
- Prete, G., 2008. Surveiller en éradiquant: l’importance des « médiateurs de la surveillance » et des réseaux informels dans la surveillance des risques sanitaires et environnementaux. *sdt* 50, 489–504. <https://doi.org/10.4000/sdt.19890>

- Raboisson, D., Waret-Szkuta, A., Rushton, J., Häsler, B., Alarcon, P., 2014. Application of integrated production and economic models to estimate the impact of Schmallenberg virus for various beef suckler production systems in France and the United Kingdom. *BMC Vet Res* 10, 254. <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0254-z>
- Rautureau, S., Dufour, B., Jaÿ, M., Garin-Bastuji, B., 2013. Deux cas de brucellose bovine en 2012 appellent à la vigilance. *Bull. Épid. Santé Anim. Alim.* 59, 11–14.
- Saint-Martin, A., 2013. La sociologie de Robert K. Merton, La Découverte. ed, Repères. Paris.
- Sala, C., Vinard, J.-L., Perrin, J.-B., 2019. Cattle herd typology for epidemiology, surveillance, and animal welfare: Method and applications in France. *Prev. Vet. Med.* 167, 108–112. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.04.003>
- Tirado, A., Poisson, F., Vanhoye, B., 2019. Installation et maintien de l'exercice vétérinaire dans les territoires ruraux (Rapport No. 18119). Conseil général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des espaces ruraux (CGAAER).
- Villard, P., 2016. Description et quantification des mouvements inter-exploitations des bovins en France et identification des facteurs explicatifs (Rapport de master 2). Université Claude Bernard Lyon 1, Institut national des sciences appliquées (INSA), Lyon.
- Weber, M., 1965. Essais sur la théorie de la science, Plon. ed, Recherches en Sciences humaines. Julien Freund, Paris.
- Woods, A., 2011. A historical synopsis of farm animal disease and public policy in twentieth century Britain. *Phil. Trans. R. Soc., Biological Sciences* 366, 1943–1954. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0388>
- Yamamoto, T., Tsutsui, T., Nishiguchi, A., Kobayashi, S., 2008. Evaluation of surveillance strategies for bovine brucellosis in Japan using a simulation model. *Prev. Vet. Med.* 86, 57–74. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2008.03.004>

Annexes

* * *

Annexe 1. Grille d'entretien générale

| Catégories | Sujets | Réflexes |
|--|--|---|
| <p>Rôle, missions et moyens de l'interviewé et de son organisation</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Poste occupé (si non connu) • Ancienneté à ce poste / dans cette organisation • Vision de son propre rôle personnel dans le service/l'organisation ? • Nature du travail • Aspects importants – pourquoi ? • Aspects intéressants – pourquoi ? • Principaux problèmes actuels à votre niveau – causes ? (<i>permet de comprendre l'agenda de la fonction qu'est ce qui est important et qu'est ce qui ne l'est pas</i>) • Adéquation missions-moyens ? Charge de travail raisonnable ? • Quel financement pr l'organisation ? | <ul style="list-style-type: none"> • Préciser le concret derrière les termes flous (langue de bois, mots-valises, etc.) - exemples • repérer les interlocuteurs cités (y revenir pour préciser) • Demander au besoin énumération, classement, etc. • Ne pas hésiter à demander de définir les termes pas / mal compris |
| <p>Relations de travail avec d'autres organisations</p> <p><i>Dans le cadre de la surveillance de la BB</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Vision globale du rôle de son organisation dans le réseau • Principaux interlocuteurs : organisations et postes concernés • Nature des relations • Ressources échangées • Causes des coopérations / conflits • Décalage théorie-pratique ? Pourquoi ? • Plan d'aide au DDA ? Plans d'éradication ? • GDS : Qui invité aux AG ? Qui y participe ? | <ul style="list-style-type: none"> • Passer en revue tous les interlocuteurs avec lesquels il y a interaction en théorie • Préciser au maximum nature des relations et ressources échangées • Attention, les relations peuvent varier avec un même interlocuteur, selon la situation => identifier ces situations |

| | | |
|--|---|--|
| <p>Relations de travail au sein de son organisation</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Quelles relations/interactions dans le service/l'organisation • Quelle place du service dans l'organisation = organigramme théorique (le cas échéant) • Vison du rôle de son service | <ul style="list-style-type: none"> • Préciser les domaines de collaboration/affrontement/évitemment • Préciser les causes de ces relations |
| <p>Améliorations souhaitées</p> <p><i>Partie très informative</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Quelles difficultés/blocages dans les relations, la communication ou les missions ? Quelles causes ? • Améliorations pour son organisation / service • Evolutions potentiellement à venir (avis) organisation • Avis sur la déclaration de séries d'avortements | <ul style="list-style-type: none"> • Préciser si l'interviewé aborde ou revient sur des points • Aborder améliorations potentielles du système, sans jugement |
| <p>Parcours</p> <p><i>S'il reste du temps</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Autres postes antérieurs • Etudes • Perspectives de carrière | |
| <p>Question de clôture d'entretien</p> | <p>Y a-t-il quelque chose que vous souhaiteriez ajouter ou un sujet dont vous souhaiteriez parler et que nous n'aurions pas évoqué lors de l'entretien ?</p> | <p>A poser systématiquement</p> |

Annexe 2. Grille d'entretien complémentaire, entretiens avec des éleveurs

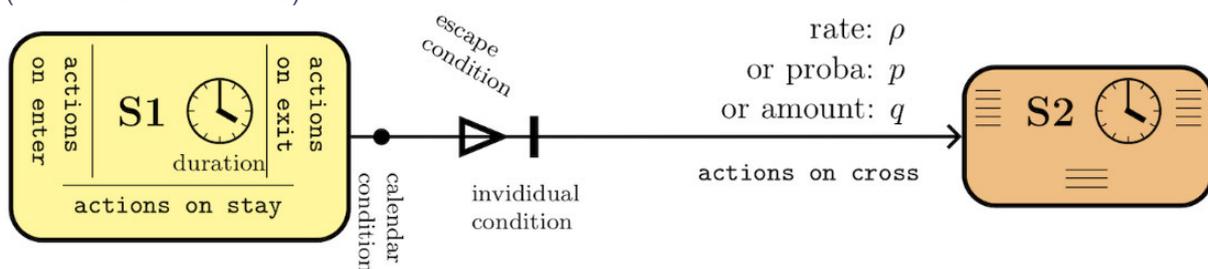
| Thématique | Points à aborder |
|---|---|
| Elevage | <p>Taille Type de production Degré d'automatisation/d'industrialisation Niveau de technicité de l'éleveur Depuis combien de temps ? Evolutions de l'activité au cours du temps Quels sont les acteurs intervenant sur l'exploitation pour des actes, des ventes ou du conseil dans le domaine sanitaire ?</p> |
| Prise de décision et vision du sanitaire | <p>Qui pour vous est le référent sanitaire de l'élevage ? (Véto ? GDS ? éleveur ?) En cas de problème sanitaire (sur un animal ou un groupe d'animaux), dans quelles conditions appelez-vous votre vétérinaire ? (+/- tôt ? Pour quel type de symptôme ? Quelle gravité ?, etc.) Si adhérent GDS, quand privilégiez-vous le véto / le GDS pour un appel ? Vous est-il arrivé de refuser la mise en place d'un plan de lutte dans l'élevage ? Si oui, qui était votre interlocuteur (véto et/ou GDS) ? Pourquoi avoir refusé ? Quelle est pour vous la plus grosse contrainte liée aux plans de lutte ? Si non, cela pourrait-il vous arriver ? Si oui, dans quelles circonstances ?</p> |
| GDS | <p>Adhérent ou non actuellement Si adhérent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montant de la cotisation annuelle par bovin ? - Depuis combien de temps, en continu ou par intermittence ? - Pourquoi avez-vous adhéré et continuez-vous à adhérer ? Quel intérêt y voyez-vous ? - Avez-vous un ou plusieurs plans GDS actuellement ouverts dans votre élevage ? Par le passé ? Si oui, lesquels ? - Quelle démarche administrative pour demander un remboursement au GDS ? - Démarche jugée lourde ? <p>Si non-adhérent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adhésion par le passé ? - Si oui, avez-vous déjà eu un ou plusieurs plans GDS ouverts dans votre élevage ? Si oui, le(s)quel(s) ? - Pourquoi pas/plus d'adhésion ? |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - La démarche administrative de demande de remboursement a-t-elle joué dans la non-adhésion (jugée trop compliquée) ? - Quelle nécessité des services offerts par le GDS ? - Qui leur offre ce service si ce n'est pas le GDS ? Pas beaucoup plus cher in fine ? |
| Vétérinaire traitant et sanitaire | <p>Avez-vous toujours travaillé avec le même vétérinaire / cabinet vétérinaire ?</p> <p>Si vous avez changé par le passé, pour quelles raisons ?</p> <p>Travaillez-vous avec un seul véto / cabinet véto ou plusieurs ?</p> <p>Si plusieurs, pour quelles raisons ? Faites-vous appel préférentiellement à un véto du cabinet en particulier pour un type de problèmes donné ?</p> <p>Qu'est-ce qu'un bon vétérinaire pour vous ?</p> <p>Qu'attendez-vous de votre vétérinaire ?</p> <p>Convention avec véto ou relation classique ?</p> <p>Si convention, depuis quand ?</p> <p>Si classique, avez-vous déjà été conventionné ? Si oui, pourquoi avoir arrêté ?</p> <p>Fréquence des visites du véto</p> <p>Fréquence des appels au véto pour conseils</p> <p>Bénéficiez-vous d'audits de suivi troupeau par votre véto ? (ex. : diarrhées des veaux, mammites, boiteries)</p> |
| Reproduction | <ul style="list-style-type: none"> - Utilisez-vous l'insémination artificielle et/ou la monte naturelle ? - Faites-vous faire un suivi échographique de la reproduction avec diagnostic de gestation ? - Si oui par qui ? (véto ? centre d'insémination ?) |
| Contrôle de performances | <p>Adhérent au Contrôle de performances</p> <p>Formule d'adhésion (fréquence et types d'interventions)</p> <p>Arrive-t-il que vous appeliez spontanément le conseiller pour une visite en plus ou un conseil ? Si oui, pour quel type de problème/situation ? Est-ce plus souvent un vétérinaire conseil ou un technicien conseiller qui intervient ?</p> |
| Avortements | <p>A partir de combien d'avortements rapprochés appelez-vous le véto ?</p> <p>Avortements pris en compte et déclarés pendant quelle période de la gestation ?</p> <p>Y a-t-il des situations où vous appelez plutôt le véto et d'autres plutôt le GDS ?</p> <p>Recherchez-vous souvent différentes causes d'avortement par des analyses ?</p> |
| DDPP | <p>Avez-vous déjà eu affaire à la DDPP ? (Fréquence, nature des interactions)</p> <p>Quelle vision avez-vous de la DDPP et de son rôle dans le sanitaire ?</p> |

Annexe 3. Machines à états du modèle de simulation

Cette annexe présente les machines à état (équivalentes aux diagrammes de flux des modèles épidémiologiques classiques) qui gèrent les dynamiques démographique, épidémiologique et de surveillance des individus au sein de notre modèle. Chaque individu avait un état attribué dans chaque machine à état, mis à jour à chaque pas de temps (semaine). Le code YAML du modèle décrit en détail les caractéristiques associées à chaque état et les modalités de transition entre les états. Ce document est accessible sur demande et sera prochainement mis à disposition sur un dépôt public en ligne. Les titres des diagrammes de machine à états présentés ci-dessous indiquent les processus représentés et, entre parenthèses, les noms des machines à états dans le code YAML. Les noms des états et des paramètres de transition indiqués sur ces diagrammes sont ceux utilisés dans le code YAML.

Structure d'une transition entre deux états d'une machine à état (Picault et al., 2019) (extrait de référence).

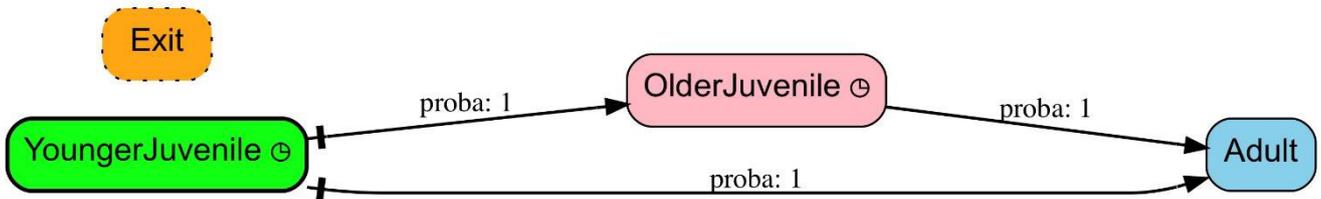


<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007342.g002>

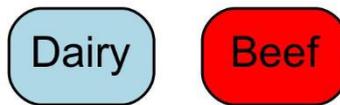
Les individus peuvent se voir attribuer une durée, et des actions lorsqu'ils entrent, sortent ou restent dans un état. Les transitions entre états sont régies par un taux, une probabilité ou un effectif et peuvent être associées à une action (réalisée au moment de la transition), à des conditions dépendantes du temps (« calendar condition »), ou à des conditions individuelles (« individual condition ») restreignant les possibilités de transition, et des conditions de sortie anticipée (« escape condition ») permettant aux individus de quitter leur état avant la durée minimale imposée (« duration »).

Dans les diagrammes ci-dessous, les états sont représentés en couleur pour faciliter leur différenciation. Les états dont le contour est en pointillé correspondent à une disparition des individus (mortalité et vente d'animaux sains), ceux dont le contour est en trait épais correspondent aux états attribués aux veaux par défaut à la naissance. Les actions sont représentées par des losanges (actions à l'entrée ou la sortie d'un état, ou lors d'une transition, selon la position du losange sur le diagramme).

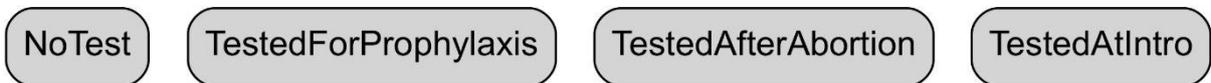
Vieillesse de la population (*age_group*)



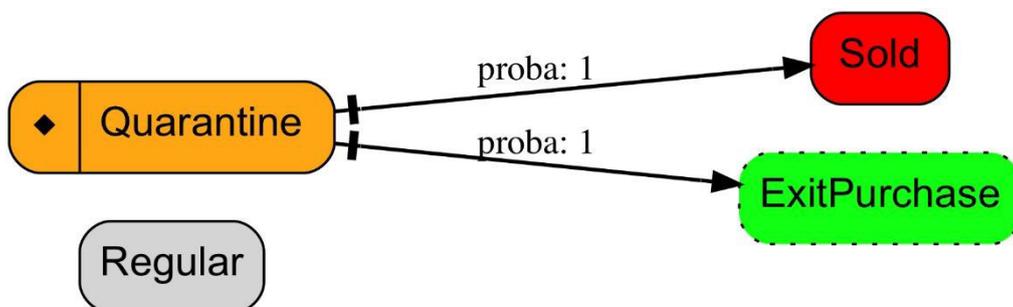
Type de production (*breed*)



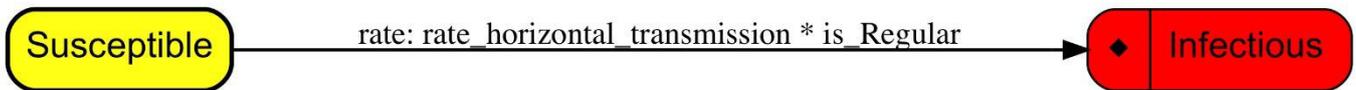
Contexte de l'analyse réalisée (*cause_of_test*)



Évolution du statut lié aux ventes (*commercial_status*)



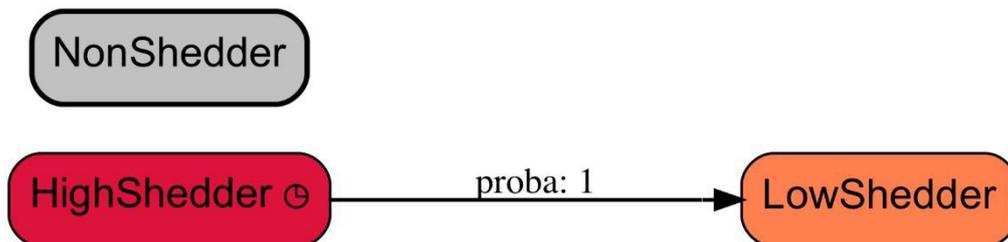
Évolution du statut sanitaire (*health_state*)



Évolution du stade de lactation (*lactation*)



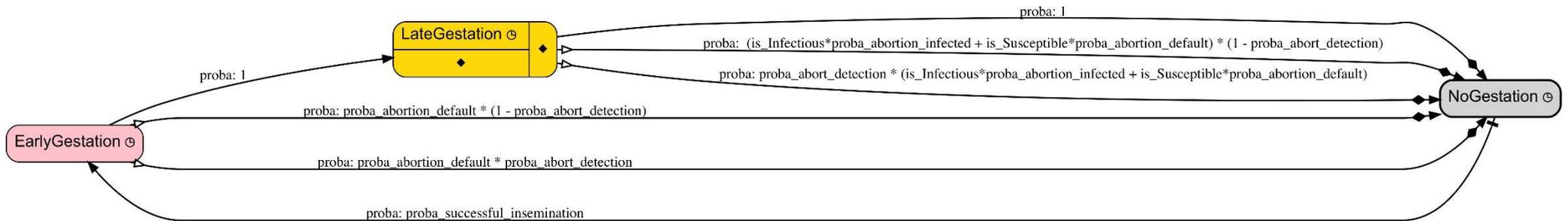
Évolution du niveau d'infectiosité (*shedding*)



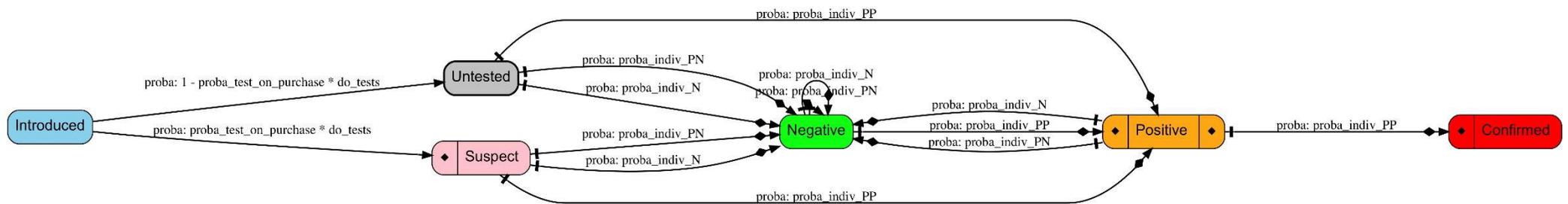
Évolution du statut vis-à-vis du dépistage annuel (*test_status*)



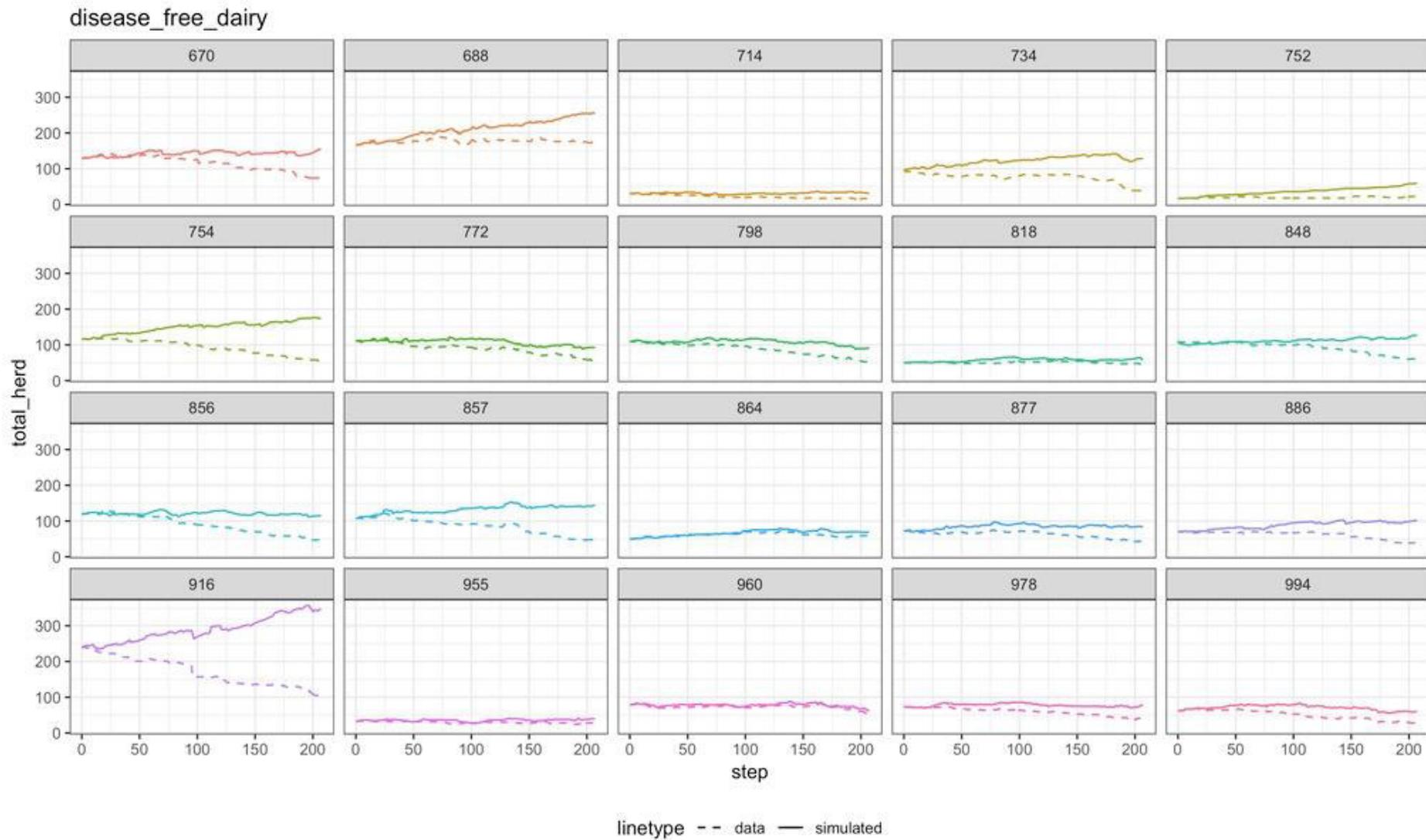
Évolution du stade physiologique (*life_cycle*)



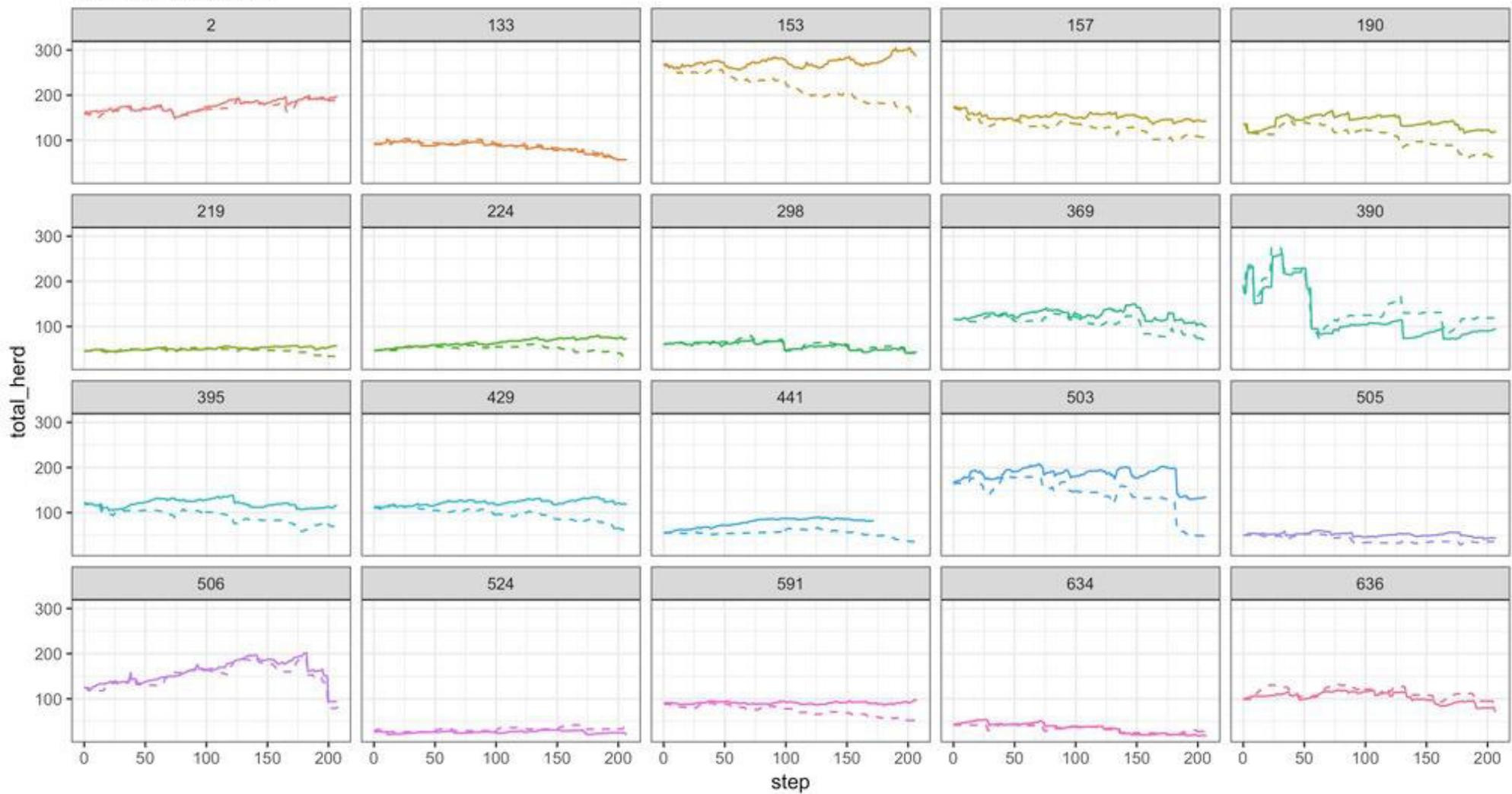
Évolution du statut vis-à-vis des analyses sérologiques et bactériologiques (*serology*)



Annexe 4. Evolution des effectifs réels (pointillé) et simulés (trait plein) au cours du temps (semaines) pour vingt élevages de chaque type (laitier ou allaitant), lors de simulations sans infection



disease_free_beef



linetype -- data — simulated